# CONFERENCE BOOK

EGE 15. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

İZMİR
12 - 14 HAZİRAN 2026

EGE
15. ULUSLARARASI
UYGULAMALI
BİLİMLER
KONGRESİ



**EGE**
**15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**
**June 12-14, 2026**
**IZMIR**

## Cilt 1

**ISBN : 978-625-8795-15-8**
**Academy Global Publishing House**

# EGE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
**JUNE 12-14, 2026**
**IZMIR**

**Edited By**
PROF. DR. HULYA CICEK

**Issued:** 26.06.2026
***ISBN***: 978-625-8795-15-8

**ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :**
**In the conference 147 papers have been presented by Turkish participants and 185 papers by international participants.**
**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"**

**The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.**
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

## CONFERENCE ID

# EGE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

## DATE – PLACE

**JUNE 12-14, 2026**
**IZMIR**

## ORGANIIZATION

**ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS**

## EVALUATION PROCESS

**All applications have undergone a double-blind peer review process.**

## PARTICIPATING COUNTRIES

**Turkey – France –** Belgium – Iraq- Saudi Arabia- Kosovo - Albania- Morocco – Chile- Libya – Nigeria – Tunisia – Taiwan- Kazakhstan - Lithuania- Syria- Jordan- Egypt – Singapore - Tanzania- Vietnam – Indonesia- Pakistan – Bolivia- Togo- Ghana -Iran- India - Costa Rica- Lebanon - Bangladesh- China – Cuba- Hungary – Georgia- Thailand – Sudan - North Macedonia – Zimbabwe- Qatar – Ethiopia – Azerbaijan-

## PRESENTATION

**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.
Academy Global–2026©

## CONGRESS ORGANIZING BOARD

**Head of Conference: Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi**

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr.  Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

# Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

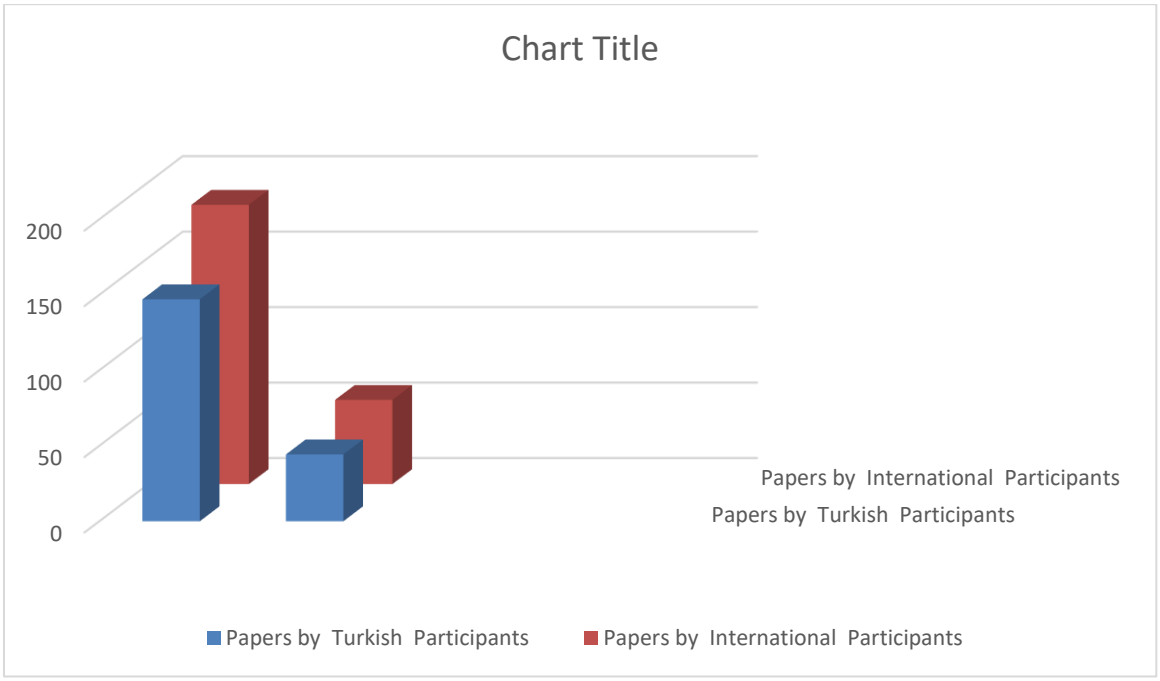
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

| | *Number of paper* | *%* |
|---|---|---|
| *Papers by Turkish Participants* | 147 | 44.27 |
| *Papers by International Participants (42 Countries.)* | 185 | 55,73 |



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi

Sayı : E-98102723-903.07-475454
Konu : Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:
Gereği:
Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:
Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.



Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 - GAZİANTEP
Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17
e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi
Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.

# EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
# EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
# ARTWorld 8TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
June 12 – 14, 2026
IZMIR

**Kongre Bağlantı Linki :**

**Join Zoom Meeting**

**https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1**

**Meeting ID: 885 7151 8350**

**Passcode: 202224**



# ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

## IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of "Meeting ID
- or Personal Link Name" and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

## TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assoc. Prof. Dr. Zührem YAMAN** | 1 | BİR SOFRADA İKİ NESİL: AİLE KAVRAMININ GÜÇLENDİRİLMESİNDE GASTRONOMİ YOLUYLA KUŞAKLARARASI ETKİLEŞİM | Doç. Dr. Ebru KEMER<br>Öğr. Gör. Şinasi ÖZMEN<br>Öğr. Gör. İsa Serhan CİHANGİR<br>Öğr. Gör. Bilal ÇİLKAYA |
| | | 2 | SÜRDÜRÜLEBİLİR KIRSAL KALKINMADA KADIN ODAKLI BİR YAKLAŞIM: YİYECEK-İÇECEK SEKTÖRÜNE DAYALI GİRİŞİMCİLİK MODELİ ÖNERİSİ | Doç. Dr. Ebru KEMER<br>Öğr. Gör. Şinasi ÖZMEN<br>Öğr. Gör. İsa Serhan CİHANGİR<br>Öğr. Gör. Bilal ÇİLKAYA |
| | | 3 | A BİBLİOMETRİC ANALYSIS OF SUSTAINABLE GASTRONOMY RESEARCH: AN EXAMINATION BASED ON THE WEB OF SCIENCE DATABASE | Dr. Hasan Suat AKSU<br>Assoc. Prof. Dr. Zührem YAMAN |
| | | 4 | THE IMPACT OF AI-GENERATED CONTENT ON RESTAURANT BRAND AUTHENTICITY: A NETNOGRAPHIC ANALYSIS VIA INSTAGRAM AND TIKTOK | Assoc. Prof. Dr. Zührem YAMAN<br>Dr. Hasan Suat AKSU |
| | | 5 | FOOD AND DRINK CULTURE IN THE EPIC OF KIZ JİBEK: A STUDY OF SYMBOLIC MEANING AND FUNCTION | Merve Nesibe CAN KÖSEKAHYA |
| | | 6 | TÜKETİCİLERİN 3D GIDA YAZICILARINA İLİŞKİN TUTUMLARI ÜZERİNE SİSTEMATİK DERLEME | Harun YAŞAR<br>Dr. Öğr. Üyesi Elvan KESER |
| | | 7 | TÜRKİYE'DEN İHRAÇ EDİLEN GIDALARDA PESTİSİT BİLDİRİMLERİ ÜZERİNE İNCELEME | Harun YAŞAR<br>Prof. Dr. Berrin GÜZEL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Doç. Dr. Esin ERGÜN** | 1 | KADINA YÖNELİK ŞİDDET HABERLERİNDE FAİLİN MEŞRULAŞTIRILMASI VE MEDYA SÖYLEMİ | Şadıman ŞENBALKAN |
| | | 2 | DİJİTAL GÖZETİM KÜLTÜRÜ VE ALGORİTMİK İKNA: İLETİŞİM ÇALIŞMALARI PERSPEKTİFİNDEN KAVRAMSAL BİR İNCELEME | Dr. Öğr. Üyesi Bilge ÇAĞLAR DEMİR |
| | | 3 | DİJİTAL EŞİTSİZLİK ÇALIŞMALARI: KÜRESEL VE TÜRKİYE LİTERATÜRÜ KAPSAMINDA BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA | Doktora Adayı Begüm AYDIN AYDOĞAN<br>Doç. Dr. Doğan AYDOĞAN |
| | | 4 | DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE SOSYAL MEDYA VE BEDEN ALGISINA YÖNELİK ÇALIŞMALAR: BİR BİBLİYOMETRİK ARAŞTIRMA | Doktora Adayı Begüm AYDIN AYDOĞAN<br>Doç. Dr. Doğan AYDOĞAN |
| | | 5 | ÇOCUKLARDA GÜZELLİK ALGISININ OLUŞUMUNDA SOSYAL MEDYANIN ROLÜ | Serra AKTÜRK |
| | | 6 | ANALYSIS OF THE UN Women #SheSaidNo CAMPAIGN ON INSTAGRAM IN THE CONTEXT OF FEMINIST ACTIVISM | Doç. Dr. Zeynep Benan DONDURUCU DEDE<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Zehra TURGUT |
| | | 7 | SOCIAL MEDIA ADDICTION AND FEAR OF MISSING OUT (FOMO): A QUALITATIVE RESEARCH ON UNDERGRADUATE AND GRADUATE STUDENTS IN THE DEPARTMENT OF PUBLIC RELATIONS AND PUBLICITY | Doç. Dr. Zeynep Benan DONDURUCU DEDE<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Melisa POYRAZ |
| | | 8 | SOSYAL AĞ YAPISININ BİREYSEL YENİLİKÇİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | Doç. Dr. Esin ERGÜN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Öğr. Gör. Dr. Fatma Kaya** | 1 | EXPLORING PRE-SERVICE ENGLISH TEACHERS' EXPERIENCES OF ACADEMIC WRITING: A PHENOMENOLOGICAL INQUIRY | Öğr. Gör. Dr. Fatma Kaya |
| | | 2 | ERKEN ÇOCUKLUK EĞİTİMİ POLİTİKALARININ KAMU YÖNETİMİ PERSPEKTİFİNDEN ANALİZİ | Dr. Öğr. Üyesi Sevda YILMAZ ÜNAL<br>Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KENDİRCİ |
| | | 3 | EXAMINATION OF GRADUATE STUDIES ON STRATEGIC MANAGEMENT IN SCHOOLS | Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÖKTAŞ<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Eren GAYIR |
| | | 4 | REVIEW OF POSTGRADUATE STUDIES ON INSTRUCTIONAL LEADERSHIP | Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÖKTAŞ<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe SÜYGÜN |
| | | 5 | OKUL EĞİTİMİ SÜRECİNDE ONAYLANMA .TAHRİBATI KAPSAMINDA DUYGUSAL BAĞIMLILIK İNCELEMESİ | ÖMER FARUK CEYLAN |
| | | 6 | AHLAKİ OLGUNLUK KONUSUNDA TÜRKİYE'DE YAPILAN LİSANSÜSTÜ TEZLERE YÖNELİK DOKÜMAN ANALİZİ | Sınıf Öğretmeni- Zeynep ÇINAR |
| | | 7 | TÜRKÇE DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMI'NIN (2024) CIPP MODELİ ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ | Fatih APAYDIN |
| | | 8 | ORTAÖĞRETİM DÜZEYİNDE GÖREV YAPAN ÖĞRETMENLERİN YAPAY ZEKA KULLANIMINA İLİŞKİN BAKIŞ AÇILARININ İNCELENMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Hilal DURMUŞ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Öğr. Gör. Dr. Betül GÜMÜŞ** | 1 | YENİ ÇALIŞMA DÜZENİNDE SÜREKLİ BAĞLANTILILIK BASKISI, İŞ-YAŞAM DENGESİ VE DİJİTAL REFAH: İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİNDE DİJİTAL SINIR YÖNETİMİ SORUNSALI | Öğr. Gör. Dr. Betül GÜMÜŞ |
| | | 2 | LOJİSTİK AĞ TASARIMINDA DEPO YERİ SEÇİMİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR KARAR VERME YAKLAŞIMI | Doç. Dr. Muhammet Enes AKPINAR |
| | | 3 | THE IMPACT OF PERCEIVED INTERNAL AND EXTERNAL CSR COMMUNICATION ON ORGANIZATIONAL COMMITMENT AND TURNOVER INTENTION: THE MODERATING ROLE OF ENVIRONMENTAL AWARENESS | Mustafa Kasap, |
| | | 4 | THE SEARCH FOR SIMPLICITY IN THE DIGITAL AGE: A STUDY ON DIGITAL MINIMALISM AWARENESS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE REALITY PERCEPTION AMONG YOUNG ADULTS AGED 18–30 | Özge Can Görgün |
| | | 5 | ÇALIŞAN MOTİVASYONUNU BELİRLEMEDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARININ KATKISI | Nesrin ÖZTURNA |
| | | 6 | THE EFFECT OF PERCEIVED JOB INSECURITY ON TURNOVER INTENTION: A STUDY ON EMPLOYEES IN THE MANUFACTURING SECTOR | Kübra ALAN<br>Prof. Dr. Ebru AYKAN |
| | | 7 | İŞ-AİLE YAŞAM ÇATIŞMASI: SAĞLIK SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ | Yüksek Lisans Öğrencisi, Tuğba DEMİRKOL BAKIRCI<br>Doç. Dr. Canan YILDIRAN |
| | | 8 | SWOT ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION AND THE DIGITAL ECONOMY ON INDIVIDUALS WITH DISABILITIES | Hasan Tahsin YAZICI<br>Ali KAHRAMANOĞLU |
| | | 9 | HUMAN AND MACHINE: GROWING TOGETHER IN THE AGE OF AI: FROM TASK AUTOMATION TO SYSTEM TRANSFORMATION | Dr. Emrah BILGIC<br>Dr. Selman KARAGOZ |
| | | 10 | DİJİTALLEŞMENİN ÇALIŞANLARIN İŞ-YAŞAM DENGESİ VE İŞ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE MOTİVASYONUN ARACI ROLÜ | Enes Hasan ABANOZ<br>Doç. Dr. Kültigin AKÇİN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Assoc. Prof. Fırat ÇALKUŞ** | 1 | SANAT VE BEYNİN KESİŞİMİNDE: GÖRSEL SANATLARDA NÖROESTETİK BULGULARIN İNCELENMESİ | Tülay Taner<br>Dr. Öğr. Üyesi Muammer Fevzi Oğlu |
| | | 2 | SHOGUN: BARBARLIKTAN UYGARLIĞA BLACKTHORNE'UN KÜLTÜREL DÖNÜŞÜMÜ | YL Öğrencisi ÖZGÜN AKAR KARGI |
| | | 3 | SEKEL SEMBOLLERİNİN ORTA ASYA'DAKİ BENZERLERİ İLE ANLAM AKIŞI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ | Kübra DURMAZ<br>Doç. Dr. Yusuf GÖKKAPLAN |
| | | 4 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ETHICS: KNOWLEDGE PRODUCTION AND THE EVOLVING NATURE OF OUR RELATIONSHIP WITH KNOWLEDGE | Assoc. Prof. Fırat ÇALKUŞ |
| | | 5 | HUMAN, CITY AND SOCIETY IN FRANS MASEREEL'S PRINTMAKINGS | Prof. Melihat TÜZÜN<br>Arş. Gör. Dr. Enis Malik DURAN |
| | | 6 | THE IMAGE OF THE EAST IN OSMAN HAMDI BEY'S WORKS: "The Tortoise Trainer" and "The Girl Reading the Quran" as Examples | Öğr. Duygu KARTAL<br>Prof. Melihat TÜZÜN |
| | | 7 | EV İÇİ YAŞAM ALANINDA TOPLUMSAL CİNSİYETİN MEKANSAL İNŞASI: GÖLCÜK SARAYLI KONUTLARINDA HANE TİPLERİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ | Yüksek Lisans Öğrencisi Hilal ÖZTÜRK OCAK<br>Dr. Öğr. Üyesi Özden Senem EROL |
| | | 8 | KOMNENOSLAR DÖNEMİ (1081-1185) SAVUNMA MİMARİSİNDE CEPHE TASARIMI: AKHYRAOUS VE LOPADİON KALELERİ ÖRNEĞİ | Okan Selçuk VURAL |
| | | 9 | JENERATİF SANATIN BASKI SANATLARI ALANINDAKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ETKİSİ | DOÇ.DR BURÇAK BALAMBER<br>ELİF OKKAN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Dr. Öğr. Üyesi Sultan GEDİK GÖÇER<br>Oğuzhan ALBAYRAK** | 1 | İNSANSIZ HAVA ARACI OPERATÖRLERİ İÇİN EKİP KAYNAK YÖNETİMİ ÖLÇEK ÖNERİSİ: KAVRAMSAL BİR UYARLAMA ÇALIŞMASI | Dr. Öğr. Üyesi Sultan GEDİK GÖÇER<br>Oğuzhan ALBAYRAK |
| | | 2 | HAVALİMANI TERMİNAL İŞLETMELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DÖNÜŞÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: İGA ve TAV ÖRNEĞİ | Yüksek Lisans Öğrencisi, Merve Nur BATUR<br>Prof.Dr. Vildan DURMAZ |
| | | 3 | OIL CRISES IN AVIATION | Yüksek Lisans Öğrencisi Ecem YILGIN<br>Dr. Öğr.Üyesi Sultan GEDİK GÖÇER |
| | | 4 | ÖRGÜT KÜLTÜRÜ VE ÖRGÜTSEL ÇEKİCİLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN HAVACILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNDE İNCELENMESİ | İsmail Burak ÇAPUTLU<br>Prof.Dr. Gülten GÜMÜŞTEKİN |
| | | 5 | HAVA YOLU İŞLETMELERİNDE FİNANSAL BAŞARISIZLIK VE KONKORDATO | Dr. Öğr. Üyesi Sultan GEDİK GÖÇER<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Meryem EKEN |
| | | 6 | LANDSCAPE TRANSFORMATION AND SOCIO-ENVIRONMENTAL CONFLICTS ARISING FROM HYDROPOWER DEVELOPMENT IN THE VALBONA VALLEY | Dr. Flora Gjoni<br>Dr. Ylber Dyli |
| | | 7 | ANTHROPO-GEOMORPHOLOGİCAL CHARACTERİSTİCS AND EARTHQUAKE RİSK ASSESSMENT OF COASTAL RECLAMATİON AREAS ALONG THE MARMARA COAST OF ISTANBUL | Kübra Yıldırım<br>Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir Karakoca |
| | | 8 | SPATIAL SUITABILITY ANALYSIS OF DISASTER AND EMERGENCY ASSEMBLY AREAS IN ACIPAYAM DISTRICT WITHIN THE CONTEXT OF URBAN DISASTER SAFETY | İsmail Emin YAPAN<br>Assoc. Prof. Dr. Cennet ŞANLI |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Dr. Öğr.Üyesi Esra Gül KOÇYİĞİT** | 1 | THE SERIAL MEDIATING ROLE OF RUMINATION AND COGNITIVE FLEXIBILITY IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PSYCHOLOGICAL DISTRESS AND PROBLEMATIC CHATGPT USE | Master's Student Gamze Yıldırım<br>Prof. Dr. Seydi Ahmet SATICI |
| | | 2 | PARÜREZİSİN (UTANGAÇ MESANE SENDROMU) KLİNİK DEĞERLENDİRİLMESİ VE TEDAVİ sYAKLAŞIMLARI: GÜNCEL KANITLARIN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ | Dr. Öğr.Üyesi Esra Gül KOÇYİĞİT |
| | | 3 | A PSYCHOANALYTIC INTERPRETATION OF METALLICA'S "ONE" IN THE CONTEXT OF POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER | Ömer Faruk Sağun |
| | | 4 | READY FOR CHANGE: A JOURNEY TOWARD FREEDOM FROM TOBACCO | Yüksek Lisans öğrencisi Gulchin Asgarova<br>Dr.Öğr. Üyesi Elif ÜNAL |
| | | 5 | ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE AKADEMİK ÖZ-YETERLİK, AKADEMİK KAYGI VE GELECEK KAYGISININ AKADEMİK UMUTSUZLUKLA İLİŞKİSİ | Psik. Dan.Muhammed Burak Akgül<br>Prof. Dr. Fulya Türk |
| | | 6 | DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EATING ATTITUDES AND ANGER EXPRESSION STYLES IN ADULTS ACCORDING TO AGE AND GENDER | Gaye YÜKSEKDAĞ<br>Dr.Öğr. Üyesi Nurgül YAVUZER |
| | | 7 | AN EXAMINATION OF BURNOUT IN PSYCHOTHERAPISTS IN THE CONTEXT OF WORKLOAD, PERCEIVED STRESS, PSYCHOLOGICAL RESILIENCE, AND COGNITIVE FLEXIBILITY | HANA GAMİL ALİ<br>Dr. Öğr. Üyesi Filiz KUMOVA |
| | | 8 | THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TEXT TYPES ON BODY SATISFACTION WITHIN THE CONTEXT OF SELF-COMPASSION: AN EXPERIMENTAL PILOT STUDY | Gülay KEBİROĞLU DEMİR<br>Dr. Öğr. Üyesi Filiz KUMOVA |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Assoc. Prof. Dr. Cüneyd İkbal SARIOĞLU** | 1 | DEMOGRAPHIC AND BEHAVIORAL DETERMINANTS INFLUENCING CONSUMERS' TECHNOLOGY READINESS LEVELS: A STUDY USING THE TRI 2.0 SCALE | Doktora Öğrencisi Gülizar YAKUT<br>Doç. Dr. Şeniz ÖZHAN<br>Dr. Öğr. Üyesi Özge HABİBOĞLU |
| | | 2 | ONLINE ALIŞVERİŞTE HİZMET TELAFİSİNE İLİŞKİN ALGILANAN ADALETİN TÜKETİCİLERİN DAVRANIŞSAL NİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | Yasemin YAMANER<br>Doç. Dr. Ümit BAŞARAN |
| | | 3 | THE EFFECT OF USING CELEBRITIES IN ADVERTISEMENTS ON CONSUMERS' BRAND PREFERENCES | Assoc. Prof. Dr. Cüneyd İkbal SARIOĞLU |
| | | 4 | EXAMINING THE EFFECTS OF SALES PROMOTIONS ON COMPULSIVE BUYING BEHAVIOR | Assoc. Prof. Dr. Cüneyd İkbal SARIOĞLU |
| | | 5 | KOOPERATİFÇİLİK 2.0: DİJİTAL PAZARLAMA VE TOPLULUK EKONOMİSİ PERSPEKTİFİNDEN KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME | Dr. Öğr. Üyesi Şermin ÖNEM |
| | | 6 | THE EFFECT OF VISUAL CONTENT STRATEGIES ON CONSUMER PURCHASING BEHAVIOR FROM A NEUROMARKETING PERSPECTIVE | Nurseli CİVAN DEMİRCAN |
| | | 7 | DİJİTAL PLATFORMLARDA AKIŞ DENEYİMİNİN ART ARDA İZLEME (BINGE-WATCHING) DAVRANIŞINA ETKİSİ: İZLEME SIKLIĞININ DÜZENLEYİCİ ROLÜ | Doktora Öğrencisi Furkan ERSOY<br>Prof. Dr. Keti VENTURA |
| | | 8 | KÜRESEL MARKALARDA MENŞEI ÜLKE ETKISININ TÜKETICI MARKA TUTUMU ETKISINE YÖNELIK OTOMOTIV SEKTÖRÜNDE BIR ALAN ARAŞTIRMASI | Doktora Öğrencisi Furkan ERSOY<br>Prof. Dr. Keti VENTURA |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Doç. Dr. ALİ SUAT GÖZCÜ** | 1 | PLATON'DA GÜZEL | Doktor Öğretim Üyesi Vildan BURKAZ |
| | | 2 | MICHAEL B. BURKE'S THEORY OF MATERIAL CONSTITUTION: DOMINANT SORTALS AND IDENTITY | Doç. Dr. ALİ SUAT GÖZCÜ |
| | | 3 | SPİNOZA VE NİETZSCHE'DE OLUMLAMA KAVRAMI: KENDİNİ GERÇEKLEŞTİRME SÜRECİNDE AHLAKİ DUYGU OLARAK NEŞE | Yüksek Lisans Öğrencisi Rümeysa GÖKKAYA |
| | | 4 | YENİDEN- CANLANDIRMADAN SİNOPTİK YARGIYA: COLLINGWOOD VE MINK'TE TARİHSEL ANLAMANIN KAPSAMI | Arş. Gör. Dr. Gülçin AYITGU METİN |
| | | 5 | MAKING SENSE OF TIME: RICOEUR'S INTERPRETATION OF AUGUSTINE'S APORIES OF TIME | Dilara DİNLEMEZ |
| | | 6 | BİLİNÇ PROBLEMİNE ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM OLARAK PANPSİŞİZM | Kader ACAR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN** | 1 | EFFECTS OF MICROBIAL FERTILIZER APPLICATIONS ON YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF SILAGE MAIZE (Zea mays L.) | Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN<br>Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN<br>Özgün KIRDAR |
| | | 2 | EFFECT OF MICROBIAL FERTILIZER APPLICATION ON YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF ALFALFA (Medicago sativa L.) | Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN<br>Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN<br>Özgün KIRDAR |
| | | 3 | THE EFFECTS OF TREE AGE ON CUPRAC AND FRAP ANTIOXIDANT CAPACITY OF HAZELNUT SKIN (Corylus avellana L.) | Yeliz ÇETİNKAYA<br>Assoc. Prof. Dr. Kaan KALTALIOĞLU |
| | | 4 | EXPLORING THE EFFECTS OF 3D BIOPRINTING TECHNOLOGY IN WOUND HEALING | Assoc. Prof. Dr. Kaan KALTALIOĞLU |
| | | 5 | NEW TRENDS IN GLOBAL SERICULTURE AND DEVELOPMENTS IN AZERBAIJAN | Res.Asst. Gülnar Damir BAGHIROVA<br>Prof.Dr. Sait ENGINDENIZ |
| | | 6 | VERTICAL DISTRIBUTION OF CHERRY FRUIT FLY (RHAGOLETIS CERASI L. DIPTERA: TEPHRITIDAE) POPULATION AND THE EFFECT OF TRAP HEIGHT İN ELAZIĞ | Gül SAVRAN<br>Doç. Dr. AYKUT TOPDEMİR<br>Prof. Dr. İnanç ÖZGEN |
| | | 7 | TOKAT İLİ MERKEZ İLÇE BUĞDAY ÜRETİMİNDE İKLİM FAKTÖRLERİNİN VERİM ÜZERİNE ETKİSİ | Emre BAÇ<br>Prof.Dr. Bilge GÖZENER<br>Aysun IŞIK |
| | | 8 | BAHÇE ÜRÜNLERİNİN MUHAFAZASI VE PAZARLAMASINDA KULLANILAN GÜNCEL PAKETLEME TEKNOLOJİLERİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Cafer ÖZKAN<br>Dr. Öğr. Üyesi Burak Erdem ALGÜL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assoc. Prof. Dr. Elena Popovska** | 1 | INNOVATIVE STEM EDUCATION MODELS INCORPORATING ISLAMIC SCIENTIFIC HERITAGE IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS | Prof. Dr. Reza Jalali<br>Soraya Mahmoudi<br>Ali Karimi<br>Fatemeh Ahmadi |
| | | 2 | DIGITAL LITERACY PROGRAMS FOR RURAL IRANIAN GIRLS ADDRESSING GENDER DIGITAL DIVIDE | Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli<br>Leila Bahrami<br>Mohammad Rezaei |
| | | 3 | SAUDI VISION 2030 ALIGNMENT THROUGH TEACHER TRAINING REFORMS IN VOCATIONAL EDUCATION | Dr. Khalid Al-Saud<br>Fatima Al-Mansoori<br>Ahmed Bin Laden |
| | | 4 | INTEGRATING ARABIC LANGUAGE PRESERVATION IN BILINGUAL STEM CURRICULA FOR SAUDI UNIVERSITIES | Prof. Dr. Nora Al-Ghamdi<br>Omar Al-Fahim<br>Sara Hassan |
| | | 5 | MULTICULTURAL CLASSROOM MANAGEMENT STRATEGIES FOR NORTH MACEDONIAN DIVERSE SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Elena Popovska<br>Nikola Ivanov<br>Marija Petrovic |
| | | 6 | POST-PANDEMIC BLENDED LEARNING FRAMEWORKS FOR MACEDONIAN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS | Dr. Goran Trajkov<br>Biljana Angelova<br>Saso Kostovski |
| | | 7 | GREEK ORTHODOX EDUCATION VALUES INTEGRATION IN MODERN SECULAR CURRICULA | Prof. Dr. Eleni Papadopoulos<br>Dimitri Stavros<br>Maria Kostas |
| | | 8 | MYCENAEAN HERITAGE EDUCATION THROUGH IMMERSIVE VR TECHNOLOGIES IN ATHENS SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Nikos Karamanlis<br>Sophia Antoniou<br>Theo Lazos |
| | | 9 | SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS PEDAGOGY IN CRETE ENVIRONMENTAL EDUCATION PROGRAMS | Dr. Panagiotis Manolis<br>Anna Theodorou<br>Katerina Panagiotou |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Assoc. Prof. Dr. Karim Bensalem** | 1 | CULTURAL TRANSFORMATION AND IDENTITY NEGOTIATION IN POST-SOVIET AZERBAIJANI SOCIETIES | Prof. Dr. Aydin Rahimov<br>Leyla Guliyeva<br>Murad Ismayilov |
| | | 2 | TRADITIONAL FAMILY STRUCTURES AND MODERNIZATION EFFECTS IN RURAL AZERBAIJAN | Assoc. Prof. Dr. Sevda Mammadli<br>Rashad Karimzade |
| | | 3 | ETHNOGRAPHIC STUDY OF NOMADIC HERITAGE AND SETTLEMENT PATTERNS IN IRANIAN TRIBAL COMMUNITIES | Dr. Mahdi Khosravi<br>Fatemeh Nourani<br>Ali Shokri |
| | | 4 | RITUAL PRACTICES AND RELIGIOUS SYMBOLISM IN CONTEMPORARY IRANIAN URBAN LIFE | Prof. Dr. Hossein Tavassoli<br>Zahra Ebrahimi |
| | | 5 | BERBER IDENTITY AND CULTURAL PRESERVATION IN MODERN ALGERIAN SOCIETY | Assoc. Prof. Dr. Karim Bensalem<br>Nadia Touati<br>Yacine Meziane |
| | | 6 | URBANIZATION AND SOCIAL CHANGE IN ALGERIAN TRADITIONAL COMMUNITIES: AN ANTHROPOLOGICAL PERSPECTIVE | Dr. Samir Belkadi<br>Amel Zerrouki |
| | | 7 | LANGUAGE, MEMORY, AND ORAL TRADITIONS IN GEORGIAN HIGHLAND CULTURES | Prof. Dr. Nino Chakvetadze<br>Giorgi Avaliani<br>Tamar Kvaratskhelia |
| | | 8 | POST-SOVIET IDENTITY AND YOUTH CULTURE IN GEORGIAN URBAN ENVIRONMENTS | Assoc. Prof. Dr. Irakli Shengelia<br>Mariam Gogoladze |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Prof. Dr. Leila Shokouhi** | 1 | INNOVATIVE TEACHING METHODS FOR IMPROVING PRIMARY EDUCATION OUTCOMES IN RURAL LAOS | Prof. Dr. Somphong Vannaseng<br>Khamla Phommasack<br>Dr. Sitha Keobounma |
| | | 2 | DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND THEIR IMPACT ON SECONDARY SCHOOL STUDENTS IN URBAN LAOS | Assoc. Prof. Dr. Bounmy Siharath<br>Anong Vilayphone |
| | | 3 | CURRICULUM REFORM AND CRITICAL THINKING DEVELOPMENT IN IRANIAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS | Dr. Mahdi Norouzi<br>Fatemeh Rahbari<br>Hossein Azimi |
| | | 4 | TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAMS AND THEIR EFFECTIVENESS IN IRANIAN SCHOOLS | Prof. Dr. Leila Shokouhi<br>Reza Ghaffari |
| | | 5 | INCLUSIVE EDUCATION STRATEGIES FOR STUDENTS WITH DISABILITIES IN ALGERIAN PUBLIC SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Samir Boudjemaa<br>Nadia Cherifi<br>Karim Touati |
| | | 6 | THE ROLE OF PARENTAL INVOLVEMENT IN ENHANCING STUDENT ACHIEVEMENT IN ALGERIA | Dr. Amel Benyamina<br>Yacine Meziane |
| | | 7 | EDUCATION REFORMS AND STUDENT-CENTERED LEARNING APPROACHES IN GEORGIAN UNIVERSITIES | Prof. Dr. Tamar Kvaratskhelia<br>Giorgi Abashidze<br>Nino Lortkipanidze |
| | | 8 | THE IMPACT OF BILINGUAL EDUCATION ON ACADEMIC PERFORMANCE IN GEORGIAN SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Irakli Dolidze<br>Mariam Chkheidze |
| | | 9 | INTEGRATION OF TECHNOLOGY IN CLASSROOM TEACHING PRACTICES IN GEORGIA | Dr. Salome Japaridze<br>Levan Gogsadze |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Dr. Dawit Alemayehu** | 1 | POST-COMMUNIST IDENTITY AND MEMORY IN CONTEMPORARY ROMANIAN LITERATURE | Prof. Dr. Andrei Popescu<br>Elena Ionescu<br>Dr. Mihai Stan |
| | | 2 | FOLKLORE AND MYTH REINTERPRETATION IN MODERN ROMANIAN POETRY | Assoc. Prof. Dr. Daniela Marinescu |
| | | 3 | NARRATIVE STRUCTURES AND URBAN REPRESENTATIONS IN CONTEMPORARY TURKISH LITERATURE FROM BORNOVA REGION | Radu Georgescu |
| | | 4 | INTERTEXTUALITY AND POSTMODERN THEMES IN BORNOVA-BASED ACADEMIC LITERARY STUDIES | Dr. Dawit Alemayehu |
| | | 5 | ORAL TRADITIONS AND THEIR TRANSFORMATION IN ETHIOPIAN MODERN FICTION | Dr. Tesfaye Bekele<br>Almaz Gebru |
| | | 6 | LANGUAGE, IDENTITY, AND COLONIAL LEGACY IN ETHIOPIAN LITERARY DISCOURSE | Assoc. Prof. Dr. Hana Tesfaye<br>Solomon Abebe |
| | | 7 | STEPPE CULTURE AND SYMBOLISM IN CONTEMPORARY KAZAKH NOVELS | Prof. Dr. Aigerim Sadykova<br>Nursultan Bekov<br>Dr. Dana Kairat |
| | | 8 | THE ROLE OF EPIC POETRY IN SHAPING NATIONAL IDENTITY IN KAZAKH LITERATURE | Assoc. Prof. Dr. Yerlan Tulegenov<br>Aruzhan Iskakova |
| | | 9 | MODERNISM AND LITERARY EXPERIMENTATION IN POST-SOVIET KAZAKH WRITING | Dr. Gulmira Zhanabayeva<br>Askar Nurtayev |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Assoc. Prof. Dr. Nikos Karamanlis** | 1 | THE POLITICAL AND SOCIAL TRANSFORMATION OF TRANSYLVANIA DURING THE AUSTRO-HUNGARIAN PERIOD | Prof. Dr. Andrei Popa<br>Elena Ionescu<br>Mihai Stan |
| | | 2 | MEDIEVAL TRADE ROUTES AND CULTURAL INTERACTIONS IN WALLACHIA AND MOLDAVIA | Assoc. Prof. Dr. Ioana Dumitrescu<br>Radu Georgescu |
| | | 3 | THE ROLE OF THE SILK ROAD IN SHAPING MEDIEVAL AZERBAIJANI STATE STRUCTURES | Prof. Dr. Rashad Karimov<br>Leyla Mammadli<br>Elvin Huseynov |
| | | 4 | CULTURAL AND RELIGIOUS DYNAMICS IN SAFAVID-ERA AZERBAIJAN | Dr. Nigar Aliyeva<br>Farid Guliyev |
| | | 5 | ANCIENT AKSUMITE CIVILIZATION AND ITS TRADE NETWORKS IN THE RED SEA REGION | Prof. Dr. Tesfaye Bekele<br>Almaz Desta<br>Dr. Yohannes Girma |
| | | 6 | COLONIAL RESISTANCE MOVEMENTS AND NATIONAL IDENTITY FORMATION IN ETHIOPIA | Assoc. Prof. Dr. Mekonnen Alemu<br>Selamawit Tadesse |
| | | 7 | NOMADIC EMPIRE FORMATION AND STEPPE POLITICS IN EARLY KAZAKH HISTORY | Prof. Dr. Yerlan Sadykov<br>Aigerim Nurpeisova<br>Dias Kenzhebayev |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Assis. Prof. Dr. Ruslan Zhumabayev** | 1 | SOCIAL INEQUALITY AND URBAN POVERTY DYNAMICS IN POST-TRANSITION ROMANIAN CITIES | Prof. Dr. Andrei Popescu<br>Elena Ionescu<br>Dr. Mihai Dumitrescu |
| | | 2 | MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES AMONG ROMANIAN YOUTH IN EUROPEAN LABOR MARKETS | Assoc. Prof. Dr. Cristina Marin<br>Vlad Georgescu |
| | | 3 | THE ROLE OF RELIGION IN SHAPING SOCIAL NORMS AND COMMUNITY COHESION IN MODERN EGYPTIAN SOCIETY | Prof. Dr. Ahmed El-Sharif<br>Mona Hassan<br>Dr. Karim Fouad |
| | | 4 | GENDER ROLES AND EDUCATIONAL INEQUALITY IN RURAL EGYPT: A SOCIOLOGICAL PERSPECTIVE | Prof. Dr. Ibrahim Abdallah<br>Fatima El-Tahir<br>Omar Hassan |
| | | 5 | TRADITIONAL SOCIAL STRUCTURES AND MODERNIZATION IMPACTS IN SUDANESE RURAL COMMUNITIES | Dr. Salma Naguib<br>Hassan El-Gendy |
| | | 6 | CONFLICT, DISPLACEMENT, AND SOCIAL RESILIENCE AMONG SUDANESE URBAN POPULATIONS | Dr. Musa Idris<br>Aisha Mohamed |
| | | 7 | SOCIAL CHANGE AND YOUTH IDENTITY FORMATION IN CONTEMPORARY KAZAKHSTAN | Prof. Dr. Yerlan Sadykov<br>Aigerim Tulegenova<br>Nursultan Beketov Dr. Dana Kairatova |
| | | 8 | DIGITALIZATION AND ITS IMPACT ON FAMILY STRUCTURES IN KAZAKH SOCIETY | Assis. Prof. Dr. Ruslan Zhumabayev |
| | | 9 | ETHNIC DIVERSITY AND SOCIAL COHESION IN MULTICULTURAL REGIONS OF KAZAKHSTAN | Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abilova<br>Marat Ospanov |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Assis. Prof. Dr. Laila Hassan** | 1 | DEMOCRATIC CONSOLIDATION AND ELECTORAL REFORMS IN POST-COMMUNIST ROMANIA | Andrei Popa<br>Elena Ionescu<br>Dr. Mihai Georgescu |
| | | 2 | THE ROLE OF EUROPEAN UNION INSTITUTIONS IN SHAPING ROMANIAN PUBLIC POLICY FRAMEWORKS | Assoc. Prof. Dr. Cristina Dumitrescu<br>Radu Marinescu |
| | | 3 | AUTHORITARIAN LEGACIES AND POLITICAL TRANSITION IN MODERN EGYPTIAN GOVERNANCE STRUCTURES | Prof. Dr. Ahmed El-Sayed<br>Dr. Mona Abdelrahman<br>Youssef Khalil |
| | | 4 | CIVIL SOCIETY AND YOUTH POLITICAL PARTICIPATION IN POST-ARAB SPRING EGYPT | Assis. Prof. Dr. Laila Hassan<br>Omar Farouk<br>Nour El-Din |
| | | 5 | STATE-BUILDING CHALLENGES AND ETHNIC POLITICS IN CONTEMPORARY SUDAN | Prof. Dr. Hassan Idris<br>Fatima Abdelgadir<br>Dr. Musa Elamin |
| | | 6 | TRANSITIONAL GOVERNANCE AND CONFLICT RESOLUTION MECHANISMS IN SUDAN AFTER POLITICAL UPHEAVALS | Assoc. Prof. Dr. Khalid Osman<br>Aisha Mohamed |
| | | 7 | ENERGY POLITICS AND REGIONAL POWER DYNAMICS IN CENTRAL ASIA: THE CASE OF KAZAKHSTAN | Dr. Yerlan Sadykov<br>Aigerim Bekova<br>Dr. Nurlan Tursynov |
| | | 8 | NATION-BUILDING AND IDENTITY FORMATION IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN | Dias Zhumabayev Assoc. Prof. Dr. Gulmira Akhmetova |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Dr. Andrei Popa** | 1 | DEMOCRATIC CONSOLIDATION AND EUROPEAN UNION INTEGRATION POLICIES IN POST-COMMUNIST ROMANIA | Dr. Andrei Popa |
| | | 2 | PUBLIC ADMINISTRATION REFORMS AND ANTI-CORRUPTION STRATEGIES IN ROMANIAN GOVERNANCE | Assoc. Prof. Dr. Cristina Dumitrescu<br>Radu Marinescu<br>Elena Ionescu<br>Dr. Mihai Stan |
| | | 3 | POLITICAL PARTICIPATION AND YOUTH ENGAGEMENT IN CONTEMPORARY GREEK DEMOCRACY | Dr. Nikos Papageorgiou<br>Maria Kallisti<br>Dimitris Voulgaris |
| | | 4 | ECONOMIC CRISIS AND POLICY RESPONSES IN GREECE: A POLITICAL ECONOMY PERSPECTIVE | Prof. Dr. Ioannis Theodorakis<br>Eleni Markou |
| | | 5 | ENERGY POLITICS AND FOREIGN POLICY STRATEGIES IN QATAR'S GLOBAL DIPLOMACY | Prof. Dr. Khalifa Al-Thani<br>Dr. Nasser Al-Kuwari<br>Fahad Al-Misnad |
| | | 6 | STATE-BUILDING AND GOVERNANCE MODELS IN QATAR: BALANCING TRADITION AND MODERNITY | Assoc. Prof. Dr. Mariam Al-Suwaidi<br>Hamad Al-Ansari |
| | | 7 | POST-SOVIET POLITICAL TRANSFORMATION AND DEMOCRATIC DEVELOPMENT IN GEORGIA | Prof. Dr. Giorgi Mchedlishvili<br>Nino Kapanadze<br>Levan Abashidze |
| | | 8 | REGIONAL SECURITY POLICIES AND CONFLICT RESOLUTION IN THE SOUTH CAUCASUS | Dr. Tamar Shengelia<br>Irakli Beridze |
| | | 9 | MEDIA FREEDOM AND POLITICAL COMMUNICATION STRATEGIES IN GEORGIAN POLITICS | Assoc. Prof. Dr. Davit Lomidze<br>Ana Gelashvili |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Assoc. Prof. Dr. Davit Gogoladze** | 1 | DEMOCRATIC RESILIENCE AND INSTITUTIONAL TRUST IN POST-PANDEMIC EUROPE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF CITIZEN PARTICIPATION, GOVERNANCE CAPACITY, AND POLITICAL LEGITIMACY | Dr. Mihai Dumitrescu<br>Ana-Maria Radu |
| | | 2 | THE IMPACT OF DIGITAL POLITICAL COMMUNICATION ON ELECTORAL BEHAVIOR: SOCIAL MEDIA, DISINFORMATION, AND DEMOCRATIC ACCOUNTABILITY IN EASTERN EUROPE | Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu |
| | | 3 | MIGRATION GOVERNANCE AND BORDER SECURITY POLICIES IN THE EASTERN MEDITERRANEAN: CHALLENGES FOR REGIONAL COOPERATION AND POLITICAL STABILITY | Prof. Dr. Nikolaos Papadakis<br>Eleni Karagianni<br>Dr. Georgios Vassiliou<br>Christos Theodorakis |
| | | 4 | PUBLIC POLICY RESPONSES TO CLIMATE CHANGE AND ENERGY TRANSITION: POLITICAL LEADERSHIP, SOCIETAL ADAPTATION, AND SUSTAINABLE GOVERNANCE FRAMEWORKS | Assoc. Prof. Dr. Dimitrios Alexandris<br>Dr. Panagiotis Ioannidis<br>Konstantinos Georgiadis |
| | | 5 | STATE MODERNIZATION AND GOVERNANCE REFORM IN THE GULF REGION: EXAMINING ADMINISTRATIVE INNOVATION, PUBLIC SECTOR PERFORMANCE, AND POLICY EFFECTIVENESS | Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori<br>Dr. Fatima Al-Kuwari<br>Mohammed Al-Hajri<br>Sara Al-Naimi |
| | | 6 | YOUTH POLITICAL ENGAGEMENT AND NATIONAL DEVELOPMENT STRATEGIES IN THE ARAB WORLD: EVALUATING PARTICIPATORY GOVERNANCE AND CIVIC EMPOWERMENT INITIATIVES | Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Thani<br>Prof. Dr. Noor Al-Sulaiti<br>Dr. Mariam Al-Emadi<br>Abdullah Al-Marri<br>Aisha Al-Hammadi |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Assoc. Prof. Dr. Mihai Dumitrescu** | 1 | GEOPOLITICAL TRANSFORMATIONS IN THE SOUTH CAUCASUS: REGIONAL SECURITY DYNAMICS, FOREIGN POLICY ADAPTATION, AND STRATEGIC PARTNERSHIPS | Assoc. Prof. Dr. Davit Gogoladze<br>Prof. Dr. Ketevan Chikovani |
| | | 2 | DIGITAL GOVERNANCE AND ELECTRONIC PARTICIPATION IN EMERGING DEMOCRACIES: OPPORTUNITIES, RISKS, AND POLICY IMPLICATIONS FOR PUBLIC ADMINISTRATION | Dr. Eka Metreveli<br>Ana Shengelia<br>Assoc. Prof. Dr. Zurab Kiknadze |
| | | 3 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AUTOMATION, AND FUTURE LABOR MARKETS: ECONOMIC IMPLICATIONS FOR PRODUCTIVITY, EMPLOYMENT, AND WAGE DISTRIBUTION | Adam Kiss<br>Reka Molnar<br>Prof. Dr. Balint Szabo<br>Dr. Zsuzsanna Varga |
| | | 4 | DIGITAL TRANSFORMATION AND PRODUCTIVITY GROWTH IN EMERGING EUROPEAN ECONOMIES: AN ECONOMETRIC ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INVESTMENT AND LABOR MARKET ADAPTATION | Prof. Dr. Alexandru Ionescu<br>Dr. Maria Popa |
| | | 5 | THE EFFECTS OF MONETARY POLICY UNCERTAINTY ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT FLOWS AND ECONOMIC STABILITY IN SOUTHEASTERN EUROPE | Assoc. Prof. Dr. Mihai Dumitrescu |
| | | 6 | SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES AS DRIVERS OF ECONOMIC DEVELOPMENT: EVIDENCE FROM INNOVATION, EMPLOYMENT, AND REGIONAL COMPETITIVENESS IN THE WESTERN BALKANS | Prof. Dr. Arben Krasniqi<br>Liridona Gashi<br>Dr. Besnik Berisha |
| | | 7 | FINANCIAL INCLUSION AND SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH: ASSESSING THE ROLE OF DIGITAL BANKING SERVICES IN DEVELOPING ECONOMIES | Assis. Prof. Dr. Valon Shala<br>Dr. Fitore Rexhepi |
| | | 8 | ENERGY MARKET DIVERSIFICATION AND MACROECONOMIC RESILIENCE IN GULF COUNTRIES: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR LONG-TERM DEVELOPMENT | Prof. Dr. Ahmad Al-Sabah<br>Dr. Fatima Al-Mutairi<br>Nasser Al-Harbi |
| | | 9 | THE IMPACT OF HUMAN CAPITAL INVESTMENT ON KNOWLEDGE-BASED ECONOMIC DEVELOPMENT: A CASE STUDY OF HIGH-INCOME RESOURCE ECONOMIES | Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Enezi |
| | | 10 | GREEN ECONOMIC TRANSITION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS: EXAMINING THE COSTS AND BENEFITS OF SUSTAINABLE PRODUCTION POLICIES IN CENTRAL EUROPE | Prof. Dr. Gabor Kovacs<br>Dr. Anna Horvath<br>Peter Nagy |
| | | 11 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AUTOMATION, AND FUTURE LABOR MARKETS: ECONOMIC IMPLICATIONS FOR PRODUCTIVITY, EMPLOYMENT, AND WAGE DISTRIBUTION | Adam Kiss<br>Reka Molnar<br>Prof. Dr. Balint Szabo<br>Dr. Zsuzsanna Varga |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 11** | **Assoc. Prof. Dr. Mihai Dumitrescu** | 1 | THE ROLE OF AFRICAN THEOLOGICAL TRADITIONS IN CONTEMPORARY CHRISTIAN PRACTICES IN ZIMBABWE | Dr. Blessing Ndlovu Prof. Dr. Tendai Muchengeti Rumbidzai Chikore |
| | | 2 | INTERPRETATIONS OF BIBLICAL TEXTS IN POST-COLONIAL ZIMBABWEAN SOCIETY | Assoc. Prof. Dr. Tafadzwa Moyo Simbarashe Gutu |
| | | 3 | ORTHODOX CHRISTIAN THEOLOGY AND NATIONAL IDENTITY IN NORTH MACEDONIA | Prof. Dr. Aleksandar Petreski Marija Nikolova Dr. Stefan Iliev |
| | | 4 | INTERRELIGIOUS DIALOGUE AND COEXISTENCE IN BALKAN THEOLOGICAL DISCOURSE | Dr. Elena Trajkovska Assoc. Prof. Dr. Goran Stojanov |
| | | 5 | ISLAMIC THEOLOGICAL PERSPECTIVES ON MODERNITY AND SOCIAL CHANGE IN TUNISIA | Assis. Prof. Dr. Hichem Ben Youssef Amira Trabelsi Dr. Sami Gharbi |
| | | 6 | QURANIC INTERPRETATION AND CONTEMPORARY ETHICAL ISSUES IN TUNISIAN SCHOLARSHIP | Dr. Noura Ben Salem Yassine Chahed |
| | | 7 | THE DEVELOPMENT OF ORTHODOX THEOLOGICAL THOUGHT IN MODERN GEORGIAN SOCIETY | Nino Kakhidze Dr. Levan Gogoladze |
| | | 8 | RELIGION AND CULTURAL IDENTITY IN POST-SOVIET GEORGIA: A THEOLOGICAL ANALYSIS | Assis. Prof. Dr. Tamar Japaridze Irakli Tsereteli |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 12** | **Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze** | 1 | RURAL TO URBAN MIGRATION DYNAMICS AND SOCIOECONOMIC TRANSFORMATION IN ZIMBABWEAN COMMUNITIES | Dr. Rutendo Dube |
| | | 2 | YOUTH MIGRATION PATTERNS AND EMPLOYMENT CHALLENGES IN ZIMBABWE'S POST-CRISIS ECONOMY | Assoc. Prof. Dr. Tafadzwa Ndlovu<br>Kudakwashe Gweru Prof. Dr. Tendai Moyo<br>Nyasha Chikore |
| | | 3 | TRANSNATIONAL MIGRATION AND IDENTITY FORMATION AMONG MACEDONIAN DIASPORA COMMUNITIES | Dr. Elena Petrova<br>Stefan Iliev<br>Marija Kostova |
| | | 4 | ECONOMIC MIGRATION FLOWS AND LABOR MARKET ADAPTATION IN NORTH MACEDONIA | Prof. Dr. Aleksandar Trajkov<br>Ivana Ristova |
| | | 5 | IRREGULAR MIGRATION AND BORDER MANAGEMENT POLICIES IN TUNISIA | Assoc. Prof. Dr. Hichem Ben Youssef<br>Amira Trabelsi<br>Dr. Sami Gharbi |
| | | 6 | SOCIAL INTEGRATION OF SUB-SAHARAN MIGRANTS IN TUNISIAN URBAN CENTERS | Dr. Nadia Chaabane<br>Fathi Mansouri |
| | | 7 | POST-SOVIET MIGRATION TRENDS AND DEMOGRAPHIC SHIFTS IN GEORGIA | Prof. Dr. Giorgi Avaliani<br>Nino Beridze<br>Levan Khutsishvili |
| | | 8 | INTERNAL DISPLACEMENT AND RESETTLEMENT POLICIES IN GEORGIAN CONFLICT ZONES | Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze<br>Irakli Gelashvili |
| | | 9 | LABOR MIGRATION AND REMITTANCE IMPACTS ON HOUSEHOLD ECONOMIES IN GEORGIA | Dr. Ana Tsiklauri<br>Mariam Shengelia |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 13** | **Dr. Hassan Mgaya** | 1 | DIGITAL PAYMENT TRANSFORMATION AND FINANCIAL INCLUSION IN SOUTHEAST ASIA'S URBAN ECONOMIES | Prof. Dr. Ernesto Valdés<br>Dr. Camila Hernández<br>Luis Ortega |
| | | 2 | STRUCTURAL ADJUSTMENT POLICIES AND THEIR LONG-TERM SOCIOECONOMIC IMPACTS IN POST-REVOLUTIONARY CUBA | Prof. Dr. Budi Santoso<br>Dr. Maya Kartika<br>Fajar Nugroho |
| | | 3 | TOURISM-DEPENDENT ECONOMIES AND SUSTAINABLE GROWTH STRATEGIES IN CONTEMPORARY CUBA | Prof. Dr. Joseph Mwakipesile<br>Assoc. Prof. Dr. Ricardo Morales<br>Dr. Elena Ruiz |
| | | 4 | AGRICULTURAL PRODUCTIVITY, CLIMATE CHANGE, AND RURAL POVERTY REDUCTION IN TANZANIA | Dr. Asha Mtemvu<br>Peter Nyerere |
| | | 5 | FOREIGN DIRECT INVESTMENT AND INDUSTRIALIZATION PATTERNS IN EAST AFRICAN ECONOMIES | Dr. Hassan Mgaya |
| | | 6 | TRANSITION ECONOMIES AND MARKET LIBERALIZATION IN POST-SOVIET CENTRAL ASIA | Dr. Nilufar Rahmonova<br>Azizbek Sharifov |
| | | 7 | INFLATION CONTROL MECHANISMS AND CURRENCY STABILITY IN TAJIKISTAN'S MODERN ECONOMY | Assoc. Prof. Dr. Rustam Iskandarov<br>Dr. Farzona Yusufzoda |
| | | 8 | LABOR MIGRATION, REMITTANCES, AND HOUSEHOLD ECONOMIC RESILIENCE IN TAJIKISTAN | Dr. Dilshod Rahimov<br>Prof. Dr. Gulnora Saidova<br>Assoc. Prof. Dr. Komron Davlatov |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 14** | **Prof. Dr. Neema Kileo** | 1 | COLONIAL ADMINISTRATION AND URBAN TRANSFORMATION IN BATAVIA DURING THE DUTCH EAST INDIES PERIOD | Dr. Siti Rahmawati |
| | | 2 | ISLAMIC TRADE NETWORKS AND THE DEVELOPMENT OF PORT CITIES IN THE INDONESIAN ARCHIPELAGO FROM THE FIFTEENTH TO THE SEVENTEENTH CENTURY | Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso<br>Maya Kartika |
| | | 3 | REVOLUTIONARY MOBILIZATION AND SOCIAL CHANGE IN CUBA AFTER 1959 | Prof. Dr. Ernesto Valdés<br>Dr. Camila Hernández<br>Luis Ortega |
| | | 4 | THE ROLE OF SUGAR PLANTATIONS IN SHAPING THE ECONOMIC AND POLITICAL HISTORY OF NINETEENTH-CENTURY CUBA | Dr. Elena Ruiz Ricardo Morales |
| | | 5 | PRECOLONIAL TRADE ROUTES AND CULTURAL EXCHANGE IN EAST AFRICA: EVIDENCE FROM TANZANIAN COASTAL COMMUNITIES | Prof. Dr. Joseph Mwakipesile<br>Dr. Asha Mtemvu<br>Peter Nyerere |
| | | 6 | THE IMPACT OF GERMAN COLONIAL RULE ON LOCAL GOVERNANCE STRUCTURES IN TANGANYIKA | Prof. Dr. Neema Kileo |
| | | 7 | SILK ROAD INTERACTIONS AND CULTURAL EXCHANGE IN CENTRAL ASIA DURING THE MEDIEVAL PERIOD | Prof. Dr. Farrukh Karimov<br>Dr. Nilufar Rahmonova |
| | | 8 | POLITICAL TRANSFORMATIONS IN TAJIKISTAN FROM THE LATE SOVIET ERA TO NATIONAL INDEPENDENCE | Assoc. Prof. Dr. Rustam Iskandarov<br>Dr. Farzona Yusufzoda |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 15** | **Assoc. Prof. Dr. Manuel Herrera** | 1 | ANALYSIS OF PREHISTORIC SETTLEMENT PATTERNS AND CULTURAL LANDSCAPES IN THE INDONESIAN ARCHIPELAGO THROUGH GIS-BASED ARCHAEOLOGICAL METHODS | Prof. Dr. Ahmad Prabowo<br>Rizky Nugroho |
| | | 2 | ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION OF EARLY MARITIME TRADE NETWORKS IN SOUTHEAST ASIA: EVIDENCE FROM COASTAL EXCAVATIONS IN JAVA | Assoc. Prof. Dr. Bambang Santoso<br>Dewi Lestari |
| | | 3 | REASSESSING INDIGENOUS CERAMIC PRODUCTION TECHNIQUES IN PRE-COLUMBIAN CUBA THROUGH MATERIAL CULTURE STUDIES | Prof. Dr. Carlos Rodríguez<br>Dr. Elena Martínez<br>Jorge Pérez |
| | | 4 | DIGITAL DOCUMENTATION AND CONSERVATION OF COLONIAL ARCHAEOLOGICAL SITES IN WESTERN CUBA USING 3D MAPPING TECHNOLOGIES | Assoc. Prof. Dr. Manuel Herrera<br>Lucía Fernández |
| | | 5 | ARCHAEOLOGICAL EVIDENCE OF IRON AGE AGRICULTURAL COMMUNITIES IN EAST AFRICA: NEW FINDINGS FROM NORTHERN TANZANIA | Prof. Dr. Joseph Mwakalobo<br>Dr. Amina Suleiman<br>Peter Mrema |
| | | 6 | COMPARATIVE STUDY OF ROCK ART TRADITIONS AND SYMBOLIC COMMUNICATION IN TANZANIAN ARCHAEOLOGICAL LANDSCAPES | Assoc. Prof. Dr. Rehema Komba<br>Dr. Hassan Mjema |
| | | 7 | SETTLEMENT DYNAMICS AND CULTURAL INTERACTIONS ALONG THE SILK ROAD: NEW ARCHAEOLOGICAL DISCOVERIES FROM TAJIKISTAN | Prof. Dr. Farid Sharipov<br>Dr. Mahina Rasulzoda<br>Kamol Iskandarov<br>Assis. Prof. Dr. Dilshod Rahmonov |
| | | 8 | ARCHAEOLOGICAL ASSESSMENT OF FORTIFIED MOUNTAIN COMMUNITIES IN THE PAMIR REGION DURING THE MEDIEVAL PERIOD | Assoc. Prof. Dr. Rustam Karimzoda<br>Dr. Nigina Safarova |
| | | 9 | BIOARCHAEOLOGICAL ANALYSIS OF HUMAN REMAINS FROM ANCIENT TAJIK SETTLEMENTS: INSIGHTS INTO DIET, HEALTH, AND MOBILITY PATTERNS | Dr. Parviz Nuriddinov<br>Prof. Dr. Zarina Habibova<br>Shahlo Mirzoeva |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Dr. Öğretim Üyesi Rahmi İNCEKARA** | 1 | KAYNAKLARI KENDİ KENDİNE YETEN TEK ÜLKE: GUYANA | Dr. Öğretim Üyesi Rahmi İNCEKARA |
| | | 2 | KÜRESEL TİCARET DENKLEMİNDE YENİ ALTERNATİF: "ORTA KORİDOR" | Dr. Öğretim Üyesi Beyhan İNCEKARA |
| | | 3 | JAPONYA'NIN COOL JAPAN POLİTİKASININ ULUS MARKALAMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ | Dr. Öğretim Üyesi Hande EROL |
| | | 4 | THE ROLE OF THE ORGANIZATION OF TURKIC STATES IN HUNGARY'S FOREIGN POLICY DIVERSIFICATION STRATEGY | PhD Candidate Ali Kılıçarslan Topuz |
| | | 5 | FROM BODIES TO MOVEMENTS: WOMEN, MORAL SHOCKS, AND THE "WOMAN, LIFE, FREEDOM" UPRISING IN IRAN (1979–2022) | Arghavan Ashtarani |
| | | 6 | TÜRKİYE'NİN MAVİ VATAN DOKTRİNİ BAĞLAMINDA DOĞU AKDENİZ'DE JEOPOLİTİK REKABET VE ENERJİ GÜVENLİĞİ | Koray Kamacı |
| | | 7 | K-FOOD VANGUARD; SOFT POWER AND NATIONAL BRANDING IN 2026 | Hnin Ei Aung<br>Asst. Prof. Dr. Abdülkadir ŞENCAN |
| | | 8 | IRAN'S STRATEGIC COMMUNICATION MANEUVERS IN THE US-ISRAEL-IRAN WAR | Dr. Muhammet MAĞAT<br>Doctoral Std. İlknur Şebnem ÖZTEMEL MAĞAT |
| | | 9 | AVRUPA'DA BAĞIMLILIKLA MÜCADELE POLİTİKALARININ DÖNÜŞÜMÜ: PORTEKİZ ÖRNEĞİ | PhD Student Burcu IŞIK |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Dr. Sibel Taşkın** | 1 | ULUSLARARASI TOHUM VE ORMAN RESTORASYON AJANSI (UTORA): KÜRESEL ORMAN RESTORASYONU İÇİN YENİ BİR KURUMSAL MODEL ÖNERİSİ | Damla Erkan<br>Doç. Dr. Günay GÖNÜLLÜ |
| | | 2 | BREZİLYA TOPRAKSIZ KIR İŞÇİLERİ HAREKETİ ÇERÇEVESİNDE TOPLUMSAL DİRENİŞ ÖRNEĞİNİN İNCELEMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Bora COŞKUN<br>Doç. Dr. Günay GÖNÜLLÜ |
| | | 3 | TERÖRLE MÜCADELE POLİTİKALARININ KAMU YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ KURUMSAL ETKİLERİ | Prof. Dr. Bekir TAVAS |
| | | 4 | İŞ-YAŞAM DENGESİNİN ÜÇ AYAĞI: ESNEK ÇALIŞMA, KAMUSAL BAKIM VE EBEVEYN İZNİ | Dr. Sibel Taşkın |
| | | 5 | DEVLET GÖZETİMİ BAĞLAMINDA ÇİN HALK CUMHURİYETİ'NİN ÇİN HALKI ÜZERİNDEKİ GÖZETİM ve DENETİM MEKANİZMALARI | Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Fevzi CENGİZ |
| | | 6 | THE ROLE OF AI-SUPPORTED SURVEILLANCE TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF SOCIETAL SECURITIZATION IN CHINA | Graduate Student Halit AKBAŞ<br>Master of Science Hilal KÜÇÜKTOPÇU |
| | | 7 | RESILIENT CITY IN INCREASING SUSTAINABILITY AGAINST CLIMATE CHANGE: THE CASE OF ESKISEHIR | Keziban AVCİ İZGÜDER<br>Sanem BERKÜN |
| | | 8 | THE INFLUENCE OF DIGITAL NETWORKS ON FAMILY COHESION | Assoc. Prof. Dr. Salih ÇİFTÇİ<br>Research Assistant Dr. Leyla ÇİFTÇİ |
| | | 9 | YÖN DERGİSİNDE TÜRKİYE'NİN KIRSAL GERÇEKLİĞİ VE DOĞAN AVCIOĞLU'NUN KALKINMA STRATEJİSİNDE TOPRAK REFORMU VE KOOPERATİFLEŞME SORUNU | Elif TOSUN<br>Prof. Dr. Elçin Macar |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Dr. Öğr. Üyesi İlke TEPEKÖYLÜ** | 1 | A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN CULTURE, MEDIA AND FOLKLORE | Dr. Öğr. Üyesi İlke TEPEKÖYLÜ |
| | | 2 | CULTURE INDUSTRY AND FOLKLORE | Dr. Öğr. Üyesi İlke TEPEKÖYLÜ |
| | | 3 | ROBERT WALSER MİKROGRAMLARINDA OTOKURMACA | Arş. Gör. Fatma Nur GÜN |
| | | 4 | HALİKARNAS BALIKÇISI'NIN HİKÂYE VE ROMANLARINDA YAŞAM DÖNGÜSÜ SİMGESİ OLARAK "DİONYSOS" | Doktora Öğrencisi, Cenan ARIKAN ÖLMEZ |
| | | 5 | MYTHOLOGICAL SYSTEM IN KAZAKH AND TURKIC EPICS: SIMILARITIES AND DIFFERENCES | Abdeldaeva Aidana<br>Sagyndyk Nurlan |
| | | 6 | RİYÂZÜ'Ş-ŞU'ARÂ ODAĞINDA ANADOLU SAHASI ŞU'ARÂ TEZKİRELERİNDE BİR ANLATI TEKNİĞİ OLARAK ANEKDOT | Yüksek Lisans Öğrencisi Hazal GÜLSUYU<br>Dr. Öğr. Üyesi Ali Emre ÖZYILDIRIM |
| | | 7 | PEYAMİ SAFA'NIN SERVER BEDİ TAKMA ADIYLA YAZDIĞI MASALLARDAKİ EĞİTİCİ – ÖĞRETİCİ İLETİLERİN İNCELENMESİ | Semiha Nur Tuğrul |
| | | 8 | 1940-1950 YILLARI ARASINDA CUMHURİYET GAZETESİNDE ÇIKAN PORTRE METİNLERİNE DAİR BİR İNCELEME | Emine Onay |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Doç. Dr. Şebnem ZORLUTUNA** | 1 | TÜRKİYE'DE KURUMSAL GÜVENİN SOSYO-DEMOGRAFİK FAKTÖRLERE GÖRE ANALİZİ | Doç. Dr. Şebnem ZORLUTUNA |
| | | 2 | THE USE OF CONSUMER DATA IN THE DIGITAL FINANCE ECOSYSTEM: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ETHICS, REGULATION AND COMPETITION DYNAMICS | Dr. Özkan İMAMOĞLU |
| | | 3 | KARBON NÖTR ETİKETLERİNİN GIDA ÜRÜNLERİ PAZARLAMASINDAKİ ROLÜ: SÜRDÜRÜLEBİLİR PAZARLAMA PERSPEKTİFİ | Doç.Dr. Nilgün DOĞAN<br>Prof.Dr. Hakan ADANACIOĞLU |
| | | 4 | THE RISE OF TAX-BASED WELFARE POLICIES: A CONCEPTUAL EVALUATION ON TAX EXPENDITURES | Dr. Öğretim Üyesi Merve YOLAL |
| | | 5 | BELİRSİZLİK VE MAKROEKONOMİK KIRILGANLIKLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: G7 ÜLKE ÖRNEĞİ | Öğr. Gör. Dr. Zekiye ÖRTLEK |
| | | 6 | F. BRAUDEL'İN "TOPLUMSAL ZAMAN KAVRAMLARI"NIN İKTİSAT METODOLOJİSİNE KATKISI | Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÖZİŞ |
| | | 7 | ADİL GELİR DAĞILIMINDA VERGİLERİN ROLÜ ÜZERİNE AMPİRİK BİR UYGULAMA | Dr. Öğr. Üyesi Elif Asoy |
| | | 8 | CLIMATEFLATION GELENEKSEL ENFLASYON DİNAMİKLERİNİ ZAYIFLATTI MI? GELİŞMİŞ ÜLKELERDE ÇIKTI AÇIĞI VE ENFLASYON İLİŞKİSİNİN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ | Dr. Öğr. Üyesi Havva Nesrin TİRYAKİ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Dr. Öğretim Üyesi Güneş EKİM** | 1 | EXPRESSION PROFILING OF UTP14A AND MYL5 GENES IN IMATINIB- RESISTANT CHRONIC MYELOID LEUKEMIA | TIN NILA SOE<br>YALDA HEKMATSHOAR |
| | | 2 | DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ VÜCUT KİTLE İNDEKSİ TAHMİNİ VE TOPLUM SAĞLIĞI TAKİBİ | Sümeyye Beyza YILDIZ<br>Rümeysa GÜRAY |
| | | 3 | GERÇEK ZAMANLI EPİLEPTİK NÖBET TESPİTİ İÇİN ZAMAN BÖLGESİ ÖZNİTELİKLERİ VE TOPLULUK ÖĞRENMESİ | Dr. Öğretim Üyesi Güneş EKİM |
| | | 4 | THE EFFECT OF PARENTAL EDUCATION LEVEL ON CHILD NUTRITION: A LITERATURE REVIEW | Ebru YILMAZ<br>Dr Öğr. Üyesi Wida SİMZARİ |
| | | 5 | THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PREGNANCY | Msc, Student., Elif Nursen AY<br>Prof. Dr. Ebru GÖZÜYEŞİL |
| | | 6 | SOSYAL MEDYA VE “MÜKEMMEL ANNELİK BASKISI”: GÜNCEL LİTERATÜR DERLEMESİ | Selver ÖZGÜL<br>Nuriye ERBAŞ |
| | | 7 | ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ OKURYAZARLIĞI | Mehmet Nur İMTAN<br>Ahmet Remzi BAYIR<br>Prof. Dr. Nuran GÜLER |
| | | 8 | VARDİYALI ÇALIŞMANIN HEMŞİRELERİN İŞ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ: KAMU HASTANESİ ÖRNEĞİ | Yüksek Lisans Gizem KALENDER |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Res. Asst. Ender Can YAKAR** | 1 | DETERMINING THE OPTIMUM POWER–SPEED COMBINATION IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY BY SURFACE ROUGHNESS CHARACTERIZATION RELATIVE TO THE REFERENCE | Res. Asst. Ender Can YAKAR<br>Prof. Sinan FİDAN<br>Prof. Satılmış ÜRGÜN<br>Prof. Mustafa Özgür BORA |
| | | 2 | INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OVERLAP RATIO ON SURFACE ROUGHNESS IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY | Res. Asst. Ender Can YAKAR<br>Prof. Sinan FİDAN<br>Prof. Satılmış ÜRGÜN<br>Prof. Mustafa Özgür BORA |
| | | 3 | GAZ TÜRBİNLERİNDE EKSENEL AKIŞLI TÜRBİN İÇİN KANAT TASARIMI | Recep AKSEKİ<br>Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ<br>Doç. Dr. Doğuş ÖZKAN |
| | | 4 | ACCURACY–COMPUTE TRADE-OFFS IN BATTERY STATE-OF-HEALTH PROGNOSTICS: A SEQUENCE-LENGTH STUDY TOWARD UAV BMS DESIGN GUIDANCE | Lecturer Abdulhaluk Kuloglu<br>Lecturer PhD Dr. Reha Avsar<br>Assistant Professor Dr. Tugba Tetik<br>Associate Professor Dr. Mehmet Konar |
| | | 5 | KÜTAHYA İLİ GEDİZ GÖLETİ HAVZASINDA ÖLÇÜLEN YÜZEY AKIŞLARIN HESAPLANAN YÜZEY AKIŞLARLA KIYASLANMASI | FADİME NUR DEMİR |
| | | 6 | EVALUATION OF THE EFFECTS OF EXTRUSION PARAMETERS ON DIAMETER STABILITY AND MANUFACTURABILITY IN FIBER REINFORCED FILAMENT PRODUCTION | Res. Asst. Burak TEKKANAT<br>Prof. Sinan FİDAN<br>Prof. Mustafa Özgür BORA<br>Prof. Satılmış ÜRGÜN<br>Prof. Taner YILMAZ |
| | | 7 | MACHINE LEARNING-BASED PRELIMINARY MODELING OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOR IN 3D PRINTED POLYMERS | Res. Asst. Burak TEKKANAT<br>Prof. Sinan FİDAN<br>Prof. Mustafa Özgür BORA<br>Prof. Satılmış ÜRGÜN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Muammer AKGÜL<br>Prof. Dr. Erol ALVER** | 1 | NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE BİR KAPALI KUTUDA DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ MANYETİK ALAN ETKİLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ | YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK<br>Doç.Dr.Nihal UĞURLUBİLEK<br>Doç.Dr.Zerrin SERT |
| | | 2 | MANYETİK ALAN YÖNÜNÜN DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ | YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK<br>Doç.Dr.Nihal UĞURLUBİLEK<br>Doç.Dr.Zerrin SERT |
| | | 3 | SERVO KONTROLLÜ FİLM BESLEME–YERLEŞTİRME MEKANİZMASININ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU | Yüksek Lisans Öğrencisi Rahmi KARAKAŞ |
| | | 4 | IOT BASED VIBRATION MONITORING AND ANOMALY DETECTION SYSTEM | ZÜBEYDE ELİF ARAL<br>M.Sc. Mechanical Engineer<br>MERVE CANATA ŞEN<br>Prof.Dr. ÖZGE CİHANBEĞENDİ |
| | | 5 | OTOMOTİV AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN LEDLİ ELEKTRONİK DEVRE KARTLARINDAKİ BAKIR KALINLIĞININ TERMAL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ | Mustafa Ercan AYDIN<br>Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU |
| | | 6 | ÜÇ BOYUTLU ÖKZETİK ÇEKİRDEK YAPILARIN ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI | Emre DİLER<br>Mustafa GÜR |
| | | 7 | NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYMER COATING APPLICATION ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF LOW-DENSITY WOOD-BASED STRUCTURES | Nisanur TAŞTAN<br>Dr. Ögr. Üyesi Tuğberk ÖNAL<br>Dr. Ögr. Üyesi Serhat AKSUNGUR |
| | | 8 | SEM-EDX YÖNTEMİ İLE ATIŞ ARTIKLARINDA MESAFE TAYİNİ | Muammer AKGÜL<br>Prof. Dr. Erol ALVER |
| | | 9 | ENHANCEMENT OF THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF BULK $MgB_2$ BY MAGNESIUM STEARATE ADDITION | Assoc. Prof. Özge ERDEM |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Doç. Dr. Yeşim KOÇ** | 1 | ABCA7 rs3764650 Polymorphism and Alzheimer's Disease in the Turkish Population | Arş. Gör. Recep ÇELİK<br>Prof. Dr. Hakkı TAŞTAN |
| | | 2 | BCL-2 İNHİBİTÖRÜ NAVİTOCLAX VE HSP27 İNHİBİTÖRÜ J2 KOMBİNASYONUNUN A549 KÜÇÜK HÜCRELİ DIŞI AKCİĞER KANSERİ HÜCRELERİNDE SEÇİCİ ANTİPROLİFERATİF ETKİSİ | Mine ÖZ<br>Dr. Öğr. Üyesi Murat GÜNAY<br>Doç. Dr. Mehmet KUZUCU |
| | | 3 | EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY AND TOTAL PHENOLIC AND FLAVONOID CONTENTS OF ASTRAGALUS PERSICUS | Rabia Nur Ün |
| | | 4 | THE EFFECT OF NUTRITIONAL SUPPLEMENTS APPLIED TO OLD AND NEW WAX COMBS ON THE DEVELOPMENTAL DURATION AND LIPID AMOUNT OF GALLERIA MELLONELLA (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) LARVAE | Doç. Dr. Yeşim KOÇ<br>Öğr. Gör. Emine Betül AKALIN ÖZAĞDAŞ |
| | | 5 | ORGANIC-INORGANIC HYBRID NANOFLOWER STRUCTURES AND IN VITRO CELL CULTURE APPLICATIONS: CURRENT EVIDENCE AND FUTURE PERSPECTIVES | Dr. Pınar ALTIN ÇELİK<br>Asst. Prof. Dr. Muazzez DERYA ANDEDEN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Doç. Dr. Pınar GÜNER KOÇAK** | 1 | HALKLA İLİŞKİLERDE BATI MERKEZLİLİĞİN SORGULANMASI: GUANXİ VE EVRENSEL HALKLA İLİŞKİLER TEORİSİNİN SINIRLARI | Doç. Dr. Pınar GÜNER KOÇAK |
| | | 2 | YEREL YÖNETİMLERDE GÖRÜNÜRLÜK SİYASETİ: BELEDİYE BAŞKANLARININ MİZAH TEMELLİ SOSYAL MEDYA PAYLAŞIMLARININ ANALİZİ | Doç. Dr. Pınar GÜNER KOÇAK |
| | | 3 | İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİ UYGULAMALARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK FAALİYETLERİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Firdevs KOCA<br>Dr. Öğr. Üyesi Nuray TURAN |
| | | 4 | THE STRATEGIC ROLE OF HYBRID EXPERTISE COMPETENCY ON COMPETITIVE ADVANTAGE IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION: A CONCEPTUAL EVALUATION | Dr. Ömer Samet KAZDAL<br>Asst. Prof. Derya ÇELİK |
| | | 5 | CULTURAL ROUTES IN THE CHANGING CONCEPT OF TRADITIONAL HERITAGE IN THE MEDITERRANEAN: THE HOLY FAMILY ROUTE (EGYPT) | Heba Elmahı<br>Asst. Prof. Selda BAYBO |
| | | 6 | KIRSAL TURİZMİN KÜLTÜREL MİRAS ÜZERİNE ETKİSİ: KAVRAMSAL BİR ANALİZ | Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÇUHADAR |
| | | 7 | EVALUATING AIRBNB SERVICE ATTRIBUTES USING IMPORTANCE-PERFORMANCE ANALYSIS: THE CASE OF ANTALYA AND MUĞLA | Doç. Dr. Gonca MANAP DAVRAS<br>Doç. Dr. Özgür DAVRAS |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 11** | **Assoc. Prof. Dr. Gulden ALTAY SUROGLU<br>Assoc. Prof. Dr. Bihter DAS** | 1 | COMPARISON OF MODELING PERFORMANCE OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS FOR MONTHLY RAINFALL DATA: A CASE STUDY | Özge GÜRER<br>Birdal ŞENOĞLU |
| | | 2 | ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN İŞ YAŞAMINA İLİŞKİN ALGILARI: EKONOMİK GÜVENCE, KARİYER BEKLENTİSİ VE GELECEK KAYGISI ÜZERİNE NİTEL BİR ARAŞTIRMA | Lisans Öğrencisi Aslınur KAVAK<br>Arş. Gör. Dr. Mine DOĞAN<br>Dr. Öğretim Üyesi Yunus GÜRAL |
| | | 3 | MOBİL OYUN SEKTÖRÜNDE KULLANICI KAYBI TAHMİNİ | Hakan AKKAYA<br>Doç. Dr. Elif TUNA |
| | | 4 | YAPAY ZEKA İLE KREDİ NOTU HESAPLAMASI VE BİR UYGULAMA | Yüksek Lisans Öğrencisi Dursun YILMAZ<br>Prof.Dr.Aysun AYTAÇ |
| | | 5 | CURVATURE AND CONTINUITY ANALYSIS OF Λ-MODIFIED CATMULL–ROM SPLINES | Assoc. Prof. Dr. Gulden ALTAY SUROGLU<br>Assoc. Prof. Dr. Bihter DAS |
| | | 6 | LAMBDA-MODIFIED BÉZIER CURVES FOR AIRFOIL GEOMETRY APPROXIMATION AND LEADING-EDGE CONTROL | Assoc. Prof. Dr. Bihter DAS<br>Assoc. Prof. Dr. Gulden ALTAY SUROGLU |
| | | 7 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Doç. Dr. Mustafa TUNÇER** | 1 | MÂTÜRÎDÎ'YE GÖRE KUR'ÂN'DA NESH PROBLEMİ | Doç. Dr. Mustafa TUNÇER |
| | | 2 | CİN VE ŞEYTANLARIN MAHİYETİNE DAİR MODERN YORUMLARIN ELEŞTİRİSİ: MÂTÜRÎDÎ'NİN NASS-AKIL MERKEZLİ YAKLAŞIMI | Doç. Dr. Mustafa TUNÇER |
| | | 3 | İSLAM İKTİSADI METODOLOJİSİNDE METAFİZİK AKIL | Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Oruç ÖNALAN |
| | | 4 | NİYÂZÎ-İ MISRÎ DÎVÂNI'NDA HAYRET MAKAMI: TASAVVUFÎ TAHLİL | Taha UÇAN<br>Prof. Dr. Melek DİKMEN |
| | | 5 | ZEYDÎLER VE KÜLLÂBÎLER ARASINDA İLÂHÎ SIFATLAR VE KELÂMULLAH TARTIŞMASI | Dr. Öğr. Üyesi Burhaneddin KIYICI |
| | | 6 | MANEVİ ZEKÂ İLE İNZİVÂ EĞİLİMİ İLİŞKİSİ: GENÇ YETİŞKİN BİREYLER ÖRNEĞİ | Dr. Öğr. Üyesi Soner ERCAN |
| | | 7 | THE EVALUATION OF POSTGRADUATE THESES ON RELIGIOUS EDUCATION FOR CHILDREN AGED 4-6 | Yüksek Lisans Öğrencisi Rukiye Kübra HAŞİMLER |
| | | 8 | MURSAL HADITH IN THE LATER PERIOD | Yüksek Lisans Öğrencisi Emre KAYA |
| | | 9 | AN AESTHETİC CONSTRUCTİON İN THE CONTEXT OF THE RELATİONSHİP BETWEEN RECİTATİON AND MUSİC: THE IMPACT OF QUR'ANİC EDUCATİON ON PERFORMANCE POWER İN THE EXAMPLES OF SAFİYE AYLA AND UMM KULTHUM | Doç. Dr. Esra HAYRAT YILMAZ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Prof. Dr. Adebayo Ogunleye** | 1 | COGNITIVE DEVELOPMENT PROCESSES AND LEARNING OUTCOMES IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION SETTINGS | Prof. Dr. Ahmed El-Tahir<br>Dr. Salma Ibrahim |
| | | 2 | THE ROLE OF MOTIVATION AND SELF-REGULATED LEARNING IN ACADEMIC ACHIEVEMENT AMONG SECONDARY SCHOOL STUDENTS | Assoc. Prof. Dr. Youssef Abdelrahman<br>Hassan Ali |
| | | 3 | EFFECTS OF TEACHER-STUDENT RELATIONSHIPS ON CLASSROOM BEHAVIOR AND LEARNING ENGAGEMENT IN WEST AFRICAN SCHOOLS | Prof. Dr. Mohamed Ould Sidi<br>Dr. Amina Diallo<br>Ismail Traoré |
| | | 4 | PSYCHOLOGICAL FACTORS INFLUENCING LANGUAGE ACQUISITION AND BILINGUAL EDUCATION PERFORMANCE | Assoc. Prof. Dr. Fatima Ould Ahmed<br>Dr. Cheikh Mohamed |
| | | 5 | IMPACT OF SCHOOL ENVIRONMENT ON STUDENT MENTAL HEALTH AND ACADEMIC RESILIENCE IN SUB-SAHARAN EDUCATION SYSTEMS | Prof. Dr. Tendai Moyo<br>Dr. Nyasha Dube<br>Chipo Nkomo |
| | | 6 | BEHAVIORAL INTERVENTIONS AND CLASSROOM MANAGEMENT STRATEGIES FOR IMPROVING STUDENT LEARNING OUTCOMES | Assoc. Prof. Dr. Tapiwa Zulu<br>Dr. Blessing Ncube |
| | | 7 | DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS AND THEIR EFFECTS ON STUDENT COGNITIVE ENGAGEMENT IN MODERN EDUCATION SYSTEMS | Prof. Dr. Adebayo Ogunleye<br>Dr. Kehinde Akinyemi<br>Funmilayo Oladipo |
| | | 8 | SOCIAL LEARNING THEORY AND PEER INFLUENCE ON ADOLESCENT EDUCATIONAL PERFORMANCE | Assoc. Prof. Dr. Chinedu Okafor<br>Dr. Zainab Musa |
| | | 9 | ASSESSMENT OF STUDENT ANXIETY, STRESS FACTORS, AND COPING MECHANISMS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS | Prof. Dr. Ibrahim Sule<br>Dr. Grace Nwosu<br>Assoc. Prof. Dr. Emeka Uzochukwu |
| | | 10 | COGNITIVE DEVELOPMENT PROCESSES AND LEARNING OUTCOMES IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION SETTINGS | Prof. Dr. Ahmed El-Tahir<br>Dr. Salma Ibrahim |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Prof. Dr. Ayesha Khan** | 1 | UNDERSTANDING COGNITIVE DEVELOPMENT AND LEARNING PROCESSES IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION SETTINGS | Dr. Farzana Islam<br>Dr. Nurul Huda<br>Assoc. Prof. Dr. Kamal Rahman<br>Imran Chowdhury |
| | | 2 | THE ROLE OF MOTIVATION AND SELF-REGULATED LEARNING IN ACADEMIC ACHIEVEMENT AMONG SECONDARY SCHOOL STUDENTS | Prof. Dr. Ayesha Khan |
| | | 3 | SOCIAL EMOTIONAL LEARNING STRATEGIES AND THEIR IMPACT ON CLASSROOM BEHAVIOR MANAGEMENT IN MODERN EDUCATION SYSTEMS | Dr. Lin Mei Chen<br>Assoc. Prof. Dr. Wei Zhang<br>Huang Yuting |
| | | 4 | THE EFFECTS OF DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS ON STUDENT ATTENTION AND INFORMATION PROCESSING SKILLS | Assoc. Prof. Dr. Somchai Prasert<br>Dr. Nattapong Srisuk |
| | | 5 | TEACHER EXPECTANCY EFFECT AND ITS INFLUENCE ON STUDENT PERFORMANCE IN MULTICULTURAL CLASSROOMS | Prof. Dr. Maria Santos<br>Dr. Juan Dela Cruz |
| | | 6 | PSYCHOLOGICAL BARRIERS IN LANGUAGE LEARNING AND EFFECTIVE INTERVENTION STRATEGIES IN EDUCATIONAL SETTINGS | Assoc. Prof. Dr. Rizal Abubakar<br>Dr. Laila Mendoza<br>Carlos Reyes |
| | | 7 | COGNITIVE LOAD THEORY AND ITS APPLICATION IN MODERN INSTRUCTIONAL DESIGN AND CURRICULUM DEVELOPMENT | Dr. Chih-Yen Lin<br>Prof. Dr. Mei-Ling Huang<br>Assoc. Prof. Dr. Yu-Hsuan Wang |
| | | 8 | THE IMPACT OF PARENTAL INVOLVEMENT ON STUDENT ACADEMIC SELF-EFFICACY AND LONG-TERM EDUCATIONAL SUCCESS | Dr. Hsin-Yi Chang<br>Assoc. Prof. Dr. Pei-Ling Wu |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Dr. Mariam Trabelsi** | 1 | CONTEMPORARY DEVELOPMENTS IN ISLAMIC FAMILY LAW AND ITS ADAPTATION TO MODERN LEGAL SYSTEMS | Prof. Dr. Mohammad Rahman<br>Dr. Ayesha Karim<br>Abdul Hadi |
| | | 2 | COMPARATIVE ANALYSIS OF SHARIA-BASED COMMERCIAL LAW AND MODERN BANKING REGULATIONS IN SOUTH ASIA | Assoc. Prof. Dr. Noorul Islam<br>Fatima Zainab |
| | | 3 | EVOLUTION OF ISLAMIC CRIMINAL LAW PRINCIPLES IN POST-COLONIAL NORTH AFRICAN LEGAL SYSTEMS | Dr. Jamaluddin Hassan<br>Maria Lourdes Alonto |
| | | 4 | THE ROLE OF IJTIHAD AND LEGAL REASONING IN CONTEMPORARY TUNISIAN ISLAMIC JURISPRUDENCE | Prof. Dr. Abdul Karim Sulaiman<br>Dr. Nur Amina<br>Assoc. Prof. Dr. Faisal Datu |
| | | 5 | ISLAMIC INHERITANCE LAW AND ITS APPLICATION IN MODERN PHILIPPINE MUSLIM COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Lin Cheng<br>Dr. Ahmad Wei |
| | | 6 | HARMONIZATION OF ISLAMIC FAMILY LAW WITH STATE LAW IN THE SOUTHERN PHILIPPINES | Prof. Dr. Youssef Ben Ali<br>Dr. Mariam Trabelsi<br>Hassan Farouk |
| | | 7 | ISLAMIC LEGAL THEORY AND ITS INFLUENCE ON CONTEMPORARY TAIWANESE MUSLIM MINORITY PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Khaled Mansouri<br>Dr. Salma Riahi |
| | | 8 | COMPARATIVE STUDY OF SHARIA COURTS AND CIVIL LEGAL SYSTEMS IN EAST ASIA<br>Prof. Dr. Chen Yufeng | Dr. Ibrahim Saeed<br>Assoc. Prof. Dr. Mei Ling |
| | | 9 | CONTEMPORARY CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF ISLAMIC CONTRACT LAW IN MULTICULTURAL SOCIETIES | Dr. Omar Khalid<br>Prof. Dr. Hasan Al-Farouq<br>Dr. Nabila Yusuf |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Assoc. Prof. Dr. Ahmed Bouzid** | 1 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS AND ITS IMPACT ON PERSONALIZED EDUCATION IN HIGHER EDUCATION | Prof. Dr. Rahman Siddique<br>Dr. Nusrat Jahan<br>Aminul Karim |
| | | 2 | DIGITAL TRANSFORMATION OF CLASSROOM PRACTICES THROUGH LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS IN BANGLADESHI UNIVERSITIES | Assoc. Prof. Dr. Farid Uddin<br>Shaila Akter |
| | | 3 | AI-ENHANCED ASSESSMENT TOOLS AND AUTOMATED FEEDBACK MECHANISMS IN MODERN EDUCATION TECHNOLOGIES | Prof. Dr. Khaled Ben Youssef<br>Dr. Ines Trabelsi<br>Meriem Hadded |
| | | 4 | THE ROLE OF MOBILE LEARNING APPLICATIONS IN IMPROVING STUDENT ENGAGEMENT IN TUNISIAN SECONDARY EDUCATION | Assoc. Prof. Dr. Ahmed Bouzid<br>Dr. Sana Ghali |
| | | 5 | VIRTUAL REALITY AND AUGMENTED REALITY APPLICATIONS IN SKILL-BASED EDUCATION AND TRAINING PROGRAMS IN THE PHILIPPINES | Prof. Dr. Maria Lourdes Santos<br>Dr. John Carlo Reyes<br>Assoc. Prof. Dr. Eliza Manalo |
| | | 6 | DIGITAL LITERACY DEVELOPMENT AND ONLINE LEARNING READINESS AMONG PHILIPPINE UNIVERSITY STUDENTS | Dr. Paolo Domingo<br>Assoc. Prof. Dr. Cristina Navarro |
| | | 7 | BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR SECURE EDUCATIONAL CREDENTIALS AND ACADEMIC RECORD MANAGEMENT SYSTEMS | Prof. Dr. Chen Wei-Lung<br>Dr. Hsin-Yi Chang<br>Assoc. Prof. Dr. Mei-Ling Huang |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Assoc. Prof. Dr. Pham Minh Tuan** | 1 | AI-DRIVEN SMART CONTRACT AUTOMATION AND LEGAL VALIDATION MECHANISMS IN DIGITAL TRADE ECOSYSTEMS | Dr. Nusrat Jahan<br>Tanvir Hossain |
| | | 2 | BLOCKCHAIN INTEGRATION FOR CROSS-BORDER COMMERCIAL TRANSACTIONS AND TRADE COMPLIANCE OPTIMIZATION | Prof. Dr. Alejandro Sánchez<br>Dr. Mariana López<br>Carlos Rivera |
| | | 3 | DIGITALIZATION OF COMMERCIAL LAW AND THE IMPACT OF ELECTRONIC SIGNATURES ON INTERNATIONAL CONTRACT ENFORCEMENT | Assoc. Prof. Dr. Mahmudul Karim<br>Sadia Rahman |
| | | 4 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN COMMERCIAL DISPUTE RESOLUTION AND PREDICTIVE LEGAL ANALYTICS | Assoc. Prof. Dr. Javier Morales<br>Dr. Elena Cruz |
| | | 5 | CYBERSECURITY RISKS AND LEGAL FRAMEWORKS IN E-COMMERCE AND DIGITAL TRADE OPERATIONS | Prof. Dr. Ioan Petrescu<br>Dr. Andreea Dumitru<br>Vlad Ionescu |
| | | 6 | REGULATORY CHALLENGES OF DIGITAL PAYMENT SYSTEMS AND FINTECH IN MODERN COMMERCIAL LAW | Assoc. Prof. Dr. Mihai Popescu<br>Dr. Elena Stan |
| | | 7 | SMART CONTRACT GOVERNANCE AND LEGAL LIABILITY IN VIETNAMESE DIGITAL TRADE PLATFORMS | Prof. Dr. Nguyen Quang Huy<br>Dr. Le Thi Mai<br>Tran Duc Anh |
| | | 8 | ELECTRONIC COMMERCE LAW AND THE TRANSFORMATION OF INTERNATIONAL TRADE PRACTICES IN SOUTHEAST ASIA | Assoc. Prof. Dr. Pham Minh Tuan<br>Dr. Hoang Gia Bao |
| | | 9 | LEGAL IMPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN COMMERCIAL CONTRACT NEGOTIATION AND ENFORCEMENT SYSTEMS | Dr. Nguyen Thanh Long<br>Prof. Dr. Vu Thi Lan<br>Assoc. Prof. Dr. Dao Quang Minh |
| | | 10 | EMERGING TRENDS IN SMART CLASSROOM TECHNOLOGIES AND THE FUTURE OF DIGITAL LEARNING ECOSYSTEMS IN ASIA | Dr. Po-Han Liu |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Dr. Huang Chih-Wei** | 1 | MEDIEVAL ISLAMIC ART AND THE DEVELOPMENT OF CALLIGRAPHIC TRADITIONS IN SOUTH ASIA | Prof. Dr. Rahman Siddique<br>Dr. Ayesha Karim<br>Md. Hasan Ali |
| | | 2 | COLONIAL VISUAL CULTURE AND THE TRANSFORMATION OF URBAN ART SPACES IN BRITISH INDIA | Assoc. Prof. Dr. Farid Uddin<br>Nusrat Jahan<br>Prof. Dr. Antti Mäkinen |
| | | 3 | THE EVOLUTION OF MODERNIST PAINTING IN FINLAND DURING THE EARLY TWENTIETH CENTURY | Dr. Leena Virtanen<br>Kari Salonen |
| | | 4 | SCANDINAVIAN DESIGN AESTHETICS AND THEIR IMPACT ON CONTEMPORARY ART MOVEMENTS | Assoc. Prof. Dr. Mikael Laaksonen<br>Dr. Sanna Korhonen |
| | | 5 | BALTIC ICONOGRAPHY AND RELIGIOUS ART TRANSFORMATIONS IN MEDIEVAL LITHUANIA | Prof. Dr. Jonas Petrauskas<br>Dr. Rūta Kazlauskaitė<br>Mindaugas Jankauskas |
| | | 6 | POST-SOVIET ARTISTIC RECONSTRUCTION AND IDENTITY FORMATION IN CONTEMPORARY LITHUANIAN VISUAL ARTS | Assoc. Prof. Dr. Eglė Žukauskaitė<br>Dr. Dainius Baltrūnas |
| | | 7 | INDIGENOUS VISUAL CULTURE AND THE PRESERVATION OF TRADITIONAL ART FORMS IN TAIWAN | Prof. Dr. Chen Yu-Hsiang<br>Dr. Lin Mei-Ju<br>Assoc. Prof. Dr. Wang Tzu-Han |
| | | 8 | JAPANESE INFLUENCE ON CONTEMPORARY TAIWANESE ART AND CULTURAL HYBRIDITY | Dr. Huang Chih-Wei<br>Prof. Dr. Liu Sheng-Lin |
| | | 9 | COLONIAL LEGACIES AND MODERN ARTISTIC EXPRESSIONS IN EAST ASIAN MUSEUM PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Chen Li-Fang<br>Dr. Tsai Wen-Hao<br>Hsu Yu-Ting |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Assoc. Prof. Dr. Rania Al-Farouq** | 1 | DECENTRALIZATION REFORMS AND THE EVOLUTION OF PUBLIC ADMINISTRATION STRUCTURES IN POST-CONFLICT IRAQ | Prof. Dr. Ahmed Al-Mahdi<br>Dr. Zainab Karim |
| | | 2 | DIGITAL GOVERNANCE TRANSFORMATION AND E-GOVERNMENT IMPLEMENTATION IN IRAQI PUBLIC SECTOR INSTITUTIONS | Assoc. Prof. Dr. Hassan Al-Tamimi<br>Ali Saeed |
| | | 3 | PUBLIC SECTOR TRANSPARENCY AND ANTI-CORRUPTION POLICIES IN MODERN JORDANIAN ADMINISTRATIVE SYSTEMS | Dr. Leila Haddad<br>Prof. Dr. Omar Nasser<br>Yousef Al-Khatib |
| | | 4 | URBAN GOVERNANCE AND MUNICIPAL SERVICE DELIVERY REFORMS IN JORDANIAN MID-SIZED CITIES | Assoc. Prof. Dr. Rania Al-Farouq<br>Dr. Khaled Mansour |
| | | 5 | ADMINISTRATIVE RESTRUCTURING AND STATE CAPACITY BUILDING IN POST-SOVIET TAJIKISTAN | Dr. Madina Yusufova<br>Komiljon Saidov |
| | | 6 | PUBLIC POLICY IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL GOVERNANCE SYSTEMS OF TAJIKISTAN | Dr. Nilufar Kholmatova<br>Rustam Karimov |
| | | 7 | FEDERAL STRUCTURE AND GOVERNANCE COMPLEXITY IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN: AN INSTITUTIONAL ANALYSIS | Prof. Dr. Mohammad Reza Farhadi<br>Dr. Sara Khosravi<br>Assoc. Prof. Dr. Ali Naghavi |
| | | 8 | PUBLIC ADMINISTRATION REFORM AND BUREAUCRATIC MODERNIZATION IN CONTEMPORARY IRANIAN GOVERNMENT SYSTEMS | Dr. Maryam Hosseini<br>Prof. Dr. Reza Mehran<br>Ehsan Karimi |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Assoc. Prof. Dr. Md. Saiful Islam** | 1 | FAMILY PSYCHOLOGY IN EDUCATIONAL SETTINGS: PARENTAL ATTACHMENT STYLES AND STUDENT ACADEMIC PERFORMANCE IN EARLY CHILDHOOD DEVELOPMENT | Assoc. Prof. Dr. Md. Saiful Islam<br>Dr. Tahmina Akter |
| | | 2 | EMOTIONAL REGULATION STRATEGIES IN CHILDREN AND THE ROLE OF FAMILY STRUCTURE IN PRIMARY EDUCATION SUCCESS | Prof. Dr. Rūta Žukauskaitė<br>Dr. Dainius Kavaliauskas<br>Eglė Petrauskaitė |
| | | 3 | PSYCHOSOCIAL IMPACT OF DIVORCED FAMILY SYSTEMS ON ADOLESCENT LEARNING BEHAVIOR IN SCHOOL ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Jukka Lahtinen<br>Dr. Emilia Korhonen<br>Mikko Salonen |
| | | 4 | THE ROLE OF FAMILY COMMUNICATION PATTERNS IN DEVELOPING STUDENT MOTIVATION AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENT | Dr. Nusrat Jahan<br>Arif Hossain Prof. Dr. Rahmanul Karim |
| | | 5 | INTERGENERATIONAL EDUCATIONAL EXPECTATIONS AND THEIR PSYCHOLOGICAL EFFECTS ON CHILD DEVELOPMENT | Assoc. Prof. Dr. Justina Stankevič<br>Dr. Tomas Balčiūnas |
| | | 6 | FAMILY-BASED INTERVENTIONS FOR REDUCING SCHOOL ANXIETY AND IMPROVING ACADEMIC RESILIENCE IN ADOLESCENTS | Prof. Dr. Ming-Hao Chen<br>Dr. Li Wei Huang<br>Assoc. Prof. Dr. Chih-Yu Lin |
| | | 7 | PARENTAL INVOLVEMENT AND ITS IMPACT ON STUDENT BEHAVIORAL DEVELOPMENT IN MULTICULTURAL EDUCATION SYSTEMS | Dr. Pei-Jung Wang<br>Prof. Dr. Hsiu-Ling Chen<br>Yu-Ting Kuo |
| | | 8 | CULTURAL FAMILY DYNAMICS AND THEIR INFLUENCE ON EDUCATIONAL ASPIRATIONS IN MODERN SOCIETIES | Assoc. Prof. Dr. Sanna Virtanen<br>Dr. Oskari Lehtonen |
| | | 9 | FAMILY PSYCHOLOGY IN EDUCATIONAL SETTINGS: PARENTAL ATTACHMENT STYLES AND STUDENT ACADEMIC PERFORMANCE IN EARLY CHILDHOOD DEVELOPMENT | Prof. Dr. Rahmanul Karim<br>Dr. Nusrat Jahan<br>Arif Hossain |
| | | 10 | FAMILY PSYCHOLOGY IN EDUCATIONAL SETTINGS: PARENTAL ATTACHMENT STYLES AND STUDENT ACADEMIC PERFORMANCE IN EARLY CHILDHOOD DEVELOPMENT | Assoc. Prof. Dr. Md. Saiful Islam<br>Dr. Tahmina Akter |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Assoc. Prof. Dr. Johanna Mäkinen** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION IN LANGUAGE EDUCATION AND THE ROLE OF AI-ASSISTED LEARNING ENVIRONMENTS IN IMPROVING STUDENT AUTONOMY | Dr. Nabila Hossain<br>Arif Karim |
| | | 2 | COMMUNICATIVE LANGUAGE TEACHING STRATEGIES IN MULTILINGUAL CLASSROOMS OF SOUTH ASIA AND THEIR PEDAGOGICAL EFFECTIVENESS | Assoc. Prof. Dr. Tanvir Mahmud<br>Dr. Salma Akter<br><br>Prof. Dr. Rahman Siddique |
| | | 3 | THE IMPACT OF IMMERSIVE DIGITAL PLATFORMS ON SECOND LANGUAGE ACQUISITION IN SCANDINAVIAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS | Prof. Dr. Mikael Laaksonen<br>Dr. Anni Virtanen<br>Sami Korhonen |
| | | 4 | PROJECT-BASED LANGUAGE LEARNING APPROACHES AND STUDENT ENGAGEMENT IN FINNISH UNIVERSITY LANGUAGE PROGRAMS | Assoc. Prof. Dr. Johanna Mäkinen<br>Dr. Ville Saarinen |
| | | 5 | INTEGRATION OF CULTURAL CONTENT INTO MODERN LANGUAGE TEACHING METHODS IN BALTIC EDUCATION SYSTEMS | Prof. Dr. Dainius Vaitkus<br>Dr. Eglė Jankauskaitė<br>Mantas Petrauskas |
| | | 6 | BLENDED LEARNING MODELS IN HIGHER EDUCATION LANGUAGE COURSES AND THEIR EFFECT ON STUDENT PERFORMANCE | Assoc. Prof. Dr. Rūta Kazlauskienė<br>Dr. Tomas Žukauskas |
| | | 7 | THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PERSONALIZED ENGLISH LANGUAGE LEARNING AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN TAIWAN | Prof. Dr. Wei-Lun Chen<br>Dr. Hsin-Yi Lin<br>Assoc. Prof. Dr. Chia-Hao Wang |
| | | 8 | DIGITAL STORYTELLING TECHNIQUES IN IMPROVING SPEAKING SKILLS IN EFL CLASSROOMS | Dr. Pei-Chen Huang<br>Prof. Dr. Yu-Ting Lin |
| | | 9 | LEXICAL DEVELOPMENT AND VOCABULARY ACQUISITION THROUGH MOBILE-ASSISTED LANGUAGE LEARNING APPLICATIONS IN ASIAN CONTEXTS | Assoc. Prof. Dr. Ming-Hua Lee<br>Dr. Chien-Yu Chang<br>Anita Su |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Assoc. Prof. Dr. Rūta Petrauskienė** | 1 | PHENOMENOLOGY OF CONSCIOUSNESS AND THE LIMITS OF SUBJECTIVE EXPERIENCE IN CONTEMPORARY PHILOSOPHICAL DISCOURSE | Assoc. Prof. Dr. Mahfuz Alam<br>Dr. Shirin Akter |
| | | 2 | ETHICS OF TECHNOLOGICAL MODERNITY AND HUMAN RESPONSIBILITY IN POST-TRADITIONAL SOCIETIES | Dr. Sanna Virtanen<br>Mikael Korhonen |
| | | 3 | HERMENEUTIC INTERPRETATIONS OF EXISTENCE AND MEANING IN CONTINENTAL PHILOSOPHY<br>Prof. Dr. Jukka Laine | Assoc. Prof. Dr. Antti Kallio<br>Dr. Elina Rantanen |
| | | 4 | THE CONCEPT OF FREEDOM AND MORAL AUTONOMY IN NORDIC PHILOSOPHICAL THOUGHT | Prof. Dr. Chen Wei-Ming<br>Dr. Lin Yu-Hsuan<br>Assoc. Prof. Dr. Huang Chih-Jen |
| | | 5 | ONTOLOGICAL STRUCTURES OF REALITY IN BALTIC PHILOSOPHICAL TRADITIONS AND MODERN ANALYTIC THOUGHT | Prof. Dr. Rahman Siddiqui<br>Dr. Nusrat Jahan<br>Arif Karim |
| | | 6 | EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS OF KNOWLEDGE AND TRUTH IN CONTEMPORARY LITHUANIAN PHILOSOPHY | Assoc. Prof. Dr. Rūta Petrauskienė<br>Dr. Mindaugas Žilinskas |
| | | 7 | METAPHYSICS OF IDENTITY AND SELFHOOD IN EAST ASIAN PHILOSOPHICAL INTERPRETATIONS | Prof. Dr. Dainius Vaitkus<br>Dr. Eglė Kavaliauskaitė<br>Tomas Jankauskas |
| | | 8 | POLITICAL PHILOSOPHY AND THE IDEA OF JUSTICE IN MODERN TAIWANESE THOUGHT | Dr. Wang Li-Chen<br>Prof. Dr. Liu Mei-Fang |
| | | 9 | LANGUAGE, REALITY, AND LOGICAL STRUCTURES IN ANALYTIC PHILOSOPHY IN TAIWAN | Assoc. Prof. Dr. Chen Kuo-Hsiang<br>Dr. Tsai Wen-Hao<br>Lin Yu-Ting |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 11** | **Dr. Elina Saarinen** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES AND COMPETITIVE ADVANTAGE IN EMERGING MARKET BUSINESSES | Assoc. Prof. Dr. Nabila Sultana<br>Dr. Imran Chowdhury |
| | | 2 | SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRACTICES AND CORPORATE PERFORMANCE IN SOUTH ASIAN ENTERPRISES | Prof. Dr. Timo Nieminen<br>Dr. Sanna Laaksonen<br>Mikko Virtanen<br>Anna Korhonen |
| | | 3 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE ADOPTION AND DECISION-MAKING EFFICIENCY IN MODERN CORPORATE ORGANIZATIONS | Prof. Dr. Rahman Hossain<br>Dr. Ayesha Karim<br>Samiul Islam |
| | | 4 | LEADERSHIP STYLES AND EMPLOYEE PERFORMANCE IN HIGH-TECH FINNISH STARTUP ECOSYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Dovydas Kazlauskas<br>Dr. Rūta Vaitkevičienė |
| | | 5 | DIGITAL MARKETING STRATEGIES AND BRAND ENGAGEMENT IN GLOBAL E-COMMERCE PLATFORMS | Prof. Dr. Linas Petrauskas<br>Dr. Ieva Jankauskaitė<br>Mantas Kavaliauskas |
| | | 6 | CORPORATE GOVERNANCE AND RISK MANAGEMENT IN EUROPEAN FINANCIAL INSTITUTIONS | Prof. Dr. Chih-Hao Lin<br>Dr. Mei-Ling Chen<br>Assoc. Prof. Dr. Wei-Cheng Huang |
| | | 7 | INNOVATION MANAGEMENT AND STARTUP ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN EAST ASIAN ECONOMIES | Assoc. Prof. Dr. Jari Mäkelä<br>Dr. Elina Saarinen |
| | | 8 | CUSTOMER BEHAVIOR ANALYSIS AND DIGITAL PLATFORM ECONOMICS IN MODERN RETAIL SYSTEMS | Dr. Yu-Ting Wang<br>Prof. Dr. Hsin-Ju Liu |
| | | 9 | DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES AND COMPETITIVE ADVANTAGE IN EMERGING MARKET BUSINESSES | Assoc. Prof. Dr. Nabila Sultana<br>Dr. Imran Chowdhury |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 12** | **Assoc. Prof. Dr. Mariam El-Tahir** | 1 | CONTEMPORARY DEVELOPMENTS IN ARABIC POETICS AND THE EVOLUTION OF CLASSICAL RHETORICAL STRUCTURES IN MODERN SUDANESE LITERATURE | Prof. Dr. Salma Abdallah<br>Dr. Youssef Al-Nour<br>Hassan Ibrahim<br>Abdelrahman Musa |
| | | 2 | LINGUISTIC SHIFTS AND CODE-SWITCHING PRACTICES IN URBAN SUDANESE BILINGUAL COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Mariam El-Tahir |
| | | 3 | POSTCOLONIAL DISCOURSE AND IDENTITY CONSTRUCTION IN CONTEMPORARY SUDANESE NOVELS | Dr. Nawal Sadiq<br>Prof. Dr. Ibrahim Khalid<br>Samiya Osman |
| | | 4 | ORAL TRADITIONS AND DIGITAL PRESERVATION OF SWAHILI POETIC FORMS IN ZANZIBAR CULTURAL HERITAGE | Assoc. Prof. Dr. Fatma Juma<br>Dr. Ali Mwinyi<br>Hassan Rajab Dr. Rehema Suleiman<br>Prof. Dr. Abdul Karim |
| | | 5 | SEMANTIC EVOLUTION OF SWAHILI LOANWORDS IN COASTAL ZANZIBAR COMMUNITIES | Juma Salim |
| | | 6 | SOCIOLINGUISTIC DYNAMICS OF HINDI-ENGLISH CODE MIXING IN MODERN INDIAN URBAN FICTION | Prof. Dr. Ananya Verma<br>Dr. Rakesh Malhotra<br>Priya Nair |
| | | 7 | COMPARATIVE STUDY OF SANSKRIT DRAMATIC STRUCTURES AND THEIR INFLUENCE ON CONTEMPORARY INDIAN THEATRE TEXTS | Assoc. Prof. Dr. Vikram Chatterjee<br>Dr. Meera Iyer |
| | | 8 | RENAISSANCE HUMANISM AND THE DEVELOPMENT OF ITALIAN PHILOLOGICAL STUDIES IN MEDIEVAL MANUSCRIPT TRADITIONS | Prof. Dr. Lorenzo Bianchi<br>Dr. Giulia Conti<br>Marco De Santis |
| | | 9 | TEXTUAL CRITICISM AND DIALECTAL VARIATION IN MODERN ITALIAN LITERARY CORPORA ANALYSIS | Assoc. Prof. Dr. Francesca Romano<br>Dr. Paolo Ricci |
| | | 10 | CONTEMPORARY DEVELOPMENTS IN ARABIC POETICS AND THE EVOLUTION OF CLASSICAL RHETORICAL STRUCTURES IN MODERN SUDANESE LITERATURE | Prof. Dr. Salma Abdallah<br>Dr. Youssef Al-Nour<br>Hassan Ibrahim<br>Abdelrahman Musa |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 13** | **Assoc. Prof. Dr. Pham Quoc Anh** | 1 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN THE PRESERVATION OF INDONESIAN CULTURAL HERITAGE THROUGH DIGITAL ART PRACTICES | Prof. Dr. Ahmad Wijaya<br>Dr. Siti Maharani<br>Budi Santoso |
| | | 2 | THE INFLUENCE OF TRADITIONAL BATIK MOTIFS ON CONTEMPORARY VISUAL ART AND CREATIVE INDUSTRIES IN INDONESIA | Assoc. Prof. Dr. Rina Kartikasari<br>Muhammad Prasetyo |
| | | 3 | VISUAL STORYTELLING AND NATIONAL IDENTITY IN CONTEMPORARY VIETNAMESE PAINTING AND MULTIMEDIA ARTWORKS | Assoc. Prof. Dr. Pham Quoc Anh |
| | | 4 | THE ROLE OF PUBLIC ART INSTALLATIONS IN URBAN REGENERATION AND CULTURAL PARTICIPATION IN VIETNAM | Dr. Nguyen Thi Huong<br>Prof. Dr. Tran Minh Quang<br>Le Van Duc |
| | | 5 | EXPLORING INDIGENOUS SYMBOLISM AND MODERN AESTHETICS IN TANZANIAN CONTEMPORARY ART PRACTICES | Prof. Dr. Emmanuel Mwakalobo<br>Dr. Neema Kessy |
| | | 6 | THE TRANSFORMATION OF AFRICAN VISUAL NARRATIVES THROUGH DIGITAL MEDIA AND CREATIVE EXPRESSION IN TANZANIA | Assis. Prof. Dr. Joseph Mrema<br>Amina Hassan<br>Dr. Grace Mushi<br>Peter Mwita |
| | | 7 | THE IMPACT OF SMART CITY DEVELOPMENT ON PUBLIC ART, CULTURAL MEMORY, AND CREATIVE EXPRESSION IN SINGAPORE | Dr. Lim Wei Ming<br>Dr. Rachel Tan |
| | | 8 | INTERACTIVE ART, VIRTUAL EXHIBITIONS, AND AUDIENCE ENGAGEMENT IN THE EVOLVING CULTURAL LANDSCAPE OF SINGAPORE | Assoc. Prof. Dr. Kelvin Chua Sophia Lee<br>Dr. Adrian Ong |
| | | 9 | CROSS-CULTURAL DIALOGUES IN CONTEMPORARY SOUTHEAST ASIAN ART: THE SINGAPOREAN EXPERIENCE IN GLOBAL CREATIVE NETWORKS | Assis. Prof. Dr. Melissa Goh<br>Prof. Dr. Daniel Teo<br>Marcus Yeo<br>Dr. Cheryl Lim |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 14** | **Assis. Prof. Dr. Tamar Chikhladze** | 1 | CONTEMPORARY APPROACHES TO VISUAL STORYTELLING IN DIGITAL ART AND INTERACTIVE MEDIA ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Tomas Vaitkus<br>Dr. Greta Jankauskaitė<br>Milda Petrauskienė |
| | | 2 | THE INFLUENCE OF CULTURAL HERITAGE ON MODERN LITHUANIAN PAINTING AND VISUAL EXPRESSION | Darius Kazlauskas<br>Assis. Prof. Dr. Ieva Balčiūnaitė |
| | | 3 | REINTERPRETING TRADITIONAL SYMBOLS THROUGH CONTEMPORARY VIETNAMESE INSTALLATION ART | Prof. Dr. Nguyen Thanh Long<br>Dr. Tran Minh Anh<br>Le Quoc Bao |
| | | 4 | THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHAPING NEW CREATIVE PRACTICES IN VIETNAMESE VISUAL ARTS | Assoc. Prof. Dr. Pham Thi Huong<br>Dr. Vo Tuan Kiet |
| | | 5 | TRANSFORMATION OF NATIONAL IDENTITY IN GEORGIAN CONTEMPORARY SCULPTURE AND PUBLIC ART | Prof. Dr. Giorgi Meskhi<br>Nino Kapanadze<br>Dr. Irakli Beridze |
| | | 6 | VISUAL REPRESENTATIONS OF MEMORY AND HISTORY IN POST-SOVIET GEORGIAN ARTISTIC PRACTICES | Assis. Prof. Dr. Tamar Chikhladze |
| | | 7 | THE IMPACT OF GLOBALIZATION ON CONTEMPORARY ALBANIAN PAINTING AND CULTURAL EXPRESSION | Prof. Dr. Arben Hoxha<br>Dr. Elira Kola<br>Gentian Dervishi |
| | | 8 | EXPLORING URBAN AESTHETICS AND CREATIVE IDENTITY IN MODERN ALBANIAN VISUAL CULTURE | Assoc. Prof. Dr. Blerina Pasha<br>Dr. Klodian Leka Arta Mema<br>Erjon Marku |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **12 Haziran / June 12, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 15** | **Assoc. Prof. Dr. Tamar Mchedlidze** | 1 | CONTEMPORARY ARTISTIC EXPRESSION AND DIGITAL TRANSFORMATION IN POST-MODERN VISUAL CULTURE | Prof. Dr. Lukas Jankauskas<br>Dr. Eglė Petraitytė |
| | | 2 | THE ROLE OF TEXTURE AND LIGHT IN MODERN PAINTING PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Mantas Kazlauskas |
| | | 3 | CULTURAL MEMORY AND IDENTITY IN SOUTHEAST ASIAN CONTEMPORARY INSTALLATION ART | Dr. Nguyen Thi Lan<br>Prof. Dr. Tran Quoc Minh |
| | | 4 | AESTHETIC HYBRIDITY IN VIETNAMESE DIGITAL ART AND NEW MEDIA PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Le Hoang Nam<br>Dr. Pham Minh Chau |
| | | 5 | TRADITIONAL ICONOGRAPHY AND MODERN INTERPRETATIONS IN CAUCASIAN PAINTING | Prof. Dr. Giorgi Kapanadze<br>Dr. Nino Beridze |
| | | 6 | THE EVOLUTION OF SCULPTURAL FORMS IN POST-SOVIET GEORGIAN ART | Assoc. Prof. Dr. Tamar Mchedlidze<br>Dr. Irakli Shengelia |
| | | 7 | CONTEMPORARY ALBANIAN ART AND THE TRANSFORMATION OF URBAN VISUAL SPACES | Prof. Dr. Arben Kola<br>Dr. Elira Hoxha |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES

June 12 – 14, 2026
IZMIR

# YÜZ YÜZE

**13 Haziran / June 13, 2026 / 10:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 1** | **Prof. Dr. Ebru AYKAN** | 1 | THE RELATIONSHIP BETWEEN INDUSTRIAL COMPETITIVENESS OF COUNTRIES AND CORPORATE SUSTAINABILITY: A CONCEPTUAL STUDY | Yasemin Kübra KOCA<br>Doç. Dr. İlhan ÇAM<br>Doç. Dr. Yeşim CAN SAĞLAM |
| | | 2 | THE IMPACT OF ECOLOGICAL LITERACY ACTIVITIES CONDUCTED IN OUT- OF-SCHOOL LEARNING ENVIRONMENTS ON DEVELOPING SUSTAINABL LIVING AWARENESS AMONG MIDDLE SCHOOL STUDENTS | Prof. Dr. Fatma KIRMIZI<br>Prof. Dr. Şahin KAPIKIRAN |
| | | 3 | PROJECT FOR DEVELOPING GREEN-SAVE SKILLS THROUGH STEAM EDUCATION BASED ON CREATIVE DRAMA METHODS | Prof. Dr. Şahin KAPIKIRAN<br>Prof. Dr. Fatma KIRMIZI |
| | | 4 | İKLİM SOSYAL POLİTİKASI VE ADİL GEÇİŞ SÜRECİ | Doç. Dr. Gökhan OFLUOĞLU |
| | | 5 | YAPAY ZEKANIN İŞİN GELECEĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ | Doç. Dr. Gökhan OFLUOĞLU |
| | | 6 | MARKA KONUMLANDIRMADA HİKÂYELEŞTİRME | Y.L Öğrencisi Betül YILMAZ<br>Doç. Dr. Arzu KAZAZ |
| | | 7 | ABJECTION AND FEMALE REVENGE IN STEPHEN KING'S CARRIE | HATİCE RANA YILDIZ |
| | | 8 | BAĞLANMA STİLLERİ İLE SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİDE RUMİNASYONUN ARACI ROLÜ | Erdem Ayaşlı<br>Prof. Dr. Fatma Yeşim Can |
| | | 9 | TÜRKİYE'DE GÖÇMEN KAÇAKÇILIĞI SUÇUNUN OLUŞTURDUĞU RİSKLER | Doktora Öğrencisi Mehmet Ali KOYUNCU<br>Prof. Dr. Erhan GÜMÜŞ |
| | | 10 | ADOPTION OF GREEN PRACTICES IN MANUFACTURING SMEs: EVIDENCE FROM KAYSERI ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE THROUGH THE TOE FRAMEWORK | Prof. Dr. Ebru AYKAN |

## 15 DAKİKA MOLA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Doç. Dr. Özgehan ÖZKAN** | 11 | X, Y VE Z KUŞAKLARININ İLİŞKİLERDE BENİMSEDİKLERİ ÇATIŞMA EYLEM STİLLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ | Doç. Dr. Hanife AKGÜL<br>Araştırma Görevlisi Dr. Gülşah YILDIRIM |
| | | 12 | YAŞLILAR İÇİN ETKİLEŞİMSEL SOSYAL DESTEK ÖLÇEĞİ(YESDÖ)'NİN TÜRK KÜLTÜRÜNE UYARLAMASI: GEÇERLİLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI | Psk. Danışman Melek Gül AYVAZOĞLU<br>Doç. Dr. Hanife AKGÜL<br>Araştırma Görevlisi Dr. Gülşah YILDIRIM |
| | | 13 | YAZILI BASINDA KANSER HABERLERİNİN SUNUMU: TEMATİK BİR İNCELEME | Doç. Dr. Özgehan ÖZKAN |
| | | 14 | TÜRK BASININDA LONGEVITY SÖYLEMİ: UZUN VE SAĞLIKLI YAŞAMIN TEMSİLİ | Doç. Dr. Özgehan ÖZKAN |
| | | 15 | DOĞANIN ENERJİLERİ BİZİMLE: GENÇ LİDERLER ÇEVRESEL İLETİŞİM VE MEDYA AĞI PROJESİ KAPSAMINDA AKRAN EĞİTİMİ TEMELLİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK EĞİTİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ | Doç. Dr. Ömer Faruk KOÇAK<br>Prof. Dr. Hakan AYDIN |
| | | 16 | WOMEN'S HEALTH REPRESENTATİONS AND HEALTH LİTERACY İN THE DİGİTAL AGE: A CRİTİCAL REVİEW OF THE LİTERATURE | Başak Hayat YENİ<br>Prof. Dr. Aynur Uysal TORAMAN |
| | | 17 | TEDAVİ SÜRECİNDEKİ ÇOCUKLARIN KARDEŞLERİNE YÖNELİK DESTEK PROGRAMLARI : SIBSHOPS MODELİ | Merve ÇAKIR<br>Arş. Gör. Pınar HATAŞ |
| | | 18 | THE AFFECTS OF POLITICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENTS IN TURKEY BETWEEN 1960 AND 1980 ON MUSIC CULTURE | Ece ÖZDENİZ<br>Doç. Dr. Esin de THORPE MILLARD |
| | | 19 | İSTİHBARİ FAALİYETLERDE YAPAY ZEKÂ DÖNEMİ | MELİS YILDIZ |
| | | 20 | BARINMA İHTİYACININ PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK, ÖZNEL İYİ OLUŞ VE ALGILANAN STRES ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE İLİŞKİN BİR ARACILIK MODELİ ÖNERİSİ | Doç. Dr. Abdullah Mert Tuana Yolcu |
| | | 21 | ERGENLİK DÖNEMİNDE SOSYAL DIŞLANMANIN AKRAN İLİŞKİLERİ VE BENLİK SAYGISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ | Doç. Dr. Abdullah Mert Tuana Yolcu |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR

# YÜZ YÜZE

**13 Haziran / June 13, 2026 / 10:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 2** | **Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR** | 1 | DİNAMİK ÜRETİM ORTAMLARINDA SİPARİŞ GECİKME RİSKİNİN TAHMİNİNE YÖNELİK MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM | Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR |
| | | 2 | DESIGN OF AN ACOUSTIC EMISSION ROBOT USED FOR PRELIMINARY DETECTION OF SHAFT INTERNAL CRACKS | Lec. Dr. Serkan BELLER |
| | | 3 | AĞIR VASITA KOMPRESÖR TAHRİK DİŞLİLERİNDE PROFİL TAŞLAMA VE PROFİL RASPALAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ | Yunus Emre TORUN<br>Mehmet VURAL<br>Veli Asaf TOPKARA |
| | | 4 | ENDÜKTİF MESAFE SENSÖR ÇEKİRDEKLERİNİN VİTES DEĞİŞTİRME SİLİNDİRLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ | Serhat Cemal GARİP<br>Mehmet GÜN<br>Mesut TOSUN |
| | | 5 | MODUS: YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK PLATFORMU | Öğr. Gör. Tuğçe YÜKSEL<br>Samet YILMAZ<br>Samed SAZAK<br>Enez AKCAN |
| | | 6 | APARTMAN VE SİTE YÖNETİMİNDE WEB TABANLI DİJİTAL DÖNÜŞÜM SİSTEMİ: YÖNETİM360 | Öğr. Gör. Tuğçe YÜKSEL<br>Esma Nur GÜÇİN<br>Sare Ravzanur AYDIN<br>Beyza AKSAKAL |
| | | 7 | WHEN DOES ONLINE LEARNING HELP? FORECAST HORIZON EFFECTS IN AGRICULTURAL COMMODITY PRICE FORECASTING | Res. Asst. Nuri Berk URAL<br>Dr. Burak ÖZTORNACI |
| | | 8 | KUANTUM İSTATİSTİĞİ YÖNTEMİYLE ATOMUN KONUMUNUN BELİRLENMESİ: WİGNER DAĞILIMI VE KUANTUM TOMOGRAFİ YAKLAŞIMLARI | Dr. Yakup KADER |
| | | 9 | DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI DİNAMİK RAF ATAMA OPTİMİZASYONU | Dr.Öğr. Üyesi Mümin Emre ŞENOL |

## 15 DAKİKA MOLA

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ** | 10 | IN SILICO SCREENING OF NOVEL CATALASE ENZYME ACTIVATORS | Hilal TAY<br>Prof.Dr. Hülya AYAR KAYALI |
| | | 11 | TOXIC EFFECTS OF BISPHENOL A SUBSTITUTES ON ZEBRAFISH (DANIO RERIO): AN EVALUATION OF CURRENT LITERATURE | Yüksek Lisans Öğrencisi Emine Nur ERDEM<br>Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN |
| | | 12 | FARKLI KÜKÜRT UYGULAMALARININ SULANAN VE SULANMAYAN KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN KARABURUN NERGİSİNDE (Narcissus tazetta L.) VERİM, ÇİÇEK ÖZELLİKLERİ ve TOPRAK REAKSİYONUNA ETKİLERİ | Ziraat Mühendisi İrfan Umur BATI<br>Doç. Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU |
| | | 13 | BARRIERS TO DIGITAL AGRICULTURE ADOPTION AMONG SMALLHOLDER FARMERS IN AFRICA | Abdullahi Mohamed Jisow |
| | | 14 | THE ROLE OF FOOD SAFETY PERCEPTIONS IN CONSUMER PURCHASING DECISIONS IN AFRICA | Abdullahi Mohamed Jisow |
| | | 15 | TÜRKİYE'DE DAİMİ NEZARETÇİLERİN MADEN İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR YAZILIMLARINI KULLANMA SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ | Dr. Furkan Kerem KASA<br>Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ<br>Maden yüksek mühendisi Murat MARAL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Doç. Dr. HÜSEYİN BATMAN<br>Doç. Dr. MELİKE YALÇIN** | 1 | A MODEL PROPOSAL FOR ESTABLISHING SCHOOL SOCIAL WORK UNITS TO COMBAT VIOLENCE AND PEER BULLYING IN SCHOOLS | Doç. Dr. HÜSEYİN BATMAN<br>Doç. Dr. MELİKE YALÇIN |
| | | 2 | ÇALIŞAN KADINLARIN AİLE İÇİ SORUMLULUKLARINI DENGELEMEDEKİ DESTEK MEKANİZMALARI | Muhammed Fatih ŞAHİN |
| | | 3 | RELATIONSHIP BETWEEN JOB STRESS AND MINDFULNESS IN EMPLOYEES | Pınar DİKYOL<br>Prof. Dr. Leyla ÖZGEN |
| | | 4 | MANEVİYAT, DİN VE SOSYAL HİZMET | Öğr. Gör. Servet BULAN |
| | | 5 | INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN PSYCHOLOGICAL FLEXIBILITY AND ASSERTIVENESS AMONG YOUNG ADULTS | Ebrar YILMAZ<br>Prof.Dr. Leyla ÖZGEN |
| | | 6 | QOCALIĞA PSİXOLOJİ UYĞUNLAŞMA: NƏZƏRİ MODELLƏR VƏ MİLLİ-MƏDƏNİ KONTEKST | Tutuxanım Eyvazova |
| | | 7 | BUSY BRAGGING: ADAPTIVE SELF-PRESENTATION IN CONTEMPORARY KNOWLEDGE WORK | Dr. Öğr. Üyesi Onur EMRE |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Dr. Öğr. Üyesi Gülcan ÖZBEK** | 1 | MÜZE EĞİTİMİNDE ÇOCUK PROGRAMLARI: SANAT TARİHİ PERSPEKTİFİNDEN BİR ANALİZ | Dr. Öğr. Üyesi Gülcan ÖZBEK |
| | | 2 | YENİ EĞİTİM VİZYONUNUN AKADEMİK YANSIMALARI: TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÜZERİNE YAZILAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ | Öğr. Gör. Dr. Okan DEDE<br>Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU<br>Öğr. Gör. Hüseyin ATASEVEN |
| | | 3 | HIGHER EDUCATION POLICY DISCOURSE IN INTERNATIONAL ORGANIZATIONS: A CRITICAL DOCUMENT ANALYSIS OF UNESCO GEM 2024/25 AND OECD 2025 REPORTS | Dr. Okan DEDE<br>Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU<br>Lect. Hüseyin ATASEVEN |
| | | 4 | THE IMPORTANCE OF ESTABLISHING AN ETHICAL FRAMEWORK FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE. | Dr. Cihan KARA |
| | | 5 | PERCEPTION OF ORGANIZATIONAL VIRTUE AMONG DOCTORS | Dr. Cihan KARA |
| | | 6 | KÜLTÜREL MİRAS EĞİTİMİNDE DİJİTAL RESİMLİ ÇOCUK KİTAPLARININ KULLANIMI: ANADOLU UYGARLIKLARI ÜZERİNE BİR UYGULAMA | L. Öğrencisi Ezgi Melek PİRİM<br>Doç.Dr Derya YÜREĞİLLİ GÖKSU |
| | | 7 | 6. SINIF SOSYAL BİLGİLER DERS KİTABINDAKİ GÖRSELLERİN İNCELENMESİ VE ÖĞRETMENLERİN GÖRSEL MATERYAL KULLANIMINA YÖNELİK GÖRÜŞLERİ | Nalan KARACAOĞLU<br>Doç. Dr. Besime Arzu GÜNGÖR AKINCI |
| | | 8 | İLKÖĞRETİM MATEMATİK ÖĞRETMEN ADAYLARININ YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞI İLE YAPAY ZEKÂ ARAÇLARINI KABUL DÜZEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Şevval KARAGÖZ<br>Prof. Dr. Filiz Tuba DİKKARTIN ÖVEZ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Prof. Dr. Muhammet Fatih ALKAYIŞ** | 1 | İNTERNETTEKİ OSMANLI TÜRKÇESİ SİTELERİNİN ÖZLÜ SÖZ AKTARIMINDA ÜSTLENDİKLERİ GÖREVLER | Prof. Dr. Muhammet Fatih ALKAYIŞ<br>Dr. Öğr. Üyesi Muhittin ÇELİK |
| | | 2 | ARGUNŞAH VE GÜNER'İN YAYIMLADIĞI CODEX CUMANİCUS İÇİN HAZIRLANAN TANITIM YAZILARINDAKİ BEĞENİ İFADELERİNE BİR BAKIŞ | Prof. Dr. Muhammet Fatih ALKAYIŞ<br>Arş. Gör. Mustafa YILMAZ<br>Haki TABCU |
| | | 3 | A FEMINIST CRITIQUE OF GENDERED POWER IN URSULA K. LE GUIN'S 'THE MATTER OF SEGGRI' | Lecturer PhD Yağmur KIZILAY |
| | | 4 | ZAVEN BİBERYAN'IN ROMANLARINDA MADUNİYET VE MADUN KARAKTERLERİN GÖRÜNÜMLERİ | Yüksek Lisans Öğrencisi İbrahim Doğru<br>Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Oymak |
| | | 5 | BETWEEN HUNGER AND RELUCTANCE: A MONSTER THEORY READING OF TRAGIC VILLAINY IN ANGELA CARTER'S "THE LADY OF THE HOUSE OF LOVE" | Zehra BAŞARAN |
| | | 6 | ÖTEKİNİN DÖNÜŞÜMÜ BAĞLAMINDA DELİ DUMRUL | Doktora Öğrencisi Pelin YILMAZ |
| | | 7 | TÜRKLER ALMANYA'DA ROMANINDA GÖÇ VE KİMLİK OLGUSU | Yüksek Lisans Öğrencisi, Serhat BİLİCİ |
| | | 8 | Pierre Bourdieu'nün Kültürel Sosyoloji kuramı Bağlamında Bangır Bangır Ferdi Çalıyor Evde incelemesi | Yüksek Lisans Öğrenci BUSE SILA KEMİK<br>DOÇ.DR. SELAMİ ÇAKMAKCI |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR** | 1 | DETECTING AI-GENERATED ACADEMIC FIGURES USING TRANSFER LEARNING WITH A CONVNEXT-BASED BINARY CLASSIFICATION APPROACH | Ayca Bostancioglu<br>Assoc. Prof. Dr. Bihter Das |
| | | 2 | ENHANCING CROSS-LINGUAL TRANSFER LEARNING FOR LOW-RESOURCE TURKIC LANGUAGES: A STUDY OF MONOLINGUAL AND MULTILINGUAL BERT MODELS | Res. Assist. Selma ALAV<br>Assoc. Prof. Dr. Bihter DAŞ |
| | | 3 | INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: FINANCIAL DECISION-SUPPORT MECHANISMS AND STRATEGIC ALIGNMENT | Öğr. Gör. Şafak YÜKSEL<br>Doktora Öğrencisi Ceren BAKAL<br>Doç. Dr. Zülfükar Aytaç KİŞMAN |
| | | 4 | MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS AS AN ORGANIZATIONAL LEARNING MECHANISM: A CONCEPTUAL EVALUATION | Doktora Öğrencisi Ceren BAKAL<br>Doç. Dr. Cem AYDEN<br>Doç. Dr. Zülfükar Aytaç KİŞMAN |
| | | 5 | PM2.5 TAHMİNİ İÇİN DERİN ÖĞRENME MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: LSTM, GRU, CNN-LSTM VE GRAFİK SİNİR AĞI | Öğr. Gör. Dr. Osman GÜMÜŞ<br>Doç. Dr. Muhammed Hanifi VAN |
| | | 6 | PLEOMORFİK ADENOM VE KARSİNOM EX PLEOMORFİK ADENOM AYRIMI İÇİN DERİN ÖĞRENME | Lisansüstü Öğrencisi Berkay BAKIŞOĞLU<br>Doç. Dr. Burçin PEHLİVANOĞLU<br>Arş. Gör. Dr. Nazımcan TEZEL<br>Prof. Dr. Aylin KANTARCI<br>Prof. Dr. Şebnem BORA |
| | | 7 | WEB TABANLI HARİTA ENTEGRASYONLU AKILLI TAKSİMETRE SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI | Emin Yıldız,<br>Dr .Öğr .Üyesi Handan Gürsoy-Demir |
| | | 8 | REDUCING HALLUCINATION IN ENTERPRISE AI SYSTEMS USING RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION | Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR<br>Mehmet Hakkı ERSOY<br>Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU |
| | | 9 | A DATA-DRIVEN OKR FRAMEWORK FOR INTELLIGENT PERFORMANCE MANAGEMENT | Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR<br>Yavuz ŞAHİN<br>Mehmet Hakkı ERSOY<br>Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

**13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 5** | **Res. Assist. Dr. Bilgehan BAKIRHAN** | 1 | KENTSEL GÜRÜLTÜ YÖNETİMİNDE SESSİZ ALAN PLANLANMASI: AB VE TÜRKİYE PRATİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ | Hatice ŞENSES<br>Dr. Öğr. Üyesi Nüket İpek ÇETİN |
| | | 2 | YENİ AVRUPA BAUHAUS İLKELERİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİ MİRASININ SANAT MERKEZİ OLARAK UYARLANABİLİR YENİDEN KULLANIMI: CERMODERN ÖRNEĞİ | Zeyneb KIZILKAYA<br>Doç. Dr. Selin YILDIZ |
| | | 3 | AFET RİSKİ Mİ, POLİTİKA ARACI MI? TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN YASAL VE KURUMSAL ÇERÇEVESİ | Şehir ve Bölge Plancısı<br>Nesrin BAY<br>Doç. Dr. Ercan KOÇ |
| | | 4 | THE CONTRIBUTION OF GREEN INFRASTRUCTURE COMPONENTS TO AUDITORY COMFORT IN THE CONTEXT OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL IN ARCHITECTURE | Instructor Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI<br>Res. Assist. Dr. Bilgehan BAKIRHAN |
| | | 5 | FIRE SAFETY IN ARCHITECTURE AND THE EVOLUTION OF FIRE- RETARDANT TECHNOLOGIES: A LITERATURE REVIEW FROM THE PERSPECTIVES OF SUSTAINABILITY AND PERFORMANCE | Res. Assist. Dr. Bilgehan BAKIRHAN<br>Instructor Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI |
| | | 6 | KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE MÜLKİYET YAPISI, DÖNÜŞÜM MODELİ VE SOSYOEKONOMİK KIRILGANLIK: İSTANBUL ARNAVUTKÖY İLÇESİ – İMRAHOR MAHALLESİ ÖRNEĞİ | Hüseyin Can TÜRKMEN<br>Ercan KOÇ |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

**13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 6** | **Bahadir KOZ** | 1 | EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF TWO DIDYMODON SPECIES (MOSSES) IN LANDSCAPE ARCHITECTURE. | Bahadir KOZ |
| | | 2 | ASSESSMENT OF MOSS (MUSCI) AND VANADIUM (V) POLLUTION | Bahadir KOZ |
| | | 3 | A WORKSHOP ON DETECTION OF LANDSCAPE PERCEPTION IN NATURE-CHILD RELATIONSHIP | Dr. Öğr. Üyesi Gizem CENGİZ GÖKÇE<br>Arş. Gör. Gülennur ŞANLI<br>YL Öğrencisi Nihal SARISOY |
| | | 4 | TERRAIN AS SHELTER: INTEGRATING ANIMAL WELFARE AND TOPOGRAPHIC DESIGN İN A BOUTIQUE HOTEL LANDSCAPE | Prof. Dr. Elif Merve ALPAK<br>Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ<br>Arş. Gör. Nida KURAK SEZGİN |
| | | 5 | VANISHING AND RECONSTRUCTED LANDSCAPES IN URBAN TRANSFORMATION PROCESSES: AN EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF COLLECTIVE MEMORY | Arş.Gör.Nida KURAK SEZGİN<br>Prof.Dr.Elif Merve ALPAK<br>Prof.Dr.Tuğba DÜZENLİ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Doç. Dr. Özgen KILIÇ ERKEK<br>Dr. Öğr. Üyesi Buket ER URGANCI** | 1 | KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞI SENDROMUNA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI | Yüksek Lisans Öğrencisi Mehtap DAL<br>Prof. Dr. Şenay ARLI |
| | | 2 | TRIPLE-NEGATIVE BREAST CANCER: FUNCTIONAL AND TRANSCRIPTOMIC EFFECTS OF A DROXINOSTAT-BASED EPIGENETIC–CHEMOTHERAPY COMBINATION | Dr. Ecz. Fazilet Esra İNCEDERE DÜZDAĞ<br>Prof. Dr. Burçin TEZCANLI KAYMAZ |
| | | 3 | STAT5 HEDEFLENMESİNİN İMATİNİB DİRENCİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN MOLEKÜLER ANALİZİ | Dr. İlayda ALÇITEPE<br>Prof. Dr. Burçin KAYMAZ |
| | | 4 | ELDE NADİR GÖRÜLEN KONDROSARKOM OLGUSUNDA PET-BT İLE SAPTANAN İNSİDENTAL DÜŞÜK DERECELİ VİLLÖZ ADENOM: OLGU SUNUMU | Uzman Doktor Fatih TAHAK |
| | | 5 | MCF-7 VE MDA-MB-231 HÜCRELERİNDE JUGLONUN PROOKSİDAN ETKİSİ: ARTMIŞ OKSİDATİF STRES VE KANSER HÜCRE ÖLÜMÜ | Doç. Dr. Özgen KILIÇ ERKEK<br>Dr. Öğr. Üyesi Buket ER URGANCI |
| | | 6 | THE IMPORTANCE OF MATERNAL POSITION DURING CHILDBIRTH AND ITS EFFECT ON CLINICAL OUTCOMES: A REVIEW STUDY | Res. Asst. Gülnaz ERDİ<br>Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ |
| | | 7 | EFFECTS OF PSYCHOSOCIAL FACTORS ON LABOR: A CURRENT REVIEW | Res. Asst. Gülnaz ERDİ<br>Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Asst. Prof. Cengizhan CEYLAN** | 1 | ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF BEVERAGE INDUSTRY EFFLUENT: A CASE STUDY OF ADAMA BEVERAGE LIMITED | Ezekiel, O. F<br>Sara G. Yahaya<br>Caleb S. Nina |
| | | 2 | ADVERSE EFFECTS OF ANTIRETROVIRAL THERAPY FOR PATIENTS WITH HIV<br>INFECTION IN A TERTIARY HOSPITAL CENTRE IN ALBANIA | Mirela Rexhepi<br>Erjona Abazaj<br>Esmeralda Meta |
| | | 3 | NEEDLESTICK INJURIES AND BLOOD-BORNE PATHOGEN IMMUNITY IN TERTIARY HEALTHCARE WORKERS | Ela Ali MD, PhD<br>Prof. Shpëtim Qyra<br>Prof. Asoc. Erjona Abazaj<br>Dr. Brunilda Hysaj PhD<br>Anja Beqaj MD |
| | | 4 | PREVALENCE AND RISK FACTORS FOR POSTOPERATIVE WOUND INFECTIONS. A CROSS-SECTIONAL STUDY | PhD candidate Afërdita Ademi<br>Prof. Shpëtim Qyra<br>Prof. Asoc. Erjona Abazaj<br>Anja Beqaj MD<br>Ela Ali MD, PhD |
| | | 5 | TÜRKİYE'DE TANILAR ARASI AŞERME ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK BİR GEREKSİNİM | İlayda Özgürdal<br>Prof. Dr. Işıl Ergin<br>Doç. Dr. Umut Kırlı |
| | | 6 | ASSESSMENT OF PATIENT INFORMATION MATERIALS PREPARED BY THE TURKISH PHARMACISTS' ASSOCIATION USING PEMAT-P | Asst. Prof. Cengizhan CEYLAN |
| | | 7 | MICROPLASTICS AND ATHEROSCLEROSIS: MECHANISMS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION | Selen SELVİ<br>Asst. Prof. Dr. Anıl YİRÜN<br>Assoc. Prof. Dr. Göksun DEMİREL<br>Assoc. Prof. Dr. Onur Kenan ULUTAŞ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Associate Professor, Baran HEKİMOĞLU** | 1 | HYBRID EEG-BIOSENSOR PLATFORMS FOR MULTIMODAL BRAIN MONITORING | Hezzal Küçükselbes<br>Prof. Özge Cihanbeğendi |
| | | 2 | KALICI MIKNATIS KALINLIĞININ 1 KW BLDC MOTORUN TORK, GERİ-EMK VE MIKNATIS KULLANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ | Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN<br>Öğr. Gör. Kuray YURTBAY<br>Öğr. Gör. Güney UĞURLU<br>Öğr. Gör. İzzet YAVUZ |
| | | 3 | ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ ÖĞRENCİ UYGULAMA MERKEZİ TASARIMI VE SAHA UYGULAMASI: NALLIHAN MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ | Öğr. Gör. İzzet YAVUZ<br>Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN<br>Öğr. Gör. Kuray YURTBAY<br>Öğr. Gör. Güney UĞURLU |
| | | 4 | POLİMORFİK ZARARLI YAZILIMLARDA SANDBOX TELEMETRİSİ İLE<br>REVERSE ENGİNEERİNG ODAKLI DAVRANIŞSAL SABİTLERİN ÇIKARIMI | Öğr. Gör. Güney UĞURLU<br>Öğr. Gör. İzzet YAVUZ<br>Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN<br>Öğr. Gör. Kuray YURTBAY |
| | | 5 | TÜRKİYE'NİN FARKLI ŞEHİRLERİ İÇİN HİBRİT PV-BATARYA SİSTEMİNİN TEKNO-EKONOMİK OPTİMİZASYONU | Öğr. Gör. Kuray YURTBAY<br>Öğr. Gör. Güney UĞURLU<br>Öğr. Gör. İzzet YAVUZ<br>Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN |
| | | 6 | INFINITE IMPULSE RESPONSE FILTER-BASED SYSTEM IDENTIFICATION USING HYBRID SNAKE OPTIMIZER AND PATTERN SEARCH ALGORITHM | Associate Professor, Baran HEKİMOĞLU |
| | | 7 | THERMAL DYNAMICS AND BOUNDARY ANALYSIS OF SERVO MOTORS IN PERIODIC DUTY CYCLES USING LPTN | Mansur AYDIN<br>Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman GÜNDAY |
| | | 8 | PREDICTIVE MAINTENANCE STRATEGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACHES IN SMART MANUFACTURING ARCHITECTURES | Mansur AYDIN<br>Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman GÜNDAY |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Assist. Prof. Dr. Hamide AVCI<br>Assist. Prof. Dr. Kenan BULCAR** | 1 | CaCO3-ZrO2 SERAMİK SİSTEMİNDEN ÜRETİLEN $CaZrO_3$ SERAMİKLERİNİN MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNE MEKANİK AKTİVASYONUN ETKİSİ | Kubilay BULUT |
| | | 2 | CHLORELLA VULGARİS MİKROALG İLE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN PLA FİLM MATRİSİ İLE BİRLEŞTİRİLEREK ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİĞİNİN İNCELENMESİ | DR.ÖĞR.ÜYESİ KAMİL SERKAN UZYOL<br>ERMAN KALINAĞA |
| | | 3 | PERDELİK KUMAŞLARDA PUNTALAMA PARAMETRELERİNİN KUMAŞ PERFORMANS ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ | M.Sc. Safiye Berfin DEMİRCAN<br>Prof. Dr. Erhan Kenan ÇEVEN |
| | | 4 | ALTERNATİF ÖN İŞLEM TEKNOLOJİLERİNİN SELÜLOZ ESASLI DOKUMA KUMAŞLARIN BURUŞMAZLIK BİTİM İŞLEMİ UYGULANMASI SONRASI RENK VE MEKANİK PERFORMANS ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI | M. Sc. Safiye Berfin DEMİRCAN<br>Dr. Mehmet TİRİTOĞLU<br>Prof. Dr. Erhan Kenan ÇEVEN<br>Prof. Dr. Y. Dilek TOPRAKKAYA KUT<br>Prof. Dr. Elif DEMİRKAN |
| | | 5 | AN ANALYSIS OF INDUSTRIAL SCALE ANTI-BACTERIAL FINISHING TREATMENT ON THE BASIS OF EFFICIENCY, DURABILITY, AND COST | Dr. Hayal OKTAY<br>Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK |
| | | 6 | THERMOLUMINESCENCE PROPERTIES OF β-IRRADIATED SANDSTONE | Assist. Prof. Dr. Hamide AVCI<br>Assist. Prof. Dr. Kenan BULCAR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assoc. Prof. Dr. Nikos Karamanlis** | 1 | SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NATURAL PRODUCT-DERIVED ANTIOXIDANTS FROM LAOTIAN MEDICINAL PLANTS | Prof. Dr. Somphong Vannavong<br>Khamla Phengsavanh<br>Dr. Soudavone Keoboualapha |
| | | 2 | ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CATALYTIC PROCESSES FOR BIOMASS CONVERSION IN LAOS | Assoc. Prof. Dr. Bounmy Xayavong<br>Sengdao Phommasack |
| | | 3 | ADVANCED NANOCATALYSTS FOR PETROCHEMICAL REACTIONS IN IRANIAN INDUSTRIAL APPLICATIONS | Dr. Reza Farhadi<br>Prof. Dr. Hossein Mahmoudi<br>Leila Azadi |
| | | 4 | ELECTROCHEMICAL ANALYSIS OF HEAVY METAL IONS IN IRANIAN WATER RESOURCES USING NOVEL SENSORS | Assoc. Prof. Dr. Narges Rahimi<br>Ali Moradi |
| | | 5 | GREEN CHEMISTRY APPROACHES FOR WASTE REDUCTION IN ALGERIAN CHEMICAL INDUSTRIES | Prof. Dr. Karim Bensalem<br>Nadia Zeroual<br>Yacine Hamidi |
| | | 6 | POLYMER-BASED NANOCOMPOSITES FOR WATER PURIFICATION SYSTEMS IN ALGERIA | Dr. Samira Belkadi<br>Amine Touati<br>Assis. Prof. Dr. Rachid Meziane |
| | | 7 | ORGANIC SYNTHESIS OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM CAUCASIAN FLORA IN GEORGIA | Prof. Dr. Nino Chikhradze<br>Giorgi Lomidze |
| | | 8 | STUDY OF CORROSION INHIBITORS FOR METAL PROTECTION IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS IN GEORGIA | Dr. Tamar Kapanadze<br>Levan Beridze<br>Irakli Tsiklauri |
| | | 9 | PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS USING SEMICONDUCTOR MATERIALS IN GEORGIAN LABORATORIES | Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili<br>Ana Shengelia |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Assoc. Prof. Dr. Samir Belkadi** | 1 | LOW-POWER EMBEDDED SYSTEM DESIGN FOR RURAL INTERNET OF THINGS APPLICATIONS IN LAOS | Prof. Dr. Somchai Phanthavong<br>Khamla Souvannasith<br>Dr. Noy Chanthala |
| | | 2 | WIRELESS SENSOR NETWORK OPTIMIZATION FOR AGRICULTURAL MONITORING SYSTEMS IN LAO COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Bounmy Keovongsa<br>Sengdeuane Phimmasone |
| | | 3 | ADVANCED POWER ELECTRONICS FOR RENEWABLE ENERGY INTEGRATION IN IRANIAN SMART GRIDS | Prof. Dr. Reza Ghasemi<br>Ali Moradi<br>Dr. Parisa Jafari |
| | | 4 | DESIGN AND ANALYSIS OF HIGH-FREQUENCY ANTENNAS FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS IN IRAN | Assis. Prof. Dr. Mehdi Khosravi<br>Sara Ahmadi<br>Navid Ebrahimi |
| | | 5 | FAULT DETECTION SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS USING MACHINE LEARNING IN ALGERIA | Dr. Karim Bensalem<br>Yacine Ould Ahmed<br>Nadia Zerrouki |
| | | 6 | EMBEDDED CONTROL SYSTEMS FOR AUTOMATED WATER MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS | Assoc. Prof. Dr. Samir Belkadi<br>Lina Touati |
| | | 7 | SMART CITY ELECTRONIC INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN TBILISI URBAN ENVIRONMENTS | Nino Beridze<br>Levan Tsiklauri<br>Prof. Dr. Giorgi Kapanadze |
| | | 8 | FPGA-BASED DIGITAL SIGNAL PROCESSING APPLICATIONS IN GEORGIAN TELECOMMUNICATION SYSTEMS | Dr. Tamar Lomidze<br>Irakli Shengelia |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Dr. Aigerim Zhumabekova** | 1 | QUANTUM ENTANGLEMENT DYNAMICS IN LOW-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING SYSTEMS | Elena Dumitrescu Prof. Dr.<br>Andrei Popa |
| | | 2 | NUMERICAL MODELING OF PLASMA TURBULENCE IN MAGNETIC CONFINEMENT FUSION DEVICES | Assoc. Prof. Dr. Radu Marinescu<br>Ioana Stan<br>Dr. Mihai Ionescu |
| | | 3 | OPTICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR PHOTONIC APPLICATIONS IN AZERBAIJAN | Prof. Dr. Farid Mammadov<br>Nigar Aliyeva<br>Rashad Guliyev |
| | | 4 | EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SEMICONDUCTOR THIN FILMS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION | Dr. Kamran Hasanov<br>Aysel Ibrahimova<br>Assis. Prof. Dr. Tural Huseynli |
| | | 5 | ASTROPHYSICAL OBSERVATIONS OF HIGH-ENERGY COSMIC RADIATION IN EAST AFRICA | Prof. Dr. Tesfaye Bekele<br>Abel Mekonnen |
| | | 6 | THERMAL CONDUCTIVITY STUDIES OF NATURAL MINERALS UNDER EXTREME CONDITIONS IN ETHIOPIA | Dr. Hana Tesfahun<br>Bekele Alemu<br>Selamawit Desta |
| | | 7 | PARTICLE ACCELERATION MECHANISMS IN COSMIC RAY PHYSICS: A KAZAKHSTAN PERSPECTIVE | Prof. Dr. Yerlan Sadykov<br>Dana Tulegenova<br>Nursultan Abayev |
| | | 8 | INVESTIGATION OF LASER-MATTER INTERACTIONS IN HIGH-ENERGY PHYSICS EXPERIMENTS | Dr. Aigerim Zhumabekova<br>Ruslan Bektemirov |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Dr. Amal Hassan** | 1 | SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES FOR HISTORIC DISTRICTS IN BUCHAREST | Prof. Dr. Andrei Popa<br>Elena Ionescu<br>Dr. Mihai Georgescu |
| | | 2 | ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN ROMANIAN POST-SOCIALIST CITIES | Assoc. Prof. Dr. Raluca Dumitrescu<br>Adrian Vasilescu |
| | | 3 | CLIMATE-RESPONSIVE ARCHITECTURAL DESIGN FOR DESERT ENVIRONMENTS IN EGYPTIAN CITIES | Prof. Dr. Ahmed El-Gendy<br>Sara Mahmoud<br>Omar Farouk |
| | | 4 | URBAN DENSITY AND PUBLIC SPACE OPTIMIZATION IN CAIRO METROPOLITAN DEVELOPMENT | Dr. Laila Hassan<br>Youssef Abdelrahman |
| | | 5 | TRADITIONAL SUDANESE ARCHITECTURE AND ITS INTEGRATION INTO MODERN HOUSING SOLUTIONS | Assoc. Prof. Dr. Hassan Idris<br>Fatima Elamin<br>Mohamed Abdalla |
| | | 6 | SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS FOR LOW-COST HOUSING IN SUDAN | Dr. Amal Hassan<br>Khalid Osman |
| | | 7 | SMART CITY ARCHITECTURAL FRAMEWORKS FOR ASTANA URBAN EXPANSION | Prof. Dr. Aigerim Sadykova<br>Nursultan Beketov<br>Dana Tolegenova |
| | | 8 | SEISMIC-RESILIENT BUILDING DESIGN APPROACHES IN ALMATY URBAN PLANNING | Assoc. Prof. Dr. Yerlan Zhumabayev<br>Aruzhan Kairat<br>Timur Bekov |
| | | 9 | GREEN ARCHITECTURE AND ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN IN KAZAKHSTAN CITIES | Dr. Gulmira Abildayeva<br>Serik Nurgaliyev |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Thani** | 1 | ADVANCED NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR HIGH-EFFICIENCY ENERGY STORAGE SYSTEMS: INVESTIGATING ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE, STABILITY, AND SCALABILITY OF NEXT-GENERATION NANOCOMPOSITES | Prof. Dr. Andrei Ionescu<br>Dr. Elena Popa<br>Mihai Stan<br>Ana Dumitrescu |
| | | 2 | ENGINEERED NANOPARTICLES FOR TARGETED DRUG DELIVERY IN CANCER THERAPY: OPTIMIZATION OF BIOCOMPATIBILITY, CELLULAR UPTAKE, AND THERAPEUTIC EFFICACY | Dr. Ioana Georgescu<br>Raluca Enache<br>Sorin Petrescu |
| | | 3 | NANOTECHNOLOGY-BASED BIOSENSORS FOR RAPID DISEASE DIAGNOSIS: ENHANCING DETECTION SENSITIVITY THROUGH FUNCTIONALIZED NANOMATERIALS AND SMART ANALYTICAL PLATFORMS | Prof. Dr. Nikolaos Papadakis<br>Eleni Karagianni<br>Dr. Georgios Vassiliou |
| | | 4 | DEVELOPMENT OF NANOSTRUCTURED COATINGS FOR CORROSION RESISTANCE IN MARINE ENVIRONMENTS: PERFORMANCE EVALUATION AND INDUSTRIAL APPLICATIONS | Maria Stefanou<br>Dr. Panagiotis Ioannidis<br>Konstantinos Georgiadis |
| | | 5 | CARBON-BASED NANOMATERIALS FOR WATER PURIFICATION TECHNOLOGIES: ASSESSING ADSORPTION EFFICIENCY, REUSABILITY, AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY | Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori<br>Dr. Fatima Al-Kuwari<br>Mohammed Al-Hajri<br>Sara Al-Naimi |
| | | 6 | NANOFABRICATION STRATEGIES FOR FLEXIBLE ELECTRONICS AND WEARABLE DEVICES: MATERIAL DESIGN, DEVICE INTEGRATION, AND LONG-TERM RELIABILITY | Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Thani<br>Prof. Dr. Noor Al-Sulaiti |
| | | 7 | APPLICATION OF METALLIC NANOPARTICLES IN SMART AGRICULTURE: IMPROVING CROP PRODUCTIVITY, NUTRIENT DELIVERY, AND ENVIRONMENTAL MONITORING | Prof. Dr. Giorgi Beridze<br>Nino Khutsishvili<br>Dr. Levan Mchedlishvili<br>Tamar Japaridze |
| | | 8 | MULTIFUNCTIONAL NANOCOMPOSITES FOR AEROSPACE ENGINEERING: MECHANICAL ENHANCEMENT, THERMAL STABILITY, AND LIGHTWEIGHT STRUCTURAL DESIGN | Assoc. Prof. Dr. Davit Gogoladze<br>Prof. Dr. Ketevan Chikovani<br>Irakli Tsiklauri |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Assis. Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi** | 1 | MATERNAL HEALTH OUTCOMES AND THE ROLE OF MIDWIFERY-LED CARE IN REDUCING PREGNANCY-RELATED COMPLICATIONS: A MULTICENTER EVALUATION | Dr. Ioana Marinescu<br>Dr. Andrei Pop |
| | | 2 | THE EFFECT OF PRENATAL EDUCATION PROGRAMS ON MATERNAL ANXIETY, BIRTH PREPAREDNESS, AND POSTPARTUM ADAPTATION AMONG PRIMIPAROUS WOMEN | Assoc. Prof. Dr. Cristina Ionescu<br>Maria Radu<br>Dr. Victor Georgescu<br>Ana-Maria Pavel<br>Florin Enache |
| | | 3 | MIDWIVES' CONTRIBUTIONS TO IMPROVING BREASTFEEDING INITIATION AND EXCLUSIVE BREASTFEEDING RATES DURING THE FIRST SIX MONTHS OF INFANCY | Dr. Shqipe Berisha<br>Valon Gashi<br>Arta Hoxha |
| | | 4 | ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY-BASED MIDWIFERY SERVICES IN ENHANCING MATERNAL AND NEWBORN HEALTH IN RURAL POPULATIONS | Assis. Prof. Dr. Fitore Mehmeti<br>Dr. Liridona Mustafa<br>Erion Shala<br>Teuta Rexhepi |
| | | 5 | THE IMPACT OF CONTINUOUS LABOR SUPPORT PROVIDED BY MIDWIVES ON MATERNAL SATISFACTION AND BIRTH EXPERIENCES IN HOSPITAL SETTINGS | Assis. Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi |
| | | 6 | EXPLORING MIDWIVES' KNOWLEDGE AND PRACTICES REGARDING POSTPARTUM DEPRESSION SCREENING AND EARLY INTERVENTION STRATEGIES | Dr. Yousef Al-Awadi<br>Hessa Al-Shammari<br>Mariam Al-Fahad<br>Salem Al-Otaibi |
| | | 7 | DIGITAL HEALTH TECHNOLOGIES IN MIDWIFERY PRACTICE: OPPORTUNITIES FOR IMPROVING PRENATAL MONITORING AND PATIENT ENGAGEMENT | Dr. Zoltan Horvath<br>Anna Kovacs<br>Peter Toth |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Dr. Zsuzsanna Nagy** | 1 | EVALUATING THE IMPACT OF DIGITAL HEALTH TOOLS ON PRENATAL MONITORING, PATIENT EDUCATION, AND MIDWIFERY PRACTICE DEVELOPMENT | Prof. Dr. Agnes Szabo<br>Assis. Prof. Dr. Peter Horvath |
| | | 2 | THE EFFECT OF PRENATAL EDUCATION PROGRAMS ON MATERNAL HEALTH LITERACY, BIRTH PREPAREDNESS, AND PREGNANCY OUTCOMES AMONG FIRST-TIME MOTHERS | Prof. Dr. Andreea Popa<br>Elena Dumitrescu |
| | | 3 | MIDWIFE-LED CONTINUITY OF CARE AND ITS IMPACT ON MATERNAL SATISFACTION, BREASTFEEDING SUCCESS, AND POSTPARTUM ADAPTATION | Assoc. Prof. Dr. Cristina Ionescu<br>Dr. Mihai Stan<br>Ana Maria Radu |
| | | 4 | ASSESSING THE KNOWLEDGE AND ATTITUDES OF PREGNANT WOMEN TOWARD PRENATAL SCREENING SERVICES IN RAPIDLY DEVELOPING HEALTHCARE SETTINGS | Prof. Dr. Arben Krasniqi |
| | | 5 | THE ROLE OF MIDWIVES IN REDUCING MATERNAL ANXIETY DURING HIGH-RISK PREGNANCIES: A PATIENT-CENTERED APPROACH TO ANTENATAL CARE | Assis. Prof. Dr. Valbona Gashi<br>Dr. Besnik Berisha<br>Arta Hoxha<br>Liridona Kelmendi |
| | | 6 | MATERNAL NUTRITION COUNSELING PRACTICES AND THEIR ASSOCIATION WITH PREGNANCY HEALTH OUTCOMES IN PRIMARY HEALTHCARE SETTINGS | Prof. Dr. Fatima Al-Harbi<br>Noura Al-Shammari |
| | | 7 | EXPLORING THE EFFECTIVENESS OF POSTNATAL SUPPORT SERVICES IN IMPROVING MOTHERS' PSYCHOLOGICAL WELL-BEING AND INFANT CARE PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Mutairi<br>Dr. Sara Al-Enezi<br>Mariam Al-Dosari |
| | | 8 | FACTORS INFLUENCING EXCLUSIVE BREASTFEEDING PRACTICES AMONG NEW MOTHERS: A CROSS-SECTIONAL STUDY OF MATERNAL HEALTH BEHAVIORS | Dr. Zsuzsanna Nagy |
| | | 9 | THE CONTRIBUTION OF MIDWIFE-LED COMMUNITY HEALTH PROGRAMS TO MATERNAL AND NEWBORN HEALTH PROMOTION IN RURAL REGIONS | Assoc. Prof. Dr. Eszter Kovacs<br>Dr. Balazs Toth<br>Judit Varga |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR** | 1 | MOLECULAR MECHANISMS OF OXIDATIVE STRESS RESPONSE IN TROPICAL DISEASES PREVALENT IN ZIMBABWE | Assoc. Prof. Dr. Nyasha Dube<br>Farai Mutasa |
| | | 2 | ENZYME KINETICS AND METABOLIC ADAPTATIONS IN MALNUTRITION-RELATED DISORDERS IN ZIMBABWEAN POPULATIONS | Dr. Elena Petrova<br>Prof. Dr. Goran Trajkov<br>Marija Ilievska |
| | | 3 | PROTEIN EXPRESSION PROFILING IN NEURODEGENERATIVE DISEASES IN NORTH MACEDONIAN CLINICAL STUDIES | Prof. Dr. Tendai Moyo<br>Dr. Rudo Chikore<br>Simba Nyathi |
| | | 4 | BIOCHEMICAL BIOMARKERS IN CARDIOVASCULAR DISEASE RISK ASSESSMENT IN MACEDONIAN ADULTS | Assoc. Prof. Dr. Nikola Dimitrov<br>Ana Stojanovska |
| | | 5 | CHARACTERIZATION OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN MEDITERRANEAN DIET COMPONENTS FROM TUNISIA | Prof. Dr. Hichem Ben Youssef<br>Dr. Amira Gharbi<br>Sami Trabelsi |
| | | 6 | STUDY OF LIPID METABOLISM AND OBESITY-RELATED PATHWAYS IN TUNISIAN POPULATIONS | Assis. Prof. Dr. Salma Karray<br>Youssef Jaziri<br>Dr. Mehdi Bouaziz |
| | | 7 | ENZYMATIC ACTIVITY ANALYSIS IN GRAPE FERMENTATION PROCESSES IN GEORGIAN WINE PRODUCTION | Prof. Dr. Giorgi Kapanadze<br>Nino Beridze |
| | | 8 | MOLECULAR DOCKING STUDIES OF NATURAL COMPOUNDS TARGETING VIRAL PROTEINS IN GEORGIA | Dr. Tamar Lomidze<br>Levan Shengelia<br>Ana Gelashvili |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **13 Haziran / June 13, 2026 / 16:00 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Assoc. Prof. Dr. Neema Kileo** | 1 | ADVANCED INVESTIGATION OF GRAPHENE-REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE AEROSPACE APPLICATIONS | Assoc. Prof. Dr. Dedi Kurniawan<br>Dr. Siti Maharani |
| | | 2 | MICROSTRUCTURAL EVOLUTION AND CORROSION RESISTANCE OF NICKEL-BASED SUPERALLOYS EXPOSED TO EXTREME MARINE ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Budi Santoso<br>Dr. Rina Wulandari<br>Assis. Prof. Dr. Agus Prasetyo |
| | | 3 | SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH NATURAL FIBERS FOR SUSTAINABLE ENGINEERING APPLICATIONS | Prof. Dr. Nguyen Van Hung<br>Dr. Le Thi Hoa<br>Tran Minh Duc |
| | | 4 | THERMOMECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH-ENTROPY ALLOYS UNDER CYCLIC LOADING CONDITIONS AND ELEVATED TEMPERATURES | Prof. Dr. Joseph Mwakipesile<br>Dr. Asha Mtemvu<br>Peter Nyerere |
| | | 5 | DEVELOPMENT OF LOW-COST CERAMIC MEMBRANE MATERIALS FOR INDUSTRIAL WATER PURIFICATION AND FILTRATION SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Pham Quang Huy<br>Dr. Vo Thanh Nam |
| | | 6 | EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF BAMBOO-REINFORCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE | Assoc. Prof. Dr. Neema Kileo<br>Dr. Hassan Mgaya |
| | | 7 | NANOSTRUCTURED COATINGS FOR ENHANCED WEAR RESISTANCE AND SURFACE PROTECTION IN ADVANCED MANUFACTURING SYSTEMS | Prof. Dr. Lim Wei Kiat<br>Dr. Tan Jia Hui<br>Assoc. Prof. Dr. Melissa Goh<br>Adrian Chua |
| | | 8 | ADDITIVE MANUFACTURING OF TITANIUM ALLOYS: PROCESS OPTIMIZATION, MICROSTRUCTURAL CONTROL, AND MECHANICAL PERFORMANCE ASSESSMENT | Dr. Benjamin Ong<br>Prof. Dr. Cheryl Tan |
| | | 9 | MACHINE LEARNING-ASSISTED DESIGN OF NEXT-GENERATION SMART MATERIALS FOR ENERGY STORAGE AND ELECTRONIC APPLICATIONS | Assoc. Prof. Dr. Kelvin Lee<br>Dr. Sophia Ng<br>Assis. Prof. Dr. Marcus Teo<br>Rachel Lim |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Dr. Ferhat GÖÇER** | 1 | TEKNOLOJİYE KARŞI TOPLUM SAVUNUSU: "YAPAY ZEKÂYA DİRENMEK" | Dr. Ferhat GÖÇER |
| | | 2 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE-GENERATED ALTERNATIVE FATE SCENARIOS AND COLLECTIVE GRIEF: THE CASE OF CEZMİ KALORİFER | Dr. Nurcan EDE |
| | | 3 | AVUSTURYA ÖZGÜRLÜK PARTİSİ (FPÖ) VE ZAFER PARTİSİ'NİN GÖÇ SÖYLEMLERİNDEKİ TEMATİK BENZERLİKLERİN İNCELENMESİ | Nazan ŞANLI<br>Dr. Yakup TOKTAY |
| | | 4 | COVİD-19 SÜRECİNDE TIK ODAKLI GAZETECİLİK: TRT VE NTV HABERLERİNİN İÇERİK ANALİZİ | Ömer Mahmut KANŞİRAY |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Prof. Dr. İsmail ÇELİK** | 1 | YABANCI UNSURLU TEK SATICILIK SÖZLEŞMESİNE UYGULANACAK HUKUK | Çağla Nur KARAHAN<br>Dr.Öğr.Üyesi Barış MESCİ |
| | | 2 | TÜZEL KİŞİLİĞİ OLMAYAN VERİ SORUMLULARI HAKKINDA DEĞERLENDİRME | Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇOĞALAN |
| | | 3 | THE PROHIBITION ON THE USE OF FORCE IN THE DECISIONS OF THE INTERNATIONAL COURT OF JUSTICE | Dr.Öğr. Üyesi Seher ÇAKAN |
| | | 4 | LIABILITY OF THE ADMINISTRATION FOR NATURAL DISASTERS WITHIN THE FRAMEWORK OF STRICT LIABILITY | İrem ÜNAL YALÇIN |
| | | 5 | SALDIRILARA KARŞI ÖNCEDEN KURULAN ÖNLEYİCİ VE KORUYUCU MEKANİZMALARIN MEŞRU SAVUNMA KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ | Doç. Dr. Ali Tanju SARIGÜL<br>Mahmut DEMİR |
| | | 6 | VERGİ İDARESİNİN BİLGİ TOPLAMA YETKİSİNİN SINIRI: “HUKUKİ GÜVENLİK” VE “ÖZEL HAYATIN GİZLİLİĞİ” DENGESİ | Av. Emre DEMİRBAŞ<br>Dr. Öğretim Üyesi Veysel Görücü |
| | | 7 | TAŞIYICI ANNELİK SÖZLEŞMELERİNDE KADININ BEDENSEL ÖZERKLİĞİ:<br>SÖZLEŞMESEL ÜKÜMLÜLÜKLERİN HUKUKİ SINIRLARI | Yüksek Lisans Öğrencisi Zhala AGHAYEVA |
| | | 8 | 17. YÜZYIL BAB MAHKEMESİNDE KADINLARIN TARAF OLDUĞU DAVALAR | Yüksek Lisans Melis KALENDER<br>Doç. Dr. Saliha OKUR GÜMRÜKÇÜOĞLU |
| | | 9 | YÜKSEKÖĞRETİM KURUMLARINDA YAŞANAN İDARİ DAVALARDAN KAYNAKLANAN SORUNLARIN TESPİTİ VE DİJİTALLEŞTİRİLMESİ | Meryem Ecenur ÇELİK<br>Prof. Dr. İsmail ÇELİK |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Fatma Ünal** | 1 | MESLEKİ ERDEM VE DEĞER KAZANIMINDA KURUCU METİNLER: KUTADGU BİLİG ÖRNEĞİ | Dr. Musa AYTEKİN |
| | | 2 | SINIF ÖĞRETMENLERİNİN SOSYAL BİLGİLER DERSİNDE ÖĞRETİM YÖNTEM VE TEKNİKLERİNE YÖNELİK TUTUMLARININ İNCELENMESİ | Doç. Dr. Muzaffer ÇATAK |
| | | 3 | ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN MATEMATİK TUTUMLARI İLE MATEMATİK OKURYAZARLIĞI ÖZ YETERLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN VE YORDAYICI ETKİSİNİN İNCELENMESİ | Fatma İrem KULAK<br>Prof. Dr. Filiz Tuba DİKKARTIN ÖVEZ<br>Prof. Dr. Devrim ÜZEL |
| | | 4 | INVESTIGATION OF THE PSYCHOMETRIC PROPERTIES OF THE “OUR ENVIRONMENT IS CHANGING” ACHIEVEMENT TEST ACCORDING TO CLASSICAL TEST AND ITEM RESPONSE THEORIES | Master’s Student Ferdi AKIN<br>Asst. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL |
| | | 5 | OKUL YÖNETİCİ GÖRÜŞLERİNE GÖRE POZİTİF ÖĞRETMENİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ | Şule BELKIS |
| | | 6 | FEN EĞİTİMİNDE FARKLILAŞTIRILMIŞ ÖĞRETİMİN FEN DERSİNE YÖNELİK MOTİVASYONA ETKİSİ | Mihrimah Örme<br>Prof. Dr. Halil İbrahim Yıldırım |
| | | 7 | TALIS 2024: ÖĞRETMEN ÖZ YETERLİLİĞİNİ YORDAYAN FAKTÖRLER | Yüksek Lisans Öğrencisi Fatma SÜMBÜL<br>Doç. Dr. BETÜL ALATLI |
| | | 8 | INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN TEACHERS’ PERCEPTIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THEIR PROFESSIONAL BURNOUT: A MIXED-METHODS STUDY | Ferdi Üçer<br>Doç.Dr. Nuh Yavuzalp |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Assoc. Prof. Dr. Gülden ASAN** | 1 | THE IMPORTANCE OF FEASIBILITY REPORTS IN NATURAL DISASTERS AND DISASTER MANAGEMENT IN TURKEY: THE CASE OF ÇORUM PROVINCE | Ahmet KALINSAZLIOĞLU<br>Assoc. Prof. Dr. Gülden ASAN |
| | | 2 | THE IMPACT OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) IN SEARCH AND RESCUE OPERATIONS | Sezer KERMEN<br>Doç. Dr. Gülden ASAN |
| | | 3 | ASSESSMENT OF CBRN KNOWLEDGE AND AWARENESS LEVELS AMONG DIFFERENT PARTICIPANT GROUPS | Yusra GÜL<br>Assoc. Prof. Dr. Gülden ASAN |
| | | 4 | THE ROLE AND POTENTIAL CONTRIBUTIONS OF NEXT-GENERATION TECHNOLOGIES IN SEARCH AND RESCUE OPERATIONS | Sevval HISIROGLU<br>Assoc. Prof Dr. Gulden ASAN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Psikolog Esra EFE** | 1 | CİNSİYET ÖZCÜLÜĞÜ İLE KADINA YÖNELİK PARTNER ŞİDDETİ MİTLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİDE ADİL DÜNYA İNANCININ ARACI ROLÜ | Nurgül ÇELİKKOLLU<br>Dr. Öğr. Üyesi Burçak SÖNMEZ |
| | | 2 | C KÜMESİ KİŞİLİK İNANÇLARI, ALEKSİTİMİ VE YAŞANTISAL KAÇINMA ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğçe BOZKURT<br>Dr. Öğretim Üyesi Nilgün Onnar |
| | | 3 | RESPONSE TO INTERVENTION (RTI) AND IQ–ACHIEVEMENT DISCREPANCY MODELS IN THE IDENTIFICATION OF SPECIFIC LEARNING DISABILITIES: A COMPARATIVE SYSTEMATIC REVIEW | Psychological Counseling and Guidance Derya KAYA<br>Associate Professor Fatih KOCA<br>Master's Student Ümmühan Fatma Kaya |
| | | 4 | DEĞERLER ve MODERN PSİKOLOJİK YAKLAŞIMLAR | Abdullah UYSAL<br>Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ<br>Doç. Dr. Tolga SEKİ |
| | | 5 | DEĞERLER, KİMLİK ve BENLİK KURGUSU | Abdullah UYSAL<br>Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ<br>Doç. Dr. Tolga SEKİ |
| | | 6 | REHBERLİK VE PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN EKOLOJİK YAS VE ÇEVREYE YÖNELİK TUTUMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Doç. Dr. Cevat EKER<br>Fatma Gül ÖZMEN |
| | | 7 | OLUMSUZ ÇOCUKLUK DENEYİMLERİ İLE PSİKOLOJİK SAĞLIK ARASINDAKİ İLİŞKİDE SOSYAL İLİŞKİ MEMNUNİYETİNİN ARACI ROLÜ | Psikolog Esra EFE |
| | | 8 | THE MODERATING ROLE OF GENDER IN THE EFFECT OF PERCEIVED PARENTING ATTITUDES ON ROMANTIC RELATIONSHIP SATISFACTION | Zeynep Sezen ELMAS<br>Prof.Dr. Fatma Yeşim CAN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Assoc. Prof. Dr. Aytunç AYDIN** | 1 | ANKARA İLİ BEYPAZARI İLÇESİ KARAŞAR MAHALLESİ CEM ERKÂNLARINDA İCRA EDİLEN DÜVAZ İMAM VE MİRACLAMANIN MÜZİKAL ANALİZİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Osman Zahid ERTÜRK<br>Doç. Dr. Serbülend ARPA |
| | | 2 | A STUDY ON THE TRADITION OF LEBDEĞMEZ ATIŞMA: THE CASE OF MURAT ÇOBANOĞLU AND ŞEREF TAŞLIOVA | Assoc. Prof. Dr. Aytunç AYDIN |
| | | 3 | TÜRK MÜZİĞİ SES EĞİTİMİ ALANINDA YAPILMIŞ LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ | Dr. Öğr. Üyesi Tuğba SAHİL |
| | | 4 | CHORD TONE TEMELLİ DOĞAÇLAMA YAKLAŞIMI VE PERFORMANSI | Öğrenci Batuhan ŞALLIEL<br>Dr. Öğr. Üyesi Şebnem UŞEN |
| | | 5 | THE TRADITION OF “COMPLETION” IN CLASSICAL TURKISH MUSIC: THE CASE OF MEVLEVI AYINS AND CLASSICAL TAKIM | Dr. Öğr. Üyesi Özlem ELİTAŞ |
| | | 6 | SES EĞİTİMİNDE KULLANILAN KLASİK GİTAR EŞLİKLİ TÜRKÜ DÜZENLEMESİ KİTAPLARININ MAKÂMSAL YÖNDEN İNCELENMESİ | Akın MUTLU<br>Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ERTEK BABAÇ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br><br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Arş. Gör. Merve Nur ATALAR** | 1 | | |
| | | 2 | ETİK LİDERLİK ALGISININ ÇALIŞAN MOTİVASYONU VE KURUMSAL KÜLTÜR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: AVM ÇALIŞANLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA | Yüksek Lisans Öğrencisi Esra CAMGÖZ<br>Prof. Dr. Ahmet Sait ÖZKUL |
| | | 3 | THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON EMPLOYEES' LEVEL OF WORK ALIENATION: A REVIEW FOCUSED ON THE RESEARCH LITERATURE | MSc Duygu Bahar YILMAZ<br>Assoc.Prof. Dr. İbrahim YIKILMAZ |
| | | 4 | THE EFFECT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON ORGANIZATIONAL COMMITMENT LEVELS: A REVIEW FOCUSED ON THE RESEARCH LITERATURE | MSc Şeyma AYDEMİR<br>Assoc.Prof. Dr. İbrahim YIKILMAZ |
| | | 5 | VİCDANİ LİDERLİĞİN PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: KAMU BANKASI ÇALIŞANLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA | Doktora Öğrencisi, Sena DEMİR |
| | | 6 | HUMAN-IN-THE-LOOP OR HUMAN-IN-THE-ILLUSION: ORGANISATIONAL SCALE, ETHICS, AND THE LIMITS OF AI GOVERNANCE IN RECRUITMENT | Asst. Prof. Dr. Merve Vural Allaham<br>Esma Nur Özer |
| | | 7 | TÜRKİYE'DEKİ ÜNİVERSİTELERİNİN TIMES HIGHER EDUCATION (THE) ETKİ SIRALAMASINDAKİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | Arş. Gör. Merve Nur ATALAR |
| | | 8 | BILINGUAL COHERENCE AS A META-SIGNAL IN SUSTAINABILITY COMMUNICATION ON TURKISH TEXTILE EXPORTERS' CORPORATE WEBSITES | Mevlüde Betül YILMAZ<br>Asst. Prof. Fulya ÖZDEMİR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Doç. Dr. Şeyma YAŞAR** | 1 | MILK-RUN OPTİMİZASYONU PROBLEMİ İÇİN GENETİK ALGORİTMA TABANLI BİR YAKLAŞIM | Doç.Dr.Şahin İNANÇ<br>Dr.Onur Mesut ŞENARAS<br>Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS |
| | | 2 | AGV SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ TAHMİNİ VE OPTİMİZASYONU | Dr.Onur Mesut ŞENARAS<br>Doç.Dr.Şahin İNANÇ<br>Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS |
| | | 3 | MACHINE LEARNING-BASED CLASSIFICATION OF PROSTATE CANCER USING MIRNA EXPRESSION PROFILES: A SHAP-DRIVEN EXPLAINABLE APPROACH | Doç. Dr. Şeyma YAŞAR |
| | | 4 | A NOVEL RULE-BASED CLASSIFICATION MODEL FOR PREDICTING PREGNANCY RISK LEVELS | Doç. Dr. Şeyma YAŞAR |
| | | 5 | EMOTION ANALYSIS BASED ON VIDEO GAME CHARACTERS' FACIAL EXPRESSIONS | Çiğdem ERŞEPÇİLER<br>Prof. Dr. Celal Öztürk |
| | | 6 | GROUP-BASED PERFORMANCE AND EXPLAİNABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACH IN STUDENT SUCCESS PREDICTİON USING MACHİNE LEARNING | Dr. Öğr. Üyesi Erol KINA |
| | | 7 | GİYİLEBİLİR KANSER ERKEN TANI SİSTEMİ: STANDART FANTOM İLE TEMASSIZ SENSÖR SİSTEMİ TASARIMI | İdil COLLINS<br>Görkem Adar<br>Doç. Dr. Yavuz ÖZTÜRK |
| | | 8 | RAYSTRIVE: GÖREV YÖNETİMİNDE OYUNLAŞTIRMA TEMELLİ BİR MOBİL UYGULAMA | Öğr. Gör. Dr. Şenay KOCAKOYUN AYDOĞAN<br>Taha Osman REİS |
| | | 9 | GEMİNİ DESTEKLİ GÖRÜNTÜ ANALİZİ KULLANILARAK MAKRO BESİN DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI: MAKROAI MOBİL UYGULAMASI | Öğr. Gör. Dr. Şenay KOCAKOYUN AYDOĞAN<br>Abdullah CERRAH |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Asst. Prof. Burhan BAYHAN** | 1 | OTOMOTİV YAKIT BORULARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİMER MALZEME SEÇİMİ: MALİYET, KARBON AYAK İZİ VE YAKIT BUHARI GEÇİRGENLİĞİ KRİTERLERİ ODAKLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI | Erkan Uğur SARIKAYA<br>Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza ADALI |
| | | 2 | PANEL HAVA FİLTRESİ ÜRETİMİNDE POLİÜRETAN ÇAPAK PROBLEMLERİNE BULANIK FMEA ANALİZİ VE TRIZ YAKLAŞIMIYLA ÇÖZÜM ÖNERİLERİ | Taylan ÖĞÜT<br>Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza ADALI |
| | | 3 | A MATHEMATICAL MODEL PROPOSAL FOR THE TWO-DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEM IN LASER CUTTING MACHINES: A CASE STUDY | Dr. Öğr. Üye. Şebnem DEMİRKOL AKYOL |
| | | 4 | PRODUCT IMPROVEMENT APPLICATION IN AN INTERNATIONAL HOME APPLIANCE MANUFACTURING COMPANY | M.Sc. Student Çağla KESTANE<br>Prof. Dr. HASAN SELİM |
| | | 5 | APPLICATION-ORIENTED SELECTION OF BUILDING ENERGY SIMULATION SOFTWARE: A BIBLIOMETRIC ASSESSMENT AND DECISION FRAMEWORK | Asst. Prof. Burhan BAYHAN |
| | | 6 | KUMAŞ BOYAMA MAKİNELERİNDE KENDİ KENDİNİ OTOMATİK TEMİZLEYEBİLEN FİLTRE GELİŞTİRİLMESİ | Ömer CEBE<br>Doç. Dr. ONUR YEMENİCİ |
| | | 7 | EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN NANODOLGU TAKVİYELİ TPMS KAFES YAPILARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU | Ertuğrul BEKARLAR<br>Dr. Öğr. Üyesi Mahmut BİNGÖL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Lecturer Betül UNTUÇ** | 1 | STATIC BEHAVIOR AND SELF-WEIGHT SENSITIVITY OF HOWE, PRATT, AND WARREN TRUSS BRIDGES AS A FUNCTION OF GEOMETRIC RATIO | Assistant Professor, Yusuf Ziya YÜKSEL<br>Muhammed Fadhil NAUFAL |
| | | 2 | FARKLI ÜST YAPI YÜK BAĞLANTI KABULLERİNİN RÜZGÂR TÜRBİNİ TEMELLERİNDEKİ DEFORMASYON DAVRANIŞINA ETKİSİ: BİR ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ÇALIŞMASI | Prof. Dr. Sıddıka Nilay KESKİN<br>H. Eylül ERTÜRK |
| | | 3 | ARCHITECTURAL STRUCTURE AND RESTORATION STATUS OF THE AMMAN MAIN STATION OF THE HEJAZ RAILWAY LINE IN JORDAN | Doç.Dr. Ahmet GÖKDEMİR<br>İbrahim ELVEREN |
| | | 4 | OSMANLI DEMİRYOLU MİMARİSİ BAĞLAMINDA TABUK HİCAZ DEMİRYOLU İSTASYONU'NUN İNCELENMESİ | Doç. Dr. Ahmet GÖKDEMİR<br>Doktora Öğrencisi Fatımah Mohammed Adıl ADIL |
| | | 5 | CONSOLIDATION BEHAVIOUR OF POLYPROPYLENE FIBRE-REINFORCED INTERMEDIATE-PLASTICITY CLAY | Dr. Öğr. Üyesi Canan TURAN |
| | | 6 | ÇİMENTO HAMMADDE HAZIRLIK PROSESLERİNDE KIRICI SEÇİMİNİN AŞINMA MALİYETLERİ VE İŞLETME ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ | Ar-Ge Mühendisi Pınar ALBAYRAK<br>Doç. Dr. Burak TANYERİ<br>Arş. Gör. Cevher Kürşat MACİT |
| | | 7 | ANALYSIS OF MAXIMUM DAILY PRECIPITATION IN SAKARYA PROVINCE AND DETERMINATION OF DESIGN RAINFALLS | Gamze TUNCER EVCIL<br>Emin Can ERGIVANC<br>Osman SONMEZ |
| | | 8 | COMPARATIVE ANALYSIS OF THE THERMAL AND ACOUSTIC PERFORMANCE OF GLAZING UNITS IN WINDOW SYSTEMS | Lecturer Betül UNTUÇ |
| | | 9 | NUMERICAL ANALYSIS OF DIAPHRAGM WALL BEHAVIOR UNDER DIFFERENT SOIL CONDİTİONS IN TOP-DOWN CONSTRUCTION SYSTEMS | İnşaat Mühendisi Muhammet Enes BAŞ<br>Dr. Öğr. Üyesi Gözde SEZGİN TUNÇAY |
| | | 10 | PERFORMANCE EVALUATION OF THE DEEP SOIL MIXING (DSM) METHOD UNDER DIFFERENT SOIL CONDITIONS: A CASE STUDY | İnşaat Mühendisi Muhammed AYDIN<br>Dr. Öğr. Üyesi Gözde SEZGİN TUNÇAY |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 11** | **Doç.Dr. Tacettin ERTUĞRUL** | 1 | 1999 MARMARA DEPREMLERİNDEN GÜNÜMÜZE OLASI İSTANBUL DEPREMİNE İLİŞKİN EĞİTİM ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ | Cihat Utku BİLGİÇ<br>Prof. Dr. Mustafa SAĞDIÇ |
| | | 2 | KAYIP VERİ BAĞLAMINDA BAYESYEN RASCH VE ÖRTÜK UZAY MADDE TEPKİ MODELLERİNE DAYALI YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ BİR ANALİZ ARAYÜZÜ PROTOTİPİ GELİŞTİRME ÖRNEĞİ | Fatma Gül UZUNER<br>Prof. Dr. Tuncay ÖĞRETMEN |
| | | 3 | ÇOCUK DERGİLERİNDE FİNANSAL OKURYAZARLIK BECERİSİNİN İNCELENMESİ: AİLE ÇOCUK DERGİSİ ÖRNEĞİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Sevtap Şahin<br>Doç. Dr. Gökhan Eşel |
| | | 4 | ÖĞRETMEN ADAYLARININ ÜRETKEN YAPAY ZEKÂNIN ETİK KULLANIMINA YÖNELİK GÖRÜŞLERİ İLE DEĞER ÖZ FARKINDALIKLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Öğr. Gör. Serap GÜÇLÜER DİNDAR<br>Prof. Dr. Oktay Akbaş |
| | | 5 | YABANCI DİL OLARAK TÜRKÇE ÖĞRETİMİNDE ÇOK DİLLİ KELİME DESTEĞİNİN KELİME ÖĞRENMEYE ETKİSİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Merve GÜLYOL<br>Dr. Öğr. Üyesi M. Özgün HARMANKAYA |
| | | 6 | KAPSAYICI EĞİTİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM ÜZERİNE 2000-2026 YILLARI ARASINDA YAPILAN YAYINLARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ | Ögr. Gör. Dr. Açelya ÖZER |
| | | 7 | YAPAY ZEKA ÇAĞINDA DÜŞÜNMENİN VE EĞİTİMİN KRİZİ | Doç.Dr. Tacettin ERTUĞRUL |
| | | 8 | YAPAY ZEKA VE ADALET İLİŞKİSİNİN ZEMİNİ ÜZERİNE | Doç.Dr. Tacettin ERTUĞRUL |
| | | 9 | AN EXAMINATION OF STUDIES ON MUSIC EDUCATION IN SCIENCE AND ART CENTERS (BİLSEM): A SYSTEMATIC REVIEW (2007–2026) | Özgür Keser<br>Dr. Seda Eden Ünlü |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assoc. Prof. Dr. Yasin Mohammed** | 1 | ADVANCES IN RUMINANT NUTRITION AND FEED EFFICIENCY STRATEGIES FOR SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION IN ARID REGIONS | Prof. Dr. Ahmed Elbashir<br>Dr. Salma Abdalla |
| | | 2 | VETERINARY EPIDEMIOLOGY AND CONTROL MEASURES OF ZOONOTIC DISEASES IN CAMEL POPULATIONS ACROSS SUDAN | Assoc. Prof. Dr. Yasin Mohammed |
| | | 3 | MOLECULAR DIAGNOSIS AND VACCINE DEVELOPMENT STRATEGIES FOR AVIAN INFLUENZA IN SOUTH EAST ASIA POULTRY FARMS | Dr. Amina Hassan<br>Omar Farouk Prof. Dr.<br>Maria Santos<br>Dr. Jose Reyes |
| | | 4 | ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN COMPANION ANIMALS AND CLINICAL INTERVENTIONS IN URBAN VETERINARY PRACTICES | Assoc. Prof. Dr. Leandro Cruz<br>Dr. Anna Lopez<br>Miguel Bautista |
| | | 5 | COMPARATIVE PATHOLOGY OF ENDEMIC LIVESTOCK DISEASES IN THE CAUCASUS REGION AND CONTROL PROGRAM EFFECTIVENESS | Prof. Dr. Giorgi Kapanadze<br>Dr. Nino Beridze |
| | | 6 | VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES IN RURAL LIVESTOCK MANAGEMENT AND BRUCELLOSIS ERADICATION PROGRAMS | Assoc. Prof. Dr. Tamar Mchedlidze<br>Dr. Irakli Shengelia<br>Giorgi Mikadze |
| | | 7 | ADVANCED SURGICAL TECHNIQUES IN EQUINE ORTHOPEDICS AND POSTOPERATIVE REHABILITATION PROTOCOLS | Prof. Dr. Balazs Kovacs<br>Dr. Eszter Nagy<br>Andras Toth |
| | | 8 | GENETIC IMPROVEMENT PROGRAMS FOR DAIRY CATTLE PRODUCTIVITY AND BREED SELECTION STRATEGIES IN CENTRAL EUROPE | Assoc. Prof. Dr. Peter Horvath<br>Dr. Krisztina Farkas |
| | | 9 | WILDLIFE DISEASE SURVEILLANCE AND ECOSYSTEM HEALTH MONITORING IN HUNGARIAN NATURAL RESERVES | Dr. Bence Molnar<br>Prof. Dr. Zoltan Varga<br>Assoc. Prof. Dr. Eva Szabo |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Dr. Sofia Delgado** | 1 | SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT STRATEGIES FOR CARBON SEQUESTRATION IN TROPICAL ECOSYSTEMS | Prof. Dr. Liang Wei<br>Dr. Junhao Zhang<br>Assoc. Prof. Dr. Meilin Zhou |
| | | 2 | REMOTE SENSING APPLICATIONS IN MONITORING DEFORESTATION AND LAND USE CHANGE IN MOUNTAINOUS REGIONS | Dr. Yichen Liu<br>Assoc. Prof. Dr. Han Chen |
| | | 3 | IMPACT OF INDUSTRIAL POLLUTION ON RIVER ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY LOSS IN SOUTH ASIA | Prof. Dr. Rahman Siddique<br>Dr. Nabila Akhtar<br>Imran Hossain |
| | | 4 | CLIMATE RESILIENT FORESTRY PRACTICES FOR FLOOD PRONE AGRICULTURAL LANDSCAPES IN BANGLADESH | Assoc. Prof. Dr. Farzana Karim<br>Dr. Saiful Islam |
| | | 5 | WATER RESOURCE MANAGEMENT AND GROUNDWATER CONTAMINATION IN COASTAL LEBANON | Prof. Dr. Hassan Al-Masri<br>Dr. Rami Haddad |
| | | 6 | ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF URBAN EXPANSION ON FOREST FRAGMENTS IN MOUNTAINOUS LEBANESE REGIONS | Dr. Lina Khoury<br>Assoc. Prof. Dr. Georges Nassar |
| | | 7 | CARBON EMISSION MITIGATION STRATEGIES THROUGH REFORESTATION PROGRAMS IN CUBA | Prof. Dr. Alejandro Morales<br>Dr. Camila Reyes<br>Assoc. Prof. Dr. Javier Ortega |
| | | 8 | BIODIVERSITY CONSERVATION AND ECOSYSTEM RESTORATION IN DEFORESTED AREAS OF EASTERN CUBA | Dr. Sofia Delgado |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Dr. Lin Hao** | 1 | DYNAMIC PLATE TECTONICS AND SEISMIC HAZARD EVOLUTION ALONG THE TIBETAN PLATEAU MARGINS | Dr. Lin Hao |
| | | 2 | GEOCHEMICAL SIGNATURES OF VOLCANIC ROCK FORMATION IN EAST ASIAN SUBDUCTION ZONES | Assoc. Prof. Dr. Ming Zhao<br>Dr. Rui Chen |
| | | 3 | SEDIMENTARY BASIN DEVELOPMENT AND HYDROCARBON POTENTIAL IN THE SOUTH CHINA SEA REGION | Prof. Dr. Jianhui Li<br>Dr. Xiaolong Wang<br>Liang Feng<br>Chen Yuxiang<br>Prof. Dr. Wei Zhang |
| | | 4 | TECTONIC EVOLUTION AND STRATIGRAPHIC SEQUENCES OF THE BENGAL BASIN DURING THE CENOZOIC ERA | Assoc. Prof. Dr. Farhana Islam<br>Dr. Md. Karim Uddin |
| | | 5 | RIVER DYNAMICS AND LANDSCAPE EVOLUTION IN THE PADMA-GANGES DELTA SYSTEM | Dr. Nasir Hossain<br>Prof. Dr. Shamsul Alam |
| | | 6 | PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS USING MARINE SEDIMENT CORES FROM THE BAY OF BENGAL | Assoc. Prof. Dr. Ayesha Rahman<br>Dr. Tanvir Hasan<br>Sabrina Noor |
| | | 7 | SEISMOTECTONIC STRUCTURE AND FAULT ACTIVITY ALONG THE LEBANESE MOUNTAIN BELT | Prof. Dr. Karim Haddad<br>Dr. Nadine Saliba |
| | | 8 | GROUNDWATER CONTAMINATION AND KARST SYSTEM DEVELOPMENT IN COASTAL LEBANON | Assoc. Prof. Dr. Rami Khoury |
| | | 9 | VOLCANIC ARC EVOLUTION AND MINERAL DEPOSITS IN THE CARIBBEAN TECTONIC SYSTEM | Dr. Mona Daher Prof. Dr. Luis Fernando Ortega<br>Dr. Maria Elena Cruz<br>Carlos Rivera |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Assoc. Prof. Dr. Amit Verma** | 1 | EARTHQUAKE-RESILIENT DESIGN STRATEGIES FOR HIGH-RISE CONCRETE STRUCTURES IN URBAN SEISMIC ZONES | Prof. Dr. Arif Santosa<br>Dr. Maya Lestari<br>Rizky Pratama<br>Assoc. Prof. Dr. Budi Wijaya |
| | | 2 | ADVANCED ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEHAVIOR UNDER CYCLIC LOADING AND FATIGUE CONDITIONS | Dr. Siti Anggraini |
| | | 3 | SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SMART INFRASTRUCTURE SYSTEMS USING SENSOR-BASED STRUCTURAL HEALTH MONITORING | Prof. Dr. Rajesh Kumar<br>Dr. Ananya Sharma<br>Vikram Patel |
| | | 4 | INNOVATIONS IN HIGH-STRENGTH COMPOSITE MATERIALS FOR BRIDGE ENGINEERING AND LONG-SPAN STRUCTURES | Assoc. Prof. Dr. Amit Verma<br>Dr. Neha Singh |
| | | 5 | SOIL-STRUCTURE INTERACTION EFFECTS ON FOUNDATION PERFORMANCE IN EXPANSIVE SOIL REGIONS OF IRAQ | Prof. Dr. Ali Hassan Al-Karim<br>Dr. Zainab Mohammed Hussein Fadel |
| | | 6 | HYDRAULIC MODELING AND FLOOD RISK MITIGATION STRATEGIES FOR URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN BAGHDAD | Assoc. Prof. Dr. Mustafa Qasim<br>Dr. Layla Ahmed |
| | | 7 | SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR HISTORICAL MASONRY STRUCTURES IN NORTHERN IRAN | Prof. Dr. Reza Mohammadi<br>Dr. Sara Ebrahimi<br>Dr. Hossein Kazemi |
| | | 8 | EARTHQUAKE-RESILIENT DESIGN STRATEGIES FOR HIGH-RISE CONCRETE STRUCTURES IN URBAN SEISMIC ZONES | Prof. Dr. Arif Santosa<br>Dr. Maya Lestari<br>Rizky Pratama<br>Assoc. Prof. Dr. Budi Wijaya |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Dr. Zainab Khalid** | 1 | SUSTAINABLE AQUACULTURE SYSTEMS AND INTEGRATED COASTAL RESOURCE MANAGEMENT IN INDONESIA'S URBAN-COASTAL ZONES | Dr. Bimo Santosa<br>Dr. Rika Melani |
| | | 2 | IMPACT OF MICROPLASTIC POLLUTION ON MARINE FOOD CHAINS AND FISH HEALTH IN INDONESIAN WATERS | Prof. Dr. Kossi Mensah<br>Dr. Afi Dela |
| | | 3 | POST-HARVEST TECHNOLOGIES AND COLD CHAIN OPTIMIZATION IN SMALL-SCALE FISHERIES OF WEST AFRICA | Prof. Dr. Aditya Wiratama<br>Dr. Naufal Prabowo<br>Sari Lestari |
| | | 4 | EVALUATION OF ARTISANAL FISHING PRACTICES AND SUSTAINABILITY CHALLENGES IN TOGOLESE COASTAL COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Komlan Agbo<br>Dr. Mireille Koudjo<br>Jean-Paul Tchalla |
| | | 5 | CLIMATE CHANGE IMPACTS ON HIGH-ALTITUDE AQUATIC ECOSYSTEMS AND FISH BIODIVERSITY IN THE BOLIVIAN ANDES | Assoc. Prof. Dr. Jorge Mamani<br>Dr. Lucia Rojas<br>Pedro Salinas |
| | | 6 | DEVELOPMENT OF LOW-COST AQUACULTURE FEED FORMULATIONS USING LOCAL BIOMASS RESOURCES IN BOLIVIA | Prof. Dr. Carlos Fernández<br>Dr. Mariana Quispe |
| | | 7 | FRESHWATER FISH FARMING IN RIVER INDUS BASIN: PRODUCTIVITY, DISEASE CONTROL AND ECONOMIC VIABILITY | Prof. Dr. Imran Qureshi<br>Dr. Ayesha Malik |
| | | 8 | GENETIC IMPROVEMENT AND BREEDING PROGRAMS FOR TILAPIA AND CATFISH SPECIES IN PAKISTAN AQUACULTURE SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Saad Hussain<br>Dr. Bilal Ahmed<br>Farah Noor<br>Prof. Dr. Hamid Rehman<br>Assoc. Prof. Dr. Noman Shah |
| | | 9 | WATER QUALITY MANAGEMENT AND SUSTAINABLE FEEDING PRACTICES IN INTENSIVE SHRIMP FARMING SYSTEMS OF PAKISTAN | Dr. Zainab Khalid |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Assoc. Prof. Dr. Diego Alvarez<br>Dr. Maria Fernanda Silva** | 1 | DEEP REINFORCEMENT LEARNING ARCHITECTURES FOR AUTONOMOUS SYSTEMS IN COMPLEX DYNAMIC ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Rizky Pratama<br>Dr. Dimas Wicaksono<br>Nadia Putri |
| | | 2 | EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS FOR HIGH-STAKES DECISION MAKING IN SMART CITY APPLICATIONS | Assoc. Prof. Dr. Aditya Nugraha<br>Dr. Lestari Anggraini |
| | | 3 | NEURAL NETWORK OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR EDGE COMPUTING AND LOW-LATENCY AI SYSTEMS | Prof. Dr. Koffi Mensah<br>Dr. Ama Koudou<br>Issa Traore |
| | | 4 | AI-DRIVEN CYBERSECURITY FRAMEWORKS FOR REAL-TIME THREAT DETECTION AND PREVENTION SYSTEMS | Dr. Yao Kossi<br>Assoc. Prof. Dr. Komlan Agbo |
| | | 5 | MULTIMODAL MACHINE LEARNING MODELS FOR MEDICAL DIAGNOSTICS AND HEALTHCARE AUTOMATION SYSTEMS | Prof. Dr. Carlos Mamani<br>Dr. Lucia Quispe<br>Fernando Rojas |
| | | 6 | GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS FOR HIGH-FIDELITY SYNTHETIC DATA CREATION AND INDUSTRIAL SIMULATION | Assoc. Prof. Dr. Diego Alvarez<br>Dr. Maria Fernanda Silva<br>Juan Perez |
| | | 7 | FEDERATED LEARNING SYSTEMS FOR PRIVACY-PRESERVING DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS | Dr. Ahsan Qureshi |
| | | 8 | ADVANCED NATURAL LANGUAGE PROCESSING MODELS FOR LOW-RESOURCE LANGUAGE TRANSLATION AND SEMANTIC UNDERSTANDING | Assoc. Prof. Dr. Bilal Ahmed<br>Dr. Hina Malik |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Assoc. Prof. Dr. Dedi Saputra** | 1 | ADVANCED FPGA-BASED ARCHITECTURES FOR REAL-TIME SIGNAL PROCESSING IN NEXT-GENERATION WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS | Prof. Dr. Budi Hartono<br>Dr. Rina Permatasari<br>Agus Setiawan |
| | | 2 | ENERGY-EFFICIENT DESIGN OF INTERNET OF THINGS SENSOR NETWORKS FOR SMART CITY INFRASTRUCTURE AND ENVIRONMENTAL MONITORING | Assoc. Prof. Dr. Dedi Saputra<br>Dr. Maya Lestari |
| | | 3 | DEVELOPMENT OF LOW-POWER EMBEDDED ELECTRONIC SYSTEMS FOR AUTONOMOUS AGRICULTURAL MONITORING APPLICATIONS | Prof. Dr. Nguyen Van Phuc<br>Dr. Tran Thi Mai<br>Le Quang Huy |
| | | 4 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED FAULT DETECTION IN INDUSTRIAL ELECTRONIC CONTROL CIRCUITS USING DEEP LEARNING TECHNIQUES | Assoc. Prof. Dr. Pham Minh Tuan<br>Dr. Vo Thanh Binh<br>Prof. Dr. Joseph Msuya |
| | | 5 | DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR-POWERED ELECTRONIC CONVERTERS FOR RURAL ELECTRIFICATION PROJECTS | Dr. Amina Hassan |
| | | 6 | INVESTIGATION OF MICROCONTROLLER-BASED SMART HEALTHCARE DEVICES FOR REMOTE PATIENT MONITORING IN DEVELOPING REGIONS | Assoc. Prof. Dr. Neema Kweka<br>Dr. Emmanuel Mollel<br>Grace Mwakalobo |
| | | 7 | HIGH-SPEED VLSI CIRCUIT OPTIMIZATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE ACCELERATORS IN EDGE COMPUTING ENVIRONMENTS | Dr. Adrian Tan<br>Assoc. Prof. Dr. Cheryl Goh<br>Marcus Lee<br>Prof. Dr. Lim Wei Chong |
| | | 8 | ADVANCED ANTENNA ARRAY DESIGN FOR 6G COMMUNICATION NETWORKS WITH ENHANCED SPECTRUM EFFICIENCY AND COVERAGE | Dr. Benjamin Ong<br>Prof. Dr. Sophia Ng |
| | | 9 | SECURE HARDWARE IMPLEMENTATION OF QUANTUM-RESISTANT CRYPTOGRAPHIC PROCESSORS FOR FUTURE ELECTRONIC SECURITY SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Kelvin Teo<br>Dr. Rachel Koh<br>Assis. Prof. Dr. Jonathan Lim<br>Melissa Chua |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Dr. Lucia Fernandez<br>Dr. Marta Ruiz** | 1 | ADVANCED ANALYSIS OF MITOCHONDRIAL GENOME VARIABILITY IN EUKARYOTIC CELLS | Prof. Dr. Jonas Petraitis<br>Dr. Egle Vaitkute |
| | | 2 | MOLECULAR MECHANISMS OF PROTEIN FOLDING UNDER EXTREME THERMAL STRESS IN MICROBIAL SYSTEMS | Dr. Rasa Jankauskiene<br>Assoc. Prof. Dr. Mantas Zilinskas |
| | | 3 | GENOMIC ADAPTATION PATTERNS OF STEPPE PLANTS UNDER SEVERE DROUGHT AND SALINITY CONDITIONS | Prof. Dr. Aibek Sarsenov<br>Dr. Aizada Beketova<br>Dr. Timur Kassenov |
| | | 4 | NEUROGENETIC REGULATION OF LEARNING AND MEMORY FORMATION IN DESERT INSECT SPECIES | Assoc. Prof. Dr. Dana Yermekova<br>Dr. Nurzhan Alimov |
| | | 5 | CRISPR-CAS9 MEDIATED GENE EDITING IN HUMAN STEM CELL DIFFERENTIATION PATHWAYS | Dr. Lucia Fernandez<br>Dr. Marta Ruiz |
| | | 6 | MICROBIOME DYNAMICS AND ECOLOGICAL INTERACTIONS IN MEDITERRANEAN MARINE BIODIVERSITY SYSTEMS | Dr. Carlos Dominguez<br>Assoc. Prof. Dr. Elena Sanchez<br>Pablo Navarro<br>Isabel Romero |
| | | 7 | MOLECULAR MECHANISMS OF DNA DAMAGE AND REPAIR IN ANCIENT HUMAN ARCHAEOLOGICAL REMAINS | Prof. Dr. Ahmed El-Sayed<br>Dr. Mona Farouk |
| | | 8 | PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR RESPONSES OF DATE PALM TREES TO HIGH SALINITY STRESS IN ARID ENVIRONMENTS | Hossam Abdelrahman<br>Assoc. Prof. Dr. Youssef Nabil<br>Dr. Karim Hassan |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Dr. Yuki Sato** | 1 | IMPACT OF MOLECULAR BIOMARKERS AND NEXT-GENERATION SEQUENCING ON PERSONALIZED TREATMENT STRATEGIES IN ADVANCED COLORECTAL CANCER PATIENTS | Dr. Jonas Petrauskas<br>Dr. Egle Kavaliauskiene<br>Rokas Jankauskas<br>Laura Mikalauskaite |
| | | 2 | NOVEL IMMUNOTHERAPEUTIC APPROACHES TARGETING PD-1/PD-L1 PATHWAYS IN METASTATIC NON-SMALL CELL LUNG CANCER: A CLINICAL OUTCOME ANALYSIS | Assoc. Prof. Dr. Tomas Vaitkus<br>Dr. Dovile Zukauskaite<br>Mantas Petrauskas |
| | | 3 | COMPARATIVE EVALUATION OF PROTON THERAPY VERSUS INTENSITY-MODULATED RADIOTHERAPY IN THE MANAGEMENT OF PEDIATRIC BRAIN TUMORS | Prof. Dr. Kenji Nakamura<br>Dr. Aiko Tanaka<br>Hiroshi Yamamoto<br>Assoc. Prof. Dr. Satoshi Kuroda |
| | | 4 | ROLE OF CIRCULATING TUMOR DNA IN EARLY DETECTION AND MONITORING OF BREAST CANCER RECURRENCE AFTER SURGICAL INTERVENTION | Dr. Yuki Sato<br>Prof. Dr. Haruka Fujimoto<br>Dr. Keisuke Mori |
| | | 5 | CLINICAL EFFECTIVENESS OF COMBINED CHEMOTHERAPY AND IMMUNOTHERAPY IN ADVANCED PANCREATIC CANCER: A MULTICENTER OBSERVATIONAL STUDY | Dr. Lina Al-Khatib<br>Assoc. Prof. Dr. Omar Nasser<br>Hussein Al-Farouq |
| | | 6 | GENOMIC PROFILING AND TARGETED THERAPY RESPONSE IN HEPATOCELLULAR CARCINOMA PATIENTS WITH CHRONIC LIVER DISEASE | Dr. Sara Al-Rashid<br>Prof. Dr. Youssef Haddad |
| | | 7 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE-DRIVEN RADIOMICS IN PREDICTING TREATMENT RESPONSE IN LUNG CANCER PATIENTS UNDERGOING STEREOTACTIC BODY RADIOTHERAPY | Prof. Dr. Ming-Hao Chen<br>Dr. Pei-Ling Wang<br>Assoc. Prof. Dr. Chih-Wei Lin<br>Dr. Yu-Ting Huang |
| | | 8 | MOLECULAR MECHANISMS AND TARGETED INHIBITION STRATEGIES IN OVARIAN CANCER RESISTANCE TO PLATINUM-BASED CHEMOTHERAPY | Assoc. Prof. Dr. Mei-Ling Chang<br>Dr. Hsin-Yi Liu<br>Prof. Dr. Wen-Cheng Tsai |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Dr. Egle Vaitkute** | 1 | MOLECULAR CHARACTERIZATION OF MULTIDRUG-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS ISOLATES FROM CLINICAL AND COMMUNITY SAMPLES IN NORTHERN EUROPEAN SETTINGS | Dr. Egle Vaitkute |
| | | 2 | INVESTIGATION OF BACTERIAL CONTAMINATION AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PROFILES IN LIBYAN HOSPITAL SURGICAL UNITS AND INTENSIVE CARE ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Ahmed Al-Maghribi<br>Salma El-Fituri<br>Omar Ben Yusuf |
| | | 3 | ASSESSMENT OF MICROBIAL DIVERSITY AND PATHOGENIC LOAD IN DESERT WATER RESOURCES AND URBAN SUPPLY SYSTEMS IN LIBYA | Dr. Aisha El-Hassi<br>Assoc. Prof. Dr. Omar Ben Yusuf<br>Ahmed Al-Maghribi |
| | | 4 | GENOMIC ANALYSIS OF EXTREME ENVIRONMENT ADAPTED MICROBES IN INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ZONES OF KAZAKHSTAN | Prof. Dr. Ayan Nursultanov<br>Dana Karimova<br>Yerlan Sadykov<br>Aigerim Sarsenova |
| | | 5 | EVALUATION OF PROBIOTIC BACTERIAL STRAINS FOR IMPROVING GUT MICROBIOTA AND IMMUNE RESPONSE IN CENTRAL ASIAN POPULATIONS | Assoc. Prof. Dr. Dana Karimova<br>Dr. Yerlan Sadykov<br>Ayan Nursultanov |
| | | 6 | METAGENOMIC PROFILING OF ANTIBIOTIC RESISTANCE GENES IN AQUATIC ECOSYSTEMS AND COASTAL WATERS OF EAST ASIA | Wei-Chen Lin<br>Yu-Hsuan Chen<br>Chia-Ling Huang |
| | | 7 | CHARACTERIZATION OF NOVEL MARINE MICROORGANISMS WITH BIOACTIVE COMPOUND POTENTIAL FROM TAIWANESE COASTAL REGIONS | Dr. Ming-Hao Wang<br>Assoc. Prof. Dr. Chia-Ling Huang<br>Wei-Chen Lin |
| | | 8 | DEVELOPMENT OF MICROBIOME-BASED DIAGNOSTIC MODELS FOR EARLY DETECTION OF INFECTIOUS DISEASES USING MACHINE LEARNING APPROACHES IN CLINICAL MICROBIOLOGY | Prof. Dr. Yu-Hsuan Chen<br>Dr. Wei-Chen Lin<br>Ming-Hao Wang<br>Chia-Ling Huang |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Arş. Gör. Dr. Nazlıhan ÖZDOĞAN** | 1 | SLIDING MODE CONTROLLER-BASED CONTROL OF PANEL SURFACE TEMPERATURE IN A PHOTOVOLTAIC-THERMAL HYBRID SYSTEM | Ceylin Zelal YAKA<br>Dr. Mehmet Uğur SOYDEMİR<br>Prof. Dr. Savaş ŞAHİN |
| | | 2 | A TWO-STAGE HYBRID LEARNING FRAMEWORK FOR SHORT-TERM ELECTRIC VEHICLE CHARGING LOAD FORECASTING | Meryem Soy<br>Hasan Huseyin Coban |
| | | 3 | MACHINE LEARNING-BASED SOLAR RADIATION PREDICTION: A COMPARISON OF ANN AND XGBOOST MODELS | Meryem Soy<br>Hasan Huseyin Coban |
| | | 4 | COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR POWER SYSTEM DISTURBANCE IDENTIFICATION | Arş. Gör. Dr. Nazlıhan ÖZDOĞAN |
| | | 5 | DESIGN OF MICROCONTROLLER-BASED MODULAR POWER FACTOR CORRECTION BOOST CONVERTER WITH SILICON CARBIDE SEMICONDUCTOR MATERIALS | Batuhan ASLAN<br>Dr. Yıldıray BASKURT<br>Prof. Dr. Savaş SAHIN |
| | | 6 | PAPR REDUCTION USING HYBRID DISCRETE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION IN FBMC-OQAM SYSTEMS | Lect. Hüseyin CANBAZ<br>Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR |
| | | 7 | AN EDGE COMPUTING BASED EARLY WILDFIRE PREVENTION SYSTEM FOR FORESTED MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION LINES | Kemal Tuğrul YILDIRIM<br>Prof. Dr. Savaş ŞAHİN |
| | | 8 | FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE ARIZA TESPİTİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI | Muhammed Buğrahan KAYA<br>Prof.Dr.Naim Süleyman TINĞ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Doç. Dr. Ali CİNGÖZ** | 1 | MOLECULAR-LEVEL INVESTIGATION OF AROMA GAPS IN DIFFERENT FOOD MATRICES USING A SENSOMICS APPROACH | Kadriye Aslı ERKİN<br>Prof. Dr. Yeşim ELMACI |
| | | 2 | EVALUATION OF HYGIENE AWARENESS LEVELS OF PERSONNEL WORKING IN CHICKEN DONER ESTABLISHMENTS: THE CASE OF DIYARBAKIR | Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus ELHAKAN<br>Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk YEŞİL |
| | | 3 | DESERT TRUFFLE (TERFEZIA BOUDIERI) IN DIYARBAKIR AND SOUTHEASTERN ANATOLIA: ECOLOGICAL DISTRIBUTION, NUTRITIONAL VALUE AND FOOD SAFETY PERSPECTIVE | Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk YEŞİL<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus ELHAKAN |
| | | 4 | THE USE OF LUCUMA (Pouteria lucuma) POWDER IN MODEL FOOD SYSTEMS: A COOKIE APPLICATION | Mehmet DEMİR<br>Doç. Dr. Ali CİNGÖZ |
| | | 5 | THE USE OF MACA (Lepidium meyenii) POWDER IN PASTA PRODUCTION AND THE DETERMINATION OF ITS QUALITY CHARACTERISTICS | Raifenur ÇELİK<br>Doç. Dr. Ali CİNGÖZ |
| | | 6 | DATA-DRIVEN OPTIMIZATION TECHNIQUES AND APPLICATION AREAS IN PRECISION DAIRY FARMING | Sevilay GÖNCE<br>Alkım Doğaç GENÇ<br>Doç. Dr. Demet ÇANGA BOĞA<br>Prof. Mustafa BOĞA |
| | | 7 | OECD ÜLKELERİNDE ORMAN KORUMA STRATEJİLERİNİN YABAN HAYATI BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: PANEL VERİ ANALİZİ (2000-2024) | Dr. Çağatay Kerem DEMİR<br>Doç. Dr. İrfan ÖZTÜRK |
| | | 8 | BOR'UN HÜCRESEL KORUNMADAKİ YERİ: ANTİOKSİDAN VE ANTİİNFLAMATUVAR ETKİLER | Veteriner Hekim Sinan OCAK<br>Prof.Dr.Miyase ÇINAR |
| | | 9 | SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZNO–$LA_2O_3$ HYBRID NANOSTRUCTURES | Öğr. Gör. Tarık BAYDAR<br>Doç. Dr. Naim ASLAN<br>Doç. Dr. Fatih DOĞAN<br>Öğr. Gör. İbrahim Halil KOZAN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Öğretim Görevlisi Dr. Fatih ALTINIŞIK** | 1 | THE USE OF GRECO SCRITTO MARBLE IN THE METROPOLIS (IONIA) AND ITS SIGNIFICANCE FOR URBAN CHRONOLOGY | Res. Asst. Dr. Burak ARSLAN |
| | | 2 | ROMA VE HELLENİSTİK KENTLERDE SU YÖNETİMİ: İDARİ YAPI VE EKONOMİK ORGANİZASYON | Öğretim Görevlisi Dr. Fatih ALTINIŞIK |
| | | 3 | 18. YÜZYIL BURSA'SINDA KÜRK KULLANIMININ TOPLUMSAL CİNSİYET VE STATÜ BAĞLAMINDA ANALİZİ (1750-1775 TEREKE KAYITLARINA GÖRE) | Yüksek Lisans Öğrencisi, Leyla CUMA |
| | | 4 | FROM AYDIN TO İZMİR: RELOCATION OF THE PROVINCIAL CENTER FROM THE PERSPECTIVE OF THE OTTOMAN PROVINCIAL REFORM AND ENVİRONMENTAL HISTORY (1850–1867) | Doktora Öğrencisi İbrahim BERCİ |
| | | 5 | THE MILITARY STRUCTURE AND SOCIO-ECONOMIC TRANSFORMATION OF RUSSIAN COSSACKS (1735–1860) | Doctoral Student Havva Gizem ACER |
| | | 6 | 19. YÜZYIL ALEVÎ-BEKTAŞÎ GELENEĞİNDE BİR FİGÜR ANALİZİ: MEHMED ALİ PERÎŞAN BABA | Yl Öğrenci Şükrü YILDIRIM |
| | | 7 | HWARANGDO(화랑도) VE YENİÇERİ OCAĞININ(예니체리 군단) ASKERÎ YAPI VE EĞİTİM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ | Öğr. Gör. Ayten SEVMİŞ Dr. Öğr. Üyesi Jung Hye LEE |
| | | 8 | THE VISUAL AND SPATIAL REPRESENTATION OF TURKISH-ISLAMIC IDENTITY AT THE KUL YUSUF TOMB IN IĞDIR | Dr. Serhan KARANFİL |
| | | 9 | KOCAYAKA KÖYÜ ETNOARKEOLOJİK VERİLERİ IŞIĞINDA BEYCESULTAN GEÇ TUNÇ ÇAĞI KONUTLARINDA ÇATI AKSAMI | Dr. Muhip ÇARKI |
| | | 10 | THE PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF GAZA WINE IN THE EASTERN MEDITERRANEAN | Derya DOĞAN<br>Prof. Dr. Gonca CANKARDEŞ ŞENOL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Dr. Öğretim Üyesi Berin DİKGÖZ** | 1 | CONTENT ANALYSIS OF ACADEMIC TRENDS WITHIN THE SCOPE OF TAS 41 | Dr. Öğretim Üyesi Berin DİKGÖZ |
| | | 2 | MUHASEBE EĞİTİMİNDE KAVRAMSAL YANILGILARIN BOYUTSAL YAPISI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA | Öğr. Gör. Ersan KULA<br>Prof. Dr. Alper ERSERİM |
| | | 3 | VERGİ KAYIP KAÇAKLARININ ÖNLENMESİNDE MUHASEBE MESLEK MENSUPLARININ ROLÜ ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALARIN LİTERATÜR TARAMASI | Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğçe ÖZKAN<br>Dr. Öğr. Üyesi Emre Hayri BARAZ |
| | | 4 | DAVRANIŞSAL MUHASEBE PERSPEKTİFİNDEN MUHASEBE ÖĞRENCİLERİNİN MESLEK ALGILARININ İNCELENMESİ | Dr. Sevim AĞAÇ |
| | | 5 | AN EXAMINATION OF THE ASSET-LIABILITY STRUCTURE OF THE TURKISH BANKING SECTOR DURING THE PERIOD 2015-2025 | Ahmet HOŞCAN<br>Prof. Dr. Başak TANINMIŞ YÜCEMEMİŞ |
| | | 6 | REKLAM HARCAMALARININ MARKA DEĞERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: BORSA İSTANBUL ŞİRKETLERİ ÜZERİNE PANEL VERİ ANALİZİ | Merve SAYGILI<br>Doç.Dr. Kadir TUTKAVUL |
| | | 7 | YÜKSEK ENFLASYON ORTAMINDA MUHASEBE BİLGİSİNİN GERÇEĞİ YANSITMA DÜZEYİ: TMS 29 ÜZERİNE ELEŞTİREL BİR İNCELEME | Yüksek Lisans Öğrencisi, İpek KILDIR<br>Doç. Dr. , Seval ELDEN ÜRGÜP |
| | | 8 | BAĞIMSIZ DENETİMDE YAPAY ZEKÂ VE FİNANSAL RAPORLAMA GÜVENİLİRLİĞİ | Dr. Gülnur UÇAR<br>Dr. Abdallah ALMOUSA |
| | | 9 | EARLY ACCOUNTING EDUCATION ACROSS THE MIDDLE EAST, TÜRKIYE, AND EUROPE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF EDUCATIONAL MODELS AND CURRICULUM FRAMEWORKS | Dr. Abdallah ALMOUSA<br>Dr. Gülnur UÇAR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Doc.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU** | 1 | İPEK YOLLARI BOYUNCA GELENEKSEL SPORLAR ÜZERİNE DÜŞÜNCELER | Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan LAZ<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 2 | İPEK YOLU COĞRAFYASINDA GELENEKSEL SPORLARIN TARİHSEL VE KÜLTÜREL ANALİZİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan LAZ<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 3 | ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE CİMNASTİK EĞİTİMİNİN BİLİŞSEL, MOTOR VE SOSYAL GELİŞİME ETKİSİ | Bejnanur ÖZTÜRK<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 4 | KUTSAL RİTÜELDEN KÜRESEL ORGANİZASYONA: OLİMPİYAT OYUNLARININ TARİHSEL DÖNÜŞÜMÜ | Bejnanur ÖZTÜRK<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 5 | MİTOLOJİDEN MODERN KAYAK KÜLTÜRÜNE: ULLR VE KIŞ SPORLARININ SEMBOLİK KÖKENLERİ | Haldun AYDIN<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 6 | YUNAN MİTOLOJİSİ VE RİTÜELLERİN SPORDA KULLANIMI | Haldun AYDIN<br>Doç.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 7 | DOĞU ROMA İMPARATORLUĞU'NDA SPORUN TEDAVİ AMAÇLI KULLANIMI | Fzt. Mert BEDİZ<br>Doc.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |
| | | 8 | ANTİK SİKKELERDE ATLETİK ÇIPLAKLIĞIN TEMSİLİ: İKONOGRAFİK VE KÜLTÜREL BİR DEĞERLENDİRME | Fzt. Mert BEDİZ<br>Doc.Dr. Erol DOĞAN<br>Prof.Dr. Osman İMAMOĞLU |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

**14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 6** | **Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR** | 1 | A COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY (CBT)-BASED GROUP COUNSELING PROGRAM AIMED AT ENHANCING RELATIONSHIP AND LIFE SATISFACTION IN FAMILIES WHO HAVE EXPERIENCED THE LOSS OF A CHILD | Graduate Student Ayşegül KARAKUŞ<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 2 | PSYCHOEDUCATION PROGRAM ON LIFE SATISFACTION OF MARRIED COUPLES | Yüksek Lisans Öğrencisi Damla ÜNAL<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Dilara ŞAŞMAZ<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Hulde ÖZEN<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 3 | A GROUP COUNSELING PROGRAM AIMED AT ENHANCING RELATIONSHIP AND LIFE SATISFACTION FOR INDIVIDUALS WHO HAVE EXPERIENCED SUDDEN SPOUSAL LOSS | Graduate Student Berrenur ŞAHİN<br>Graduate Student Büşra LEVENT<br>Graduate Student Kübra EKMEKCİOĞLU<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 4 | AN ACCEPTANCE AND COMMITMENT THERAPY (ACT)-BASED GROUP COUNSELING PROGRAM AIMED AT ENHANCING ROLE FLEXIBILITY AND SOCIAL CONNECTEDNESS IN MIDDLE ADULTHOOD | Graduate Student Öğrencisi Berrenur ŞAHİN<br>Graduate Student Öğrencisi Ayşegül KARAKUŞ<br>Graduate Student Öğrencisi Emre DEMİRBAŞ<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 5 | GÖÇ EDEN AİLELERİN YAŞAM VE İLİŞKİ DOYUMLARINA İLİŞKİN PSİKOEĞİTİM PROGRAMI | Yüksek Lisans Öğrencisi Özgenur Nilay YAPICI<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Aybüke Göksu BOZKURT<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep DÜŞGÜN SAK<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 6 | YAŞLILIK DÖNEMİNDE ROL İYİMSERLİĞİ TEMELLİ YALNIZLIKLA BAŞ ETME PSİKOEĞİTİM PROGRAMI | Yüksek Lisans Öğrencisi Emre TÜZÜNAK<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Aybüke Göksu BOZKURT<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep DÜŞGÜN SAK<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 7 | 85 YAŞ VE ÜZERİ KİŞİLERDE ROL İYİMSERLİĞİ VE YALNIZLIK DUYGUSUNU YÖNETMEYE YÖNELİK GRUP DANIŞMA PROGRAMI | Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra LEVENT<br>Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra EKMEKCİOĞLU<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 8 | A PSYCHOEDUCATIONAL PROGRAM FOR THE ADAPTATION PROCESSES AND LIFE SATISFACTION OF DIVORCED INDIVIDUALS | Master's Student Emre TÜZÜNAK<br>Master's Student Emre DEMİRBAŞ<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |
| | | 9 | 65-75 YAŞ ARASI BİREYLERDE YALNIZLIK VE ROL İYİMSERLİĞİNE YÖNELİK PSİKOEĞİTİM PROGRAMI | Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra GÜNAY GÜRBÜZ<br>Prof. Dr. Sevda ASLAN MUCUR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Doç. Dr. Aysun ÇOLAK** | 1 | EXAMINING SNACKIFICATION AS A DIETARY ADAPTATION IN YOUNG ADULT FOOD CONSUMPTION PATTERNS IN KLANG VALLEY, MALAYSIA | Siti Nurhayati Khairatun |
| | | 2 | ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÖĞRENCİLERDE MÜZE DENEYİMİNE DAYALI BİLİŞSEL VE ANLAMSAL ÖĞRENMENİN İNCELENMESİ | Selenay GÜLER<br>Prof. Dr. S.Sunay YILDIRIM DOĞRU<br>Sıla BOYACI<br>Dr. Nilay GÜLPERÇİN<br>Dr. Süleyman DOĞRU<br>Dr. Doğan Seyfettin ALDAĞ<br>Sibel AĞAOĞLU ÖZER<br>Aysel KARCI |
| | | 3 | ÖZEL EĞİTİMDE ÖĞRETMENLERİN MESLEKİ TÜKENMİŞLİK (BURNOUT) SORUNU | Teymurzadə Farizə Bəhrəm qızı |
| | | 4 | ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÖĞRENCİLERİN ÖĞRETMEN CİNSİYETİNE İLİŞKİN SEÇİCİLİK VE KAÇINMA DAVRANIŞLARI: ÖĞRETMEN GÖZÜNDEN DERİNLEMESİNE BİR BAKIŞ | Doç. Dr. Aysun ÇOLAK<br>Gamze YILDIRIM<br>Harun KILIÇ |
| | | 5 | TÜRKİYE'DE DİSLEKSİ EĞİTİMİNDE DİJİTAL MÜDAHALE ARAÇLARI VE TEKNOLOJİ TABANLI UYGULAMALAR: BİR LİTERATÜR TARAMASI | Tuğba GÖKTEPE OKTAR<br>Doç. Dr. Alpaslan KARABULUT |
| | | 6 | TÜRKİYE'DE ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ ve ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ RİSKİ OLAN ÖĞRENCİLERE YÖNELİK OKUMA ÇALIŞMALARI: 2016-2026 LİSANÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ | Selenay SAĞAN<br>Doç. Dr. Ufuk ÖZKUBAT<br>Dr. Öğr. Üyesi Reşat ALATLI |
| | | 7 | TÜRKİYE'DE OKUL ÖNCESİ EĞİTİMDE SOSYAL PROBLEM ÇÖZME BECERİLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN LİSANSÜSTÜ ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep Sıla DEMİROĞLU<br>Doç. Dr. Sibel ATLİ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Dr. Öğr. Üyesi Parla ONUK** | 1 | FİNANSAL TAHMİN MODELLERİNDE YAPAY ZEKÂ KARARLARININ AÇIKLANABİLİRLİK SORUNU: SOSYAL BİLİMLER PERSPEKTİFİ | Öğr. Gör. Benay BULUT ŞAHİNER |
| | | 2 | MACROECONOMIC DETERMINANTS OF REAL EFFECTIVE EXCHANGE RATES IN OECD COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS (2005-2025) | Muhammed Enes SARPTAŞ |
| | | 3 | YÜKSEK ENFLASYON ORTAMINDA PARA POLİTİKASININ DAĞILIMSAL ETKİLERİ: TÜRKİYE ÜZERİNE YEREL PROJEKSİYON ANALİZİ | Dr. Öğr. Üyesi Parla ONUK |
| | | 4 | YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜKETİMİNİN ENFLASYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE VERGİ GELİRLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN EŞİK ROLÜ: PANEL VERİ ANALİZİ | Dr. Öğretim Üyesi Mustafa KURT |
| | | 5 | THE EFFECT OF THE PLASTIC BAG TAX IMPLEMENTATION ON PLASTIC BAG CONSUMPTION IN TÜRKİYE | Yüksek Lisans Öğrenci, Ebru Zülfüoğlu<br>Doç. Dr. İnci Sandalcı |
| | | 6 | OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN KENDİ SINIF YÖNETİMİ BECERİLERİNE YÖNELİK ALGILARININ ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ | Büşra ÖZTOPRAK<br>Doç. Dr. Ümmühan YEŞİL DAĞLI |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Doç. Dr. Nezir MAVİŞ** | 1 | DİJİTAL KÜLTÜRÜN DİNİ KİMLİK İNŞASINA ETKİSİ | Metin Ender KARABULUT<br>Doç. Dr. Cihad KISA |
| | | 2 | MANEVİ İYİ OLUŞ YA DA ÇÖKÜNTÜYE ETKİSİ BAĞLAMINDA İNANÇ VEYA İNANÇSIZLIK | Doç. Dr. Ergin ÖGCEM<br>Y.L. Öğrencisi Hacer GİRGİN |
| | | 3 | SOSYAL MECRALARDA HADİS BİLGİ KİRLİLİĞİ: DİNAMİKLER, PSİKOLOJİK FAKTÖRLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ | İsmail SAYIN |
| | | 4 | 19. YÜZYIL İSLAM DÜNYASINDA CEHRÎ ZİKRİN HÜKMÜNE DAİR FIKHÎ TARTIŞMALAR | Yüksek Lisans Öğrencisi Fatma ŞAHAN |
| | | 5 | EHL-İ SÜNNET KELÂM GELENEĞİNDE USÛL-İ SELÂSE TASNİF SİSTEMİ VE KUR'ÂNÎ REFERANSLARI | Doç. Dr. Nezir MAVİŞ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Dr. Öğr. Üyesi Rabia Vildan Akdemir** | 1 | YİYECEK VE İÇECEK İŞLETMELERİNDE TÜKETİCİLERİNYEŞİL MUTFAK UYGULAMALARINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ | Göksun ÖZTÜRK<br>Doç. Dr. ERDEM TEMELOĞLU |
| | | 2 | SOSYAL MEDYA PAZARLAMASI VE BEŞ FAKTÖR KİŞİLİK ÖZELLİKLERİNİN TÜKETİCİ DAVRANIŞINA ETKİSİNDE İLİŞKİ KALİTESİNİN ROLÜ | Melike ÖZEL<br>Prof. Dr. Leyla LEBLEBİCİ KOÇER |
| | | 3 | ÇEVRE DOSTU REKLAM MESAJLARININ TÜKETİCİ SATIN ALMA NİYETİNE ETKİSİ: SPOR HİZMETLERİ SEKTÖRÜNDE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA | Tuğberk BİLGİ<br>Doç. Dr. Utku Işık |
| | | 4 | SONSUZ KAYDIRMA DAVRANIŞININ TÜKETİCİ DAVRANIŞI ÜCERİNDEKİ ROLÜ: DİJİTAL YALNIZLIK PERSPEKTİFİNDEN BİR LİTERATÜR DERLEMESİ | Dr. Öğr. Üyesi Rabia Vildan Akdemir |
| | | 5 | YAPAY ZEKA TABANLI ÖNERİ SİSTEMLERİNDE GÜVEN, KİŞİSELLEŞTİRME VE SATIN ALMA NİYETİ: LİTERATÜR DERLEMESİ | Dr. Öğr. Üyesi Rabia Vildan Akdemir |
| | | 6 | ECONOMIC SECTORS AND REGIONAL DISTRIBUTION OF OCCUPATIONAL DISEASES IN TÜRKİYE | Asst. Prof. Dr. Esra YALÇIN |
| | | 7 | TEDARİK ZİNCİRİ ENTEGRASYONUNDA KONFİGÜRASYON YÖNETİMİ: ÇOK PAYDAŞLI PROJELERDE VERİ TUTARLILIĞI | Envercan YÜKSEL<br>Doç. Dr. Volkan YAVAŞ |
| | | 8 | MODERN TALEP TAHMİNLEME YÖNTEMLERİNİN TEDARİK ZİNCİRİ PERFORMANSINA ETKİSİ | Şeyma BEDİR<br>Doç. Dr. Volkan YAVAŞ |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

**14 Haziran / June 14, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 11** | **Assist. Prof. Dr. Cezmi ERVÜZ** | 1 | ACTIVITY-BASED COSTING IN HEALTHCARE AND ITS IMPACT ON MANAGEMENT DECISIONS | Yüksek Lisans Öğrencisi Yonca SAYAR TARHAN<br>Doç. Dr. Yakup ASLAN |
| | | 2 | DEVLET HASTANELERİNDE HİZMET ALIMI İHALELERİ VE FİYAT FARKI UYGULAMASI | Yüksek Lisans Öğrencisi Nurcan GÜLLE<br>Doç. Dr. Nazan TORUN |
| | | 3 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ETHICS IN MEDICAL SOCIAL WORK: OPPORTUNITIES, RISKS AND PROFESSIONAL RESPONSIBILITIES | Assist. Prof. Dr. Salih KARİP<br>Assist. Prof. Dr. Cezmi ERVÜZ |
| | | 4 | OLDER MIGRANTS AND GERONTOLOGICAL SOCIAL WORK İN TÜRKIYE: AN INTERSECTIONALITY-BASED LITERATURE REVIEW | Assist. Prof. Dr. Cezmi ERVÜZ<br>Assist. Prof. Dr. Salih KARİP |
| | | 5 | GENÇLERE YÖNELİK SOSYAL HİZMETLER: GENÇLİK VE SPOR BAKANLIĞI ÖRNEĞİ | Mehmet Akif TURHAN<br>Prof. Dr. Hüsamettin ÇETİN |
| | | 6 | TÜRKİYE'DE PALYATİF BAKIM SERVİSİNDE SOSYAL HİZMET UYGULAMALARI | Yasin UĞUR<br>Prof. Dr. Hüsamettin ÇETİN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assis .Prof. Dr. Matías Valenzuela** | 1 | GENOME EDITING STRATEGIES USING CRISPR-CAS SYSTEMS FOR TARGETED THERAPEUTIC APPLICATIONS IN HUMAN DISEASE MODELS | Prof. Dr. Salma Qadiri<br>Amina El Idrissi<br>Youssef Benali |
| | | 2 | BIOENGINEERED NANOPARTICLES FOR CONTROLLED DRUG DELIVERY AND ENHANCED CELLULAR UPTAKE IN CANCER THERAPY | Dr. Rachid El Amrani<br>Assoc. Prof. Dr. Leila Bouzid<br>Hassan El Fassi |
| | | 3 | SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES FOR MICROBACTERIAL PRODUCTION OF HIGH-VALUE BIOFUELS UNDER INDUSTRIAL CONDITIONS | Assoc. Prof. Dr. Emeka Nwosu<br>Dr. Aisha Bello<br>Chinedu Okafor<br>Kehinde Adeyemi |
| | | 4 | BIOTECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS IN PLANT-BASED BIOPESTICIDES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN SUB-SAHARAN ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Ngozi Umeh<br>Dr. Ibrahim Musa<br>Amina Suleiman |
| | | 5 | RECOMBINANT PROTEIN ENGINEERING FOR NEXT-GENERATION VACCINE DEVELOPMENT AGAINST EMERGING VIRAL PATHOGENS | Dr. Salma El Sharif<br>Hassan Al-Farjani<br>Assoc. Prof. Dr. Nadia Al-Sadi |
| | | 6 | MICROBIAL FUEL CELL TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT AND RENEWABLE ENERGY GENERATION IN ARID REGIONS | Omar Al-Maghribi<br>Dr. Lina Ben Youssef<br>Prof. Dr. Khaled Al-Din |
| | | 7 | GENE THERAPY VECTOR OPTIMIZATION FOR NEURODEGENERATIVE DISEASE TREATMENT USING LENTIVIRAL AND AAV SYSTEMS | Assis .Prof. Dr. Matías Valenzuela |
| | | 8 | ALGAL BIOTECHNOLOGY FOR CARBON CAPTURE AND BIOACTIVE COMPOUND PRODUCTION IN MARINE ECOSYSTEMS | Dr. Fernanda Aguilar<br>Assoc. Prof. Dr. Rodrigo Salinas<br>Valentina Moya |
| | | 9 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATED BIOINFORMATICS FOR PROTEIN STRUCTURE PREDICTION AND DRUG DISCOVERY ACCELERATION | Prof. Dr. Sebastián Herrera<br>Dr. Tomás Ibarra<br>Catalina Fuentes |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Dr. Nicolás Herrera** | 1 | IMPACT OF URBAN AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH OUTCOMES IN NORTH AFRICAN METROPOLISES | Prof. Dr. Youssef El Amrani<br>Dr. Salma Benkiran |
| | | 2 | TELEMEDICINE ADOPTION AND HEALTHCARE ACCESSIBILITY IN RURAL MOROCCO: A SYSTEMATIC ANALYSIS | Assoc. Prof. Dr. Amina Qadiri<br>Dr. Omar Zaoui<br>Fatima Ezzahra El Idrissi |
| | | 3 | COMMUNITY-BASED MALARIA CONTROL STRATEGIES AND PUBLIC HEALTH EFFECTIVENESS IN WEST AFRICA | Prof. Dr. Chinedu Okafor<br>Dr. Aisha Bello<br>Emeka Nwosu<br>Dr. Kemi Adebayo |
| | | 4 | MENTAL HEALTH BURDEN AMONG ADOLESCENTS IN URBAN NIGERIA: SOCIOECONOMIC AND EDUCATIONAL CORRELATES | Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Musa<br>Dr. Grace Adeola<br>Samuel Okoye |
| | | 5 | HEALTHCARE SYSTEM RESILIENCE AND POST-CONFLICT RECOVERY MODELS IN LIBYA | Prof. Dr. Khaled Al Mansouri<br>Dr. Mariam El Sherif<br>Assoc. Prof. Dr. Nabil Faraj |
| | | 6 | NON-COMMUNICABLE DISEASE PREVENTION STRATEGIES IN LIBYA: POLICY IMPLEMENTATION AND COMMUNITY ENGAGEMENT | Dr. Huda Ben Ali<br>Prof. Dr. Ahmed El Rafi<br>Salim Abukhattala<br>Dr. Rania Mansour |
| | | 7 | IMPROVING PRIMARY HEALTHCARE DELIVERY IN CHILEAN RURAL COMMUNITIES THROUGH DIGITAL HEALTH INTEGRATION | Prof. Dr. Valentina Rojas<br>Dr. Camila Sepúlveda<br>Assoc. Prof. Dr. Rodrigo Valdés |
| | | 8 | EPIDEMIOLOGICAL TRENDS OF CARDIOVASCULAR DISEASES AMONG ELDERLY POPULATIONS IN CHILE: A LONGITUDINAL STUDY | Dr. Nicolás Herrera<br>Prof. Dr. Fernanda Loyola |
| | | 9 | CLIMATE CHANGE AND EMERGING VECTOR-BORNE DISEASE RISKS IN CHILE: A PUBLIC HEALTH FORECASTING MODEL | Assoc. Prof. Dr. Martina Cárdenas<br>Dr. José Miguel Torres<br>Prof. Dr. Andrea Salgado |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Assis. Prof. Dr. Klodiana Dervishi** | 1 | THREE-DIMENSIONAL PRINTING TECHNOLOGIES IN MAXILLOFACIAL SURGERY: CLINICAL APPLICATIONS, LIMITATIONS, AND FUTURE PERSPECTIVES | Prof. Dr. Jean-Luc Fournier<br>Dr. Élodie Mercier<br>Antoine Girard<br>Marie Lefevre |
| | | 2 | ADVANCES IN DIGITAL DENTISTRY FOR COMPLEX ORAL REHABILITATION: A CLINICAL EVALUATION OF CAD/CAM-GUIDED TREATMENT OUTCOMES IN ADULT PATIENTS | Prof. Dr. Youssef El Mansouri<br>Dr. Salma Benjelloun |
| | | 3 | ASSESSMENT OF PERIODONTAL HEALTH AWARENESS AND PREVENTIVE ORAL CARE PRACTICES AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN URBAN COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Amina El Idrissi |
| | | 4 | THE EFFECTIVENESS OF MINIMALLY INVASIVE RESTORATIVE TECHNIQUES IN THE MANAGEMENT OF EARLY CHILDHOOD CARIES: A LONGITUDINAL STUDY | Prof. Dr. Arben Kola<br>Elira Hoxha<br>Dr. Gentian Leka |
| | | 5 | EVALUATION OF PATIENT SATISFACTION AND FUNCTIONAL OUTCOMES FOLLOWING IMPLANT-SUPPORTED PROSTHETIC REHABILITATION IN ELDERLY INDIVIDUALS | Assis. Prof. Dr. Klodiana Dervishi<br>Dr. Besnik Shehu |
| | | 6 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN ORAL RADIOLOGY: IMPROVING DIAGNOSTIC ACCURACY FOR MAXILLOFACIAL PATHOLOGIES | Prof. Dr. Fahad Al-Rashidi<br>Noura Al-Enezi<br>Dr. Abdullah Al-Harbi<br>Sara Al-Mutairi |
| | | 7 | CLINICAL AND MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF NOVEL ANTIBACTERIAL AGENTS IN THE PREVENTION OF PERI-IMPLANT DISEASES | Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Sabah |
| | | 8 | LONG-TERM PERFORMANCE OF CERAMIC VENEERS IN ESTHETIC DENTISTRY: FACTORS INFLUENCING SURVIVAL RATES AND PATIENT SATISFACTION | Prof. Dr. Pierre Dubois<br>Dr. Camille Laurent |
| | | 9 | INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN ORAL HEALTH LITERACY AND PREVENTIVE DENTAL ATTENDANCE AMONG ADULT POPULATIONS | Assis. Prof. Dr. Sophie Martin<br>Louis Bernard<br>Dr. Claire Moreau |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Assoc. Prof. Dr. Neelam Iyer** | 1 | CONSTITUTIONAL LAW AND CLIMATE-INDUCED MIGRATION GOVERNANCE IN POST-CONFLICT AFRICAN LEGAL SYSTEMS | Dr. Huda Mohamed Prof. Dr. Salim Abdalla |
| | | 2 | CRIMINAL JUSTICE REFORM AND HUMAN RIGHTS PROTECTION IN CONTEMPORARY SUDANESE LEGAL FRAMEWORKS | Amina Khalid<br><br>Assoc. Prof. Dr. Yasser Ibrahim |
| | | 3 | EVOLUTION OF MARITIME LAW AND COASTAL RESOURCE REGULATION IN THE INDIAN OCEAN ISLAND STATES | Prof. Dr. Juma Rashid<br>Dr. Fatma Suleiman<br>Ali Mwinyi |
| | | 4 | LAND OWNERSHIP DISPUTES AND TRADITIONAL LEGAL ORDERS IN EAST AFRICAN ISLAND COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Salma Hussein<br>Dr. Baraka Omar |
| | | 5 | DIGITAL PRIVACY RIGHTS AND DATA PROTECTION LAW IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDIA | Prof. Dr. Rajiv Menon<br>Dr. Ananya Sharma<br>Vikram Deshpande |
| | | 6 | CONSTITUTIONAL FREEDOMS AND JUDICIAL INTERPRETATION OF FUNDAMENTAL RIGHTS IN MODERN INDIA | Assoc. Prof. Dr. Neelam Iyer<br>Dr. Suresh Patel |
| | | 7 | EUROPEAN UNION LAW AND THE HARMONIZATION OF NATIONAL LEGAL SYSTEMS IN TRANSNATIONAL GOVERNANCE | Prof. Dr. Lorenzo Bianchi<br>Dr. Marta Conti<br>Giulia Ferraro |
| | | 8 | CIVIL LIABILITY AND REFORM OF TORT LAW IN CONTEMPORARY ITALIAN LEGAL SCHOLARSHIP | Assoc. Prof. Dr. Marco Rinaldi<br>Dr. Elisa Greco |
| | | 9 | INTERNATIONAL ARBITRATION AND COMMERCIAL DISPUTE RESOLUTION IN GLOBAL LEGAL PRACTICE | Prof. Dr. Alessandro Moretti<br>Dr. Francesca Lombardi<br>Luca De Santis |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Assoc. Prof. Dr. Liza Cruz<br>Dr. Ramon Villanueva** | 1 | URBANIZATION PROCESSES AND SOCIAL STRATIFICATION IN POST-CONFLICT SUDAN: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF RECONSTRUCTION AND INEQUALITY | Prof. Dr. Ahmed El-Nour<br>Dr. Salma Hassan |
| | | 2 | GENDER NORMS AND EDUCATIONAL ACCESS IN RURAL AND URBAN COMMUNITIES OF MODERN SUDAN | Assoc. Prof. Dr. Mariam Abdelrahman<br>Omar Siddig |
| | | 3 | DIGITAL CULTURE AND YOUTH IDENTITY FORMATION IN CONTEMPORARY FILIPINO SOCIETY | Prof. Dr. Miguel Santos<br>Dr. Andrea Reyes<br>Juan Dela Cruz |
| | | 4 | MIGRATION PATTERNS AND FAMILY STRUCTURE TRANSFORMATION IN THE PHILIPPINES IN THE AGE OF GLOBALIZATION | Assoc. Prof. Dr. Liza Cruz<br>Dr. Ramon Villanueva |
| | | 5 | CASTE-BASED INEQUALITY AND SOCIAL MOBILITY IN CONTEMPORARY INDIAN URBAN CENTERS | Prof. Dr. Arvind Mehta<br>Dr. Priya Sharma<br>Rohit Kulkarni |
| | | 6 | TECHNOLOGY ADOPTION AND LABOR MARKET CHANGES IN INDIA'S EMERGING MIDDLE CLASS | Assoc. Prof. Dr. Neelam Verma<br>Dr. Suresh Iyer |
| | | 7 | POST-SOCIALIST TRANSFORMATIONS AND SOCIAL INEQUALITY IN HUNGARIAN RURAL COMMUNITIES | Prof. Dr. Gábor Tóth<br>Dr. Eszter Nagy |
| | | 8 | YOUTH UNEMPLOYMENT AND SOCIAL EXCLUSION IN POST-TRANSITION HUNGARY | Assoc. Prof. Dr. László Kovács<br>Dr. Anna Farkas<br>Bence Molnár |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Dr. Kim Domingo** | 1 | GLOBAL SUPPLY CHAIN RESILIENCE AND RISK MANAGEMENT STRATEGIES IN EMERGING MARKET ENTERPRISES | Dr. Mariam Hassan |
| | | 2 | DIGITAL TRANSFORMATION AND FINTECH ADOPTION IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN AFRICA | Prof. Dr. Ahmed El-Tayeb<br>Assoc. Prof. Dr. Salma Ibrahim<br>Dr. Nadir Osman<br>Yusuf Abdalla |
| | | 3 | ENTREPRENEURIAL ECOSYSTEM DEVELOPMENT AND INNOVATION-LED GROWTH IN SOUTHEAST ASIA | Prof. Dr. Liza Cruz<br>Dr. Ramon Delgado<br>Maria Santos<br>Assoc. Prof. Dr. Paolo Reyes |
| | | 4 | CONSUMER BEHAVIOR SHIFTS AND BRAND LOYALTY IN DIGITAL RETAIL MARKETS IN THE PHILIPPINES | Dr. Kim Domingo |
| | | 5 | CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND TRANSPARENCY CHALLENGES IN POST-SOCIALIST ECONOMIES | Prof. Dr. Levan Giorgadze<br>Dr. Nino Makharadze<br>Giorgi Kvelidze |
| | | 6 | THE ROLE OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN ECONOMIC MODERNIZATION AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT | Assoc. Prof. Dr. Tamar Beridze<br>Dr. Irakli Kapanadze |
| | | 7 | SUSTAINABLE BUSINESS MODELS AND GREEN TRANSFORMATION STRATEGIES IN EUROPEAN CORPORATIONS | Assis. Prof. Dr. Zoltán Varga |
| | | 8 | DIGITAL MARKETING STRATEGIES AND SOCIAL MEDIA IMPACT ON CONSUMER DECISION-MAKING PROCESSES | Assoc. Prof. Dr. Balázs Tóth<br>Dr. Anna Farkas<br>Dr. Eszter Kovács<br>Attila Nagy |
| | | 9 | GLOBAL SUPPLY CHAIN RESILIENCE AND RISK MANAGEMENT STRATEGIES IN EMERGING MARKET ENTERPRISES | Dr. Mariam Hassan |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Assoc. Prof. Dr. Renald Pierre** | 1 | HOSPITAL RESOURCE OPTIMIZATION AND DIGITAL TRANSFORMATION IN MODERN HEALTHCARE MANAGEMENT SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Youssef Abdalla Prof. Dr. Ahmed El-Tahir<br>Dr. Salma Ibrahim Mohamed Hassan |
| | | 2 | HEALTHCARE FINANCING MODELS AND ACCESSIBILITY CHALLENGES IN LOW-INCOME REGIONS OF SUB-SAHARAN AFRICA | Dr. Amina Mohamed |
| | | 3 | PUBLIC HEALTH POLICY IMPLEMENTATION AND MATERNAL CARE IMPROVEMENT STRATEGIES IN RURAL SUDAN | Hassan Ali<br>Prof. Dr. Osman Suleiman<br>Dr. Nawal Idris |
| | | 4 | HEALTH INFORMATION SYSTEMS AND PATIENT DATA SECURITY IN EAST AFRICAN HOSPITAL NETWORKS | Assoc. Prof. Dr. Josephat Mrema<br>Dr. Rehema Kato |
| | | 5 | HEALTHCARE WORKFORCE DEVELOPMENT AND LEADERSHIP CHALLENGES IN POST-SOVIET GEORGIAN HEALTH SYSTEMS | Prof. Dr. Giorgi Kapanadze<br>Dr. Nino Beridze<br>Levan Mikadze |
| | | 6 | EMERGENCY RESPONSE MANAGEMENT AND HOSPITAL PREPAREDNESS FOR PUBLIC HEALTH CRISES IN GEORGIA | Assoc. Prof. Dr. Tamar Mchedlidze<br>Dr. Irakli Shengelia |
| | | 7 | HEALTH SYSTEM FRAGILITY AND INTERNATIONAL AID DEPENDENCY IN CARIBBEAN HEALTHCARE STRUCTURES | Prof. Dr. Jean Baptiste Laurent<br>Dr. Marie-Claire Joseph Pierre Louis |
| | | 8 | DIGITAL HEALTH INNOVATION AND TELEMEDICINE ADOPTION IN POST-DISASTER HAITIAN HEALTHCARE SETTINGS | Assoc. Prof. Dr. Renald Pierre<br>Dr. Sophie Desir |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Assoc. Prof. Dr. Yasser Mustafa** | 1 | EDUCATIONAL LEADERSHIP STRATEGIES AND POLICY IMPLEMENTATION EFFECTIVENESS IN CONTEMPORARY SCHOOL SYSTEMS | Prof. Dr. Ahmed Elamin<br>Dr. Salma Abdelrahman |
| | | 2 | DIGITAL TRANSFORMATION AND DATA-DRIVEN DECISION MAKING IN MODERN EDUCATIONAL MANAGEMENT STRUCTURES | Assoc. Prof. Dr. Yasser Mustafa |
| | | 3 | TEACHER MOTIVATION AND PERFORMANCE EVALUATION SYSTEMS IN PUBLIC EDUCATION INSTITUTIONS | Dr. Neema Mwakalinga<br>Prof. Dr. Josephine Mtega<br>Asha Kessy |
| | | 4 | CURRICULUM DEVELOPMENT REFORMS AND ADMINISTRATIVE CHALLENGES IN SECONDARY EDUCATION SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Baraka Mwita<br>Dr. Emmanuel Sefu |
| | | 5 | INCLUSIVE EDUCATION POLICIES AND SCHOOL MANAGEMENT PRACTICES IN MULTICULTURAL LEARNING ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Giorgi Meladze<br>Dr. Tamar Kapanadze<br>Luka Beridze |
| | | 6 | LEADERSHIP MODELS AND ORGANIZATIONAL CHANGE IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS | Assoc. Prof. Dr. Nino Khutsishvili<br>Dr. Vakhtang Lomidze |
| | | 7 | EDUCATIONAL FINANCING SYSTEMS AND RESOURCE ALLOCATION CHALLENGES IN DEVELOPING COUNTRIES | Prof. Dr. Jean-Baptiste Louis<br>Dr. Marie-Claire Augustin Pierre Noel |
| | | 8 | SCHOOL GOVERNANCE, COMMUNITY PARTICIPATION, AND ACCOUNTABILITY MECHANISMS IN URBAN EDUCATION SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Daniel St. Fleur<br>Dr. Rachel Auguste |
| | | 9 | STUDENT ACHIEVEMENT, EDUCATIONAL QUALITY ASSURANCE, AND POLICY REFORM IMPACTS IN CARIBBEAN SCHOOL SYSTEMS | Prof. Dr. Michel Dorsainvil<br>Dr. Nadine Laurent<br>Assoc. Prof. Dr. Josué Pierre |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Dr. Sofia Rojas** | 1 | CONTEMPORARY NEUROPSYCHOLOGICAL MECHANISMS OF STRESS REGULATION AND COGNITIVE RESILIENCE IN URBAN POPULATIONS | Prof. Dr. Wei Zhang<br>Dr. Li Na<br>Chen Yuxin Assoc. Prof. Dr. Junjie Huang |
| | | 2 | THE ROLE OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND WORKPLACE BURNOUT AMONG YOUNG ADULTS IN HIGH-DENSITY SOCIETIES | Dr. Ming Zhao |
| | | 3 | CULTURAL FACTORS IN ADOLESCENT ANXIETY DISORDERS AND COPING BEHAVIORS IN BANGLADESH | Dr. Nabila Rahman Prof. Dr. Rahman Siddique<br>Dr. Ayesha Karim<br>Tanvir Hossain |
| | | 4 | IMPACT OF SOCIAL MEDIA EXPOSURE ON SELF-ESTEEM AND IDENTITY FORMATION AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN SOUTH ASIA | Assoc. Prof. Dr. Farzana Islam |
| | | 5 | TRAUMA PSYCHOLOGY AND POST-CONFLICT ADAPTATION MECHANISMS IN LEBANESE YOUTH POPULATIONS | Prof. Dr. Karim Haddad<br>Dr. Lina Mansour<br>Rami El Zein |
| | | 6 | COGNITIVE BEHAVIORAL PATTERNS IN DEPRESSION AMONG REFUGEE COMMUNITIES IN THE MIDDLE EAST | Assoc. Prof. Dr. Samir Nassar<br>Dr. Hiba Khalil |
| | | 7 | NEURODEVELOPMENTAL OUTCOMES OF EARLY CHILDHOOD STRESS IN POST-REVOLUTIONARY CUBA | Prof. Dr. Alejandro Reyes<br>Dr. Marta Castillo<br>Luis Enrique Pérez |
| | | 8 | PSYCHOSOCIAL DETERMINANTS OF SUBSTANCE ABUSE RECOVERY IN CUBAN ADOLESCENTS<br>Assoc. Prof. Dr. Daniel Ortega | Dr. Sofia Rojas |
| | | 9 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Dr. Salwa Jasim** | 1 | COGNITIVE CONTROL MECHANISMS AND DECISION-MAKING PROCESSES IN ADOLESCENT BRAIN DEVELOPMENT | Dr. Sari Wulandari<br>Rizky Mahendra |
| | | 2 | THE ROLE OF EMOTIONAL REGULATION IN ACADEMIC STRESS MANAGEMENT AMONG UNIVERSITY STUDENTS | Assoc. Prof. Dr. Dimas Saputra<br>Nadia Putri Prof. Dr. Aditya Pranata Assoc. Prof. Dr. Vikram Sood |
| | | 3 | CROSS-CULTURAL STUDIES OF SOCIAL ANXIETY AND INTERPERSONAL COMMUNICATION PATTERNS IN INDIAN YOUTH POPULATIONS | Dr. Priya Nair<br>Prof. Dr. Arjun Mehta |
| | | 4 | PSYCHOLOGICAL IMPACT OF DIGITAL ADDICTION AND SOCIAL MEDIA USE ON COGNITIVE PERFORMANCE IN ADOLESCENTS | Dr. Kavita Sharma<br>Rohit Verma |
| | | 5 | TRAUMA EXPOSURE AND RESILIENCE DEVELOPMENT AMONG POST-CONFLICT POPULATIONS IN IRAQ | Prof. Dr. Ali Hassan Al-Mahdi<br>Dr. Zainab Kareem Hussein Abbas |
| | | 6 | THE EFFECTS OF FAMILY STRUCTURE ON CHILD PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN URBAN AND RURAL IRAQ | Dr. Salwa Jasim |
| | | 7 | NEUROPSYCHOLOGICAL CORRELATES OF ANXIETY DISORDERS IN ADOLESCENTS ACROSS IRANIAN POPULATIONS | Assoc. Prof. Dr. Omar Nasser Prof. Dr. Mohammad Reza Hosseini Dr. Leila Moradi Dr. Farid Kazemi |
| | | 8 | THE ROLE OF CULTURAL BELIEFS IN SHAPING MENTAL HEALTH ATTITUDES AND HELP-SEEKING BEHAVIOR IN IRAN | Assoc. Prof. Dr. Zahra Karimi<br>Nima Rezaei |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 11** | **Dr. Arjun Nair** | 1 | EARLY ISLAMIC THEOLOGY AND THE FORMATION OF INTELLECTUAL TRADITIONS IN THE NUSANTARA REGION | Assoc. Prof. Dr. Budi Santosa<br>Dr. Lestari Wulandari |
| | | 2 | COMPARATIVE STUDY OF RELIGIOUS PLURALISM AND INTERFAITH DIALOGUE IN CONTEMPORARY INDONESIAN THEOLOGICAL THOUGHT | Prof. Dr. Ahmad Syafii<br>Dr. Nur Aisyah<br>Fajar Hidayat |
| | | 3 | VEDIC AND UPANISHADIC INFLUENCES ON THE DEVELOPMENT OF CLASSICAL INDIAN THEOLOGICAL SYSTEMS | Prof. Dr. Rajiv Sharma<br>Dr. Ananya Mehta<br>Vikram Iyer<br><br>Assoc. Prof. Dr. Neha Kapoor |
| | | 4 | THE EVOLUTION OF HINDU PHILOSOPHICAL THEOLOGY IN MEDIEVAL SOUTH ASIA AND ITS TEXTUAL TRADITIONS | Dr. Arjun Nair |
| | | 5 | ISLAMIC THEOLOGICAL DISCOURSE AND THE DEVELOPMENT OF SHIA-SUNNI INTELLECTUAL DEBATES IN MEDIEVAL IRAQ | Prof. Dr. Ali Al-Mansouri<br>Dr. Hassan Karim<br>Omar Farooq |
| | | 6 | THE ROLE OF BAGHDAD SCHOLARLY CENTERS IN SHAPING CLASSICAL ISLAMIC THEOLOGY AND PHILOSOPHY | Assoc. Prof. Dr. Salim Al-Rashid<br>Dr. Layla Ahmed |
| | | 7 | CONTEMPORARY SHIA THEOLOGICAL THOUGHT AND THE INTERPRETATION OF MODERNITY IN IRANIAN RELIGIOUS STUDIES | Prof. Dr. Mohammad Reza Hosseini<br>Dr. Zahra Karimi<br>Dr. Ali Rezaei |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 12** | **Dr. Mireille Lawson** | 1 | DIGITAL BANKING TRANSFORMATION AND FINTECH ADOPTION IMPACT ON INDONESIAN ECONOMIC GROWTH STRUCTURE | Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso<br>Maya Kartika |
| | | 2 | FISCAL DECENTRALIZATION AND PUBLIC SECTOR EFFICIENCY IN WEST AFRICAN DEVELOPING ECONOMIES | Prof. Dr. Kossi Mensah<br>Dr. Afi Adjei<br>Kofi Mensah |
| | | 3 | AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND RURAL DEVELOPMENT POLICIES IN TOGO: ECONOMIC SUSTAINABILITY PERSPECTIVES | Dr. Mireille Lawson |
| | | 4 | RESOURCE DEPENDENCY AND ECONOMIC VOLATILITY IN BOLIVIA: A COMPARATIVE MACROECONOMIC ANALYSIS | Prof. Dr. Carlos Rojas<br>Dr. Elena Quispe<br>Luis Fernando Mamani<br>Assoc. Prof. Dr. Komlan Agbodan |
| | | 5 | INFORMAL ECONOMY STRUCTURES AND LABOR MARKET DYNAMICS IN BOLIVIAN URBAN CENTERS | Assoc. Prof. Dr. Jorge Villarroel<br>Dr. Maria Fernandez |
| | | 6 | TRADE CORRIDORS AND ECONOMIC GROWTH UNDER CPEC FRAMEWORK IN PAKISTAN | Prof. Dr. Imran Siddiqui<br>Dr. Ayesha Khan<br>Muhammad Bilal |
| | | 7 | INFLATION TARGETING AND CENTRAL BANK INDEPENDENCE IN PAKISTAN'S MACROECONOMIC STABILITY | Assoc. Prof. Dr. Saad Qureshi<br>Dr. Hina Malik |
| | | 8 | DIGITAL ECONOMY EXPANSION AND E-COMMERCE GROWTH IMPACT ON PAKISTAN'S YOUTH EMPLOYMENT STRUCTURE | Dr. Usman Tariq<br>Prof. Dr. Farhan Ali<br>Assoc. Prof. Dr. Nida Ahmed |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 13** | **Dr. Vo Anh Kiet** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION AND CULTURAL MEMORY PRESERVATION IN BALTIC ANTHROPOLOGICAL COMMUNITIES | Dr. Eglė Jankauskaitė<br>Prof. Dr. Mantas Petrauskas |
| | | 2 | RITUAL PRACTICES AND POST-SOVIET IDENTITY RECONSTRUCTION IN LITHUANIAN RURAL SOCIETIES | Assoc. Prof. Dr. Ieva Žukauskienė<br>Dr. Tomas Kavaliauskas<br>Asta Vaitkutė |
| | | 3 | ETHNOGRAPHIC STUDY OF URBAN MIGRATION PATTERNS AND FAMILY STRUCTURE CHANGES IN MEKONG DELTA | Prof. Dr. Nguyen Thanh Minh<br>Dr. Le Hoang An<br>Assoc. Prof. Dr. Pham Quoc Dung<br>Tran Thi Mai |
| | | 4 | TRADITIONAL HEALING PRACTICES AND BIOMEDICAL INTEGRATION IN CENTRAL VIETNAM HIGHLAND COMMUNITIES | Dr. Vo Anh Kiet<br>Assoc. Prof. Dr. Bui Thi Hong<br>Nguyen Van Loc |
| | | 5 | SOCIOLINGUISTIC TRANSFORMATIONS AND AMAZIGH IDENTITY IN NORTH AFRICAN URBAN SETTINGS | Prof. Dr. Ahmed Benyahia<br>Dr. Yasmine Khelifi<br>Assoc. Prof. Dr. Rachid Boudjemaa |
| | | 6 | PASTORAL NOMADISM AND CLIMATE ADAPTATION STRATEGIES IN SAHARA BORDERLAND COMMUNITIES | Dr. Samir Belkacem<br>Prof. Dr. Lila Gharbi |
| | | 7 | POST-MIGRATION CULTURAL HYBRIDITY AND DIASPORA NETWORKS IN BALKAN ANTHROPOLOGY | Dr. Elira Dervishi<br>Assoc. Prof. Dr. Arben Kola<br>Prof. Dr. Mira Hoxha |
| | | 8 | FAMILY STRUCTURE TRANSFORMATION AND GENDER ROLES IN CONTEMPORARY ALBANIAN SOCIETY | Dr. Besnik Leka<br>Arta Nika<br>Assoc. Prof. Dr. Ilir Meta |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 14** | **Prof. Dr. Samir Benkhelifa** | 1 | COGNITIVE FLEXIBILITY AND EXECUTIVE FUNCTIONING IN ADOLESCENT POPULATIONS: A CROSS-CULTURAL NEUROPSYCHOLOGICAL ANALYSIS | Prof. Dr. Eglė Jankauskaitė<br>Dr. Tomas Vaitkus |
| | | 2 | TRAUMA EXPOSURE AND RESILIENCE DEVELOPMENT IN EARLY ADULTHOOD: PSYCHODYNAMIC AND BEHAVIORAL INTEGRATION MODEL | Dr. Rūta Kazlauskienė |
| | | 3 | THE ROLE OF EMOTIONAL REGULATION AND MINDFULNESS IN REDUCING ACADEMIC ANXIETY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS | Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Minh Hoàng<br>Dr. Lê Thị Hạnh<br>Trần Quang Duy |
| | | 4 | SOCIAL MEDIA ADDICTION AND SELF-ESTEEM DYNAMICS IN EMERGING ADULTHOOD: A COGNITIVE-BEHAVIORAL PERSPECTIVE | Dr. Phạm Anh Tuấn<br>Assoc. Prof. Dr. Bùi Ngọc Lan |
| | | 5 | NEUROPSYCHOLOGICAL CORRELATES OF WORKPLACE STRESS AND DECISION-MAKING PERFORMANCE IN URBAN POPULATIONS | Prof. Dr. Samir Benkhelifa |
| | | 6 | POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER SYMPTOMATOLOGY AND COPING MECHANISMS AMONG ADOLESCENT REFUGEES: A MULTIDIMENSIONAL CLINICAL APPROACH | Dr. Amine Zerguine<br>Assoc. Prof. Dr. Nadia Khelifi<br>Prof. Dr. Yacine Boudjemaa<br>Dr. Salma Rahmani |
| | | 7 | THE IMPACT OF FAMILY DYNAMICS AND ATTACHMENT STYLES ON PERSONALITY DEVELOPMENT IN EARLY CHILDHOOD | Dr. Arben Hoxha<br>Assoc. Prof. Dr. Elira Dervishi |
| | | 8 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 15** | **Dr. El Hadj Ba** | 1 | DIGITAL ETHNOGRAPHY OF YOUTH IDENTITY FORMATION IN LITHUANIAN URBAN SUBCULTURES AND ONLINE SPACES | Assoc. Prof. Dr. Dainius Stankus<br>Aistė Malinauskaitė<br>Tomas Žilinskas |
| | | 2 | ETHNOGRAPHIC ANALYSIS OF NOMADIC HERITAGE AND MODERNIZATION IMPACTS ON PASTORAL COMMUNITIES IN CENTRAL KAZAKHSTAN | Dr. Ayanbek Nurmaganbetov<br>Zarina Sadvakassova<br>Bekzat Toleubay<br>Aruzhan Kassenova |
| | | 3 | CULTURAL TRANSFORMATION AND ETHNOGRAPHIC PERSPECTIVES ON URBAN MIGRATION PATTERNS IN SOUTHERN KAZAKHSTAN | Assoc. Prof. Dr. Gulnar Akhmetova<br>Nursultan Yermekov<br>Madina Suleimen |
| | | 4 | ETHNOGRAPHIC STUDY OF BEDOUIN SOCIAL STRUCTURES AND TRADITIONAL AUTHORITY SYSTEMS IN NORTHERN JORDAN | Prof. Dr. Omar Al-Khatib<br>Leila Al-Masri<br>Youssef Haddad |
| | | 5 | DIGITAL TRANSITION AND ETHNOGRAPHIC INSIGHTS INTO YOUTH CULTURE AND SOCIAL MEDIA USAGE IN AMMAN COMMUNITIES | Dr. Rana Abu Khalil<br>Hassan Al-Farouq<br>Maya Nasser<br>Omar Al-Rashid |
| | | 6 | ETHNOGRAPHIC EXPLORATION OF SAHARA DESERT COMMUNITIES AND ORAL TRADITION PRESERVATION IN MAURITANIA | Prof. Dr. Mohamed El Hacen<br>Aminata Ould Sidi<br>Cheikh Ahmed Baba<br>Fatimata Mint Abdallah |
| | | 7 | CULTURAL IDENTITY, ISLAMIC TRADITIONS, AND ETHNOGRAPHIC FIELDWORK AMONG RURAL MAURITANIAN COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Ahmedou Ould Mohamed<br>Sidi Mohamed Ould Yahya<br>Khadijetou Mint Ely |
| | | 8 | ETHNOGRAPHIC STUDY OF FISHING COMMUNITIES AND COASTAL LIVELIHOODS ALONG THE MAURITANIAN ATLANTIC SHORE | Dr. El Hadj Ba<br>Moussa Sy<br>Aissatou Mint Cheikh<br>Samba Ould Ndiaye |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ** | 1 | EXAMINATION OF THE ATTITUDES OF INDIVIDUALS PARTICIPATING IN FOLK DANCES TOWARD FOLK DANCES ACCORDING TO SOME VARIABLES | Rengin Turcan İskender<br>Prof. Dr. Hakkı Çoknaz |
| | | 2 | KIRSAL BÖLGELERDE YAŞAYAN ÇOCUKLARA TATLI SÜRPRİZİ: TATLI GÜNLER | Gülşade KURT<br>Prof. Dr. Buket ÖZDEMİR IŞIK |
| | | 3 | AGON'DAN ARETE'YE: ANTİK YUNAN SPOR KÜLTÜRÜNDE REKABET VE ERDEM | Ayşegül ÇİMENTEPE<br>Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ |
| | | 4 | TÜRKİYE'DE SPOR ALANINDA MOBBİNG: PRISMA TABANLI BİR SİSTEMATİK DERLEME | Belkıs KAHRAMAN<br>Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ |
| | | 5 | DETERMINATION OF THE PHYSICAL ACTIVITY LEVELS OF MOTHERS WITH CHILDREN WHO HAVE INTELLECTUAL AND PHYSICAL DISABILITIES | Seda EVYAPAN AYDIN<br>Doç. Dr. İbrahim DALBUDAK |
| | | 6 | YEŞİL SPOR YAKLAŞIMI KAPSAMINDA BİSİKLET SPORCULARINDA ÇEVRESEL DUYARLILIK VE KARBON AYAK İZİ BİLİNCİ | MELİSA GÜNDOĞDU<br>Prof. Dr. OĞUZHAN ALTUNGÜL |
| | | 7 | ULUSLARARASI ÖĞRENCİLERE YÖNELİK YAPILAN ŞEHİR VE KÜLTÜR GEZİLERİNİN KÜLTÜRLERARASI DUYARLILIK ÜZERİNDEKİ ROLÜ: TRABZON VE BAYBURT GEZİLERİ ÖRNEĞİ | Öğr. Gör., Ahmet SAYIN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Öğr. Gör. Hilal PEKDEMİR** | 1 | EXAMINATION OF THE COACH–ATHLETE RELATIONSHIP IN LICENSED ATHLETES | Öğr. Gör. Hilal PEKDEMİR<br>Prof. Dr. Tülin AKMAN<br>Doç. Dr. Şaban ÜNVER |
| | | 2 | EXAMINING ACADEMIC MOTIVATION LEVELS OF UNIVERSITY STUDENTS | Öğr. Gör. Hilal PEKDEMİR<br>Prof. Dr. Tülin AKMAN<br>Doç. Dr. Şaban ÜNVER |
| | | 3 | SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞININ REKREASYONEL SOSYAL SAĞLIK ALGISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: FOMO, YALNIZLIK VE YAŞAM DOYUMUNUN ARACILIK ROLÜ | Dr. Hasan Suat AKSU<br>Prof. Dr. Murat KOÇYİĞİT |
| | | 4 | ÖĞRETMEN TUTUMLARININ ENGELLİ ÇOCUKLARIN SPOR KATILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | Cansu SANTIRCIOĞLU<br>Doç. Dr. Sevim Handan YILMAZ |
| | | 5 | ENGELLİ BİREYLERDE FİZİKSEL AKTİVİTEYE KATILIMI ETKİLEYEN BARİYERLER VE KOLAYLAŞTIRICI FAKTÖRLER | ESRA PUL<br>Dr. Öğr. Üyesi Sevim Handan YILMAZ |
| | | 6 | SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN ZİHİNSEL ANTRENMAN VE İMGELEME DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ | Osman ÇETİNER<br>Prof. Dr. Sinan AKIN |
| | | 7 | ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE SPORDA KARŞIT GÖRÜŞE SAYGI VE EMPATİK EĞİLİM ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ: FIRAT ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ | Aysun ÖGE<br>Prof. Dr. Serdar ORHAN<br>Doç. Dr. Baha Engin ÇELİKEL<br>Arş. Gör. Ayşegül ARSLAN PAY |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖNSOY** | 1 | KOSGEB KREDİ FAİZ DESTEKLERİ KOBİ'LERİN FİNANSMANA ERİŞİMİNİ ARTIRIYOR MU? DÜZEY 2 BÖLGELERİ ÜZERİNE AMPİRİK BULGULAR | Dr. Kutay ŞENEL |
| | | 2 | BANKING AS A SERVICE (BaaS) WITHIN THE FRAMEWORK OF NEW-GENERATION BANKING APPROACHES | Murat GÜLEÇ,<br>Prof. Dr. Başak TANINMIŞ YÜCEMEMİŞ |
| | | 3 | ENDÜSTRİ 5.0 YAKLAŞIMININ ÜRETİM VE FİNANS YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİ:TEORİK BİR DEĞERLENDİRME | Özlem DOĞAN<br>Sinan ÇAVUŞOĞLU |
| | | 4 | YEŞİL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE ÜRETİM İŞLETMELERİNİN FİNANSMAN SORUNLARI SÜRDÜRÜLEBİLİR FİNANS YAKLAŞIMLARI | Özlem DOĞAN<br>Sinan ÇAVUŞOĞLU |
| | | 5 | ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE FİNANSAL RAPORLAMA STANDARTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Burak SEVREN<br>Doç. Dr. Sinem AYDIN |
| | | 6 | SG RAPORLAMASINDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI VE GREENWASHİNG RİSKİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR FİNANS LİTERATÜRÜ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR İNCELEME | Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖNSOY |
| | | 7 | DAVRANIŞSAL FİNANS PERSPEKTİFİNDEN SOSYAL MEDYANIN YATIRIM KARARLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: LİTERATÜR DERLEMESİ | Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖNSOY |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARASU** | 1 | THE CULTURAL PATTERN OF VAN: A THEORETICAL ASSESSMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF DIGNITY, HONOR, AND FACE CULTURES | Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARASU |
| | | 2 | NARSİSTİK EĞİLİMLER VE YAKINLIK KORKUSU ARASINDAKİ İLİŞKİDE ÖZ-ŞEFKAT VE ŞEFKAT KORKUSUNUN ARACI ROLÜ | Elif Şule Baycan Salt<br>Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Batuhan Kurtoğlu |
| | | 3 | AN INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF AUTISM SPECTRUM DISORDER | Prof. Dr. Aida SAHMUROVA<br>Mustafa Batuhan DEMİR |
| | | 4 | ŞÜPHECİ İYİMSERLİK ÖLÇEĞİ KISA FORMUNUN TÜRKÇEYE UYARLANMASI: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI | Yüksek Lisans Öğrencisi Eslem Meryem YILDIRIM<br>Prof. Dr. Halil EKŞİ |
| | | 5 | MADDE KÖTÜYE KULLANIMININ PALYATİF BAKIM GEREKTİREN HASTALIKLARLA İLİŞKİSİ: SİROZ, AKCİĞER KANSERİ, HIV/AIDS VE KOAH ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME | Aydın DÜNDAR<br>Dr. Öğr. Üyesi Cezmi ERVÜZ |
| | | 6 | ENGELLİ ÇOCUK ANNELERİNDE ANNELİKTEN BAKIM VEREN ROLÜNE GEÇİŞ: KİMLİK DÖNÜŞÜMÜ VE AİLE DANIŞMANLIĞI PERSPEKTİFİ | Psikolog Sümeyya HOLTA<br>Doç. Dr. Mahmut YARAN |
| | | 7 | THE MEDIATING ROLE OF EMOTION SOCIALIZATION IN THE RELATIONSHIP BETWEEN MOTHERS' PARENTING SELF-EFFICACY AND CHILDREN'S SOCIAL COMPETENCE AND BEHAVIOR PROBLEMS IN EARLY CHILDHOOD (AGES 3-6) | Psk. Fatma AVŞAROĞLU<br>Dr. Öğr. Üyesi R. Çağlar ERCEN |
| | | 8 | ANNELERIN KENDI EBEVEYNLERINDEN ALGILADIKLARI KABUL VE RED ILE OKUL ÖNCESI DÖNEM ÇOCUKLARIN KAYGI DÜZEYLERI ARASINDAKI İLIŞKIDE, DUYGU SOSYALLEŞTIRME TEPKILERININ ARACILIK ROLÜ | Psk. Beyza Erol<br>Dr. Öğr. Üyesi Diler Hatipoğlu |
| | | 9 | UTANÇ, SUÇLULUK VE BENLİK SAYGISI ARASINDAKİ İLİŞKİDE ERKEN DÖNEM UYUMSUZ ŞEMALARIN ARACI ROLÜ | Marzieh Mohammadinia<br>Dr. Öğr. Üyesi Diler HATİPOĞLU |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Hilal BERBER** | 1 | HELİKOPTER EBEVEYN TUTUMLARININ ERGENLERİN KARAR VERME BECERİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE KAYGININ ARACI ROLÜ | Yüksek Lisans Öğrencisi Shahla BAGHIROVA<br>Dr. Öğr. Üyesi Yusuf GÜREL |
| | | 2 | BELİREN YETİŞKİNLERDE SANAL DEDİKODU, İLETİŞİM BECERİLERİ VE YAŞAM DOYUMU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Abdurrahim BAY<br>Doç. Dr. Fuad BAKİOĞLU |
| | | 3 | MİZAH YOLUYLA BAŞA ÇIKMA İLE İŞ DOYUMU ARASINDAKİ İLİŞKİDE PSİKOLOJİK SAĞLAMLIĞIN ARACI ROLÜ | Yüksek Lisans Öğrencisi Aleyna Atak Üst<br>Prof. Dr. Seydi Ahmet SATICI |
| | | 4 | YETİŞKİNLERDE BAĞLANMA STİLLERİ, DUYGUSAL NEGATİFLİK VE RUMİNASYON ARASINDAKİ İLİŞKİLER | Başak YAŞAR<br>Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Aslan |
| | | 5 | MAVI YAKALI ÇALIŞANLARDA İŞ-YAŞAM DENGESININ DEMOGRAFIK DEĞIŞKENLER VE ÇALIŞMA KOŞULLARI AÇISINDAN İNCELENMESI: BURSA ORGANIZE SANAYI BÖLGELERI ÖRNEĞI | Hilal BERBER |
| | | 6 | EBEVEYN DUYGU DÜZENLEME BECERİLERİ VE EBEVEYN-ERGEN İLİŞKİ NİTELİĞİNİN ERGENLİK DÖNEMİ BAĞLANMA DÜZEYİ İLE İLİŞKİSİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe Betül YILDIRIM<br>Dr. Öğr. Üyesi Yusuf GÜREL |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Res. Asst. Sümeyye Eliz BURHAN** | 1 | ÜNİVERSİTEYE BAĞLILIK ÖLÇEĞİ KISA FORMU'NUN TÜRK KÜLTÜRÜNE UYARLANMASI: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI | Lisansüstü Öğrencisi Ezgi Sueda BATTAL<br>Prof. Dr. Halil EKŞİ |
| | | 2 | VİRGİNİA SATİR'İN KÜLTÜRLER ARASI UYGULAMASI AÇISINDAN TÜRKİYE'DEKİ DİNAMİĞİ | Doç.Dr. Meral SERT<br>Psk.Dan. Ayşe Şule YAVAŞ |
| | | 3 | THE RELATIONSHIP BETWEEN POST-TRAUMATIC COGNITIONS, POST-TRAUMATIC STRESS AND FORGIVENESS | Klinik Psikolog Büşra KARALALI KARASU<br>Doç.Dr.Meral SERT |
| | | 4 | KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ VE AKADEMİK ÖZYETERLİLİK DÜZEYİNİN GELECEK KAYGISI İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ | Merve ABAŞ<br>Prof. Dr. Ercan KOCAYÖRÜK |
| | | 5 | 2019-2026 DÖNEMİNDE TÜRKİYE'DE KUMAR BAĞIMLILIĞI ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALARIN KAPSAM DERLEMESİ | Gökçe KUYUMCU<br>Dr. Öğr. Üyesi Saadet ÖZTÜRK |
| | | 6 | LOW-TECH, HIGH ENGAGEMENT: A QUALITATIVE CASE STUDY OF HEADSET-FREE VIRTUAL REALITY EXPERIENCES IN EFL CLASSROOMS | Asst. Prof. Cemil Gökhan KARACAN<br>Res. Asst. Sümeyye Eliz BURHAN |
| | | 7 | SOCIAL ANXIETY AND LIFE SATISFACTION AMONG SOCIAL MEDIA USERS: THE ROLE OF APPEARANCE-RELATED SOCIAL MEDIA CONSCIOUSNESS | Res. Asst. Sümeyye Eliz BURHAN<br>PCG Student Çağla KABAKCI<br>PCG Student Sıla DENİZ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Dr. İbrahim MAVİ** | 1 | "DISCRETE, MASC4MASC, NO FEM" UNDERSTANDING HEGEMONIC MASCULINITY ON A GAY DATING APP IN TÜRKİYE | Barış VELİOĞLU |
| | | 2 | SOCIOLOGICAL EFFECTS OF TRANSFORMING FAMILY STRUCTURES DURING SOCIAL CHANGE ON THE EXPERIENCE OF OLD AGE | Dr. İbrahim MAVİ |
| | | 3 | PREKARYALAŞMA VE HABİTUS: NEOLİBERAL DÖNEMDE BELİRSİZLİĞİN İÇSELLEŞTİRİLMESİ | Yüksek Lisans Öğrencisi İrem EŞE |
| | | 4 | MİNDFULNESS VE FELSEFİ SORGULAMA TEMELLİ BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM: MİNDFUL FELSEFE | Bilim Uzmanı Zeynep KORKMAZ<br>Uzman Sosyolog Pınar BENEK |
| | | 5 | EV İÇİ ROLLER VE "GÖRÜNMEZ YARDIMCI" OLARAK TEKNOLOJİ: MODERN AİLENİN DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜ VE TOPLUMSAL CİNSİYET PARADOKSU | Prof. Dr. Dolunay ŞENOL<br>Sosyolog Halil İbrahim TEMEL |
| | | 6 | AİLE İÇİ İLETİŞİMİN EVLİLİK DOYUMUNA ETKİSİ | Prof. Dr. Dolunay ŞENOL<br>Sosyolog Gülten Büşra DEMİR |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Eda Toğaçar** | 1 | SURİYELİ GÖÇMEN KADINLARDA SOSYAL DIŞLANMIŞLIK; KAHRAMANMARAŞ ÖRNEĞİ | Gülbahar Sağır<br>Prof. Dr. Yücel Karadaş |
| | | 2 | GEÇİCİ KORUMA STATÜSÜNDEKİ SURİYE UYRUKLU YABANCILARA YÖNELİK KALICI ÇÖZÜMLER | Mehmet ERKOÇ |
| | | 3 | SURİYE'DEN TÜRKİYE'YE GÖÇ SÜRECİNDE KADINLARIN DENEYİMLERİ: FIRSATLAR, RİSKLER VE TOPLUMSAL DÖNÜŞÜM | Büşra TAŞ |
| | | 4 | EXAMINATION OF SYRIAN MIGRANT CHILDREN'S TURKISH LANGUAGE PROFICIENCY IN THE CONTEXT OF SOCIAL ADAPTATION AND FAMILY INTEGRATION | Resul KARADUMAN<br>Asst. Prof. Dr. Saniye TEZE |
| | | 5 | THE 1989 MIGRATION: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS ON THE FORCED MIGRATION AND ADAPTATION PROCESSES OF BULGARIAN TURKS | Sena Duman |
| | | 6 | SECURITIZATION APPROACH IN INTERNATIONAL MIGRATION POLICIES: A THEORETICAL ANALYSIS | Eda Toğaçar |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Assistant Professor Emine Ebru BOZÇELİK** | 1 | NIGERIA IN THE EMERGING MULTIPOLAR GLOBAL ORDER: STRATEGIC RELEVANCE, POLITICAL-ECONOMIC CONTRIBUTIONS, AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT | Abdulmajid Sani Buba |
| | | 2 | INTERNAL PARTY DEMOCRACY AND ELECTORAL CONSOLIDATION IN NIGERIA: LESSONS FROM THE 2026 PRIMARIES AND IMPLICATIONS FOR THE 2027 GENERAL ELECTION FOCUS: | Abdulmajid Sani Buba |
| | | 3 | AN EVALUATION OF PUBLIC COSTS RELATED TO CHILDREN IN CONFLICT WITH THE LAW IN TÜRKİYE WITHIN THE SCOPE OF EXPENDITURE DYNAMICS AND VICTIMIZATION COSTS (2014–2025) | Assistant Professor Emine Ebru BOZÇELİK |
| | | 4 | KENTSEL DİRENÇLİLİK VE YEREL KURUMSAL KAPASİTE: KRİZ YÖNETİMİNDE BELEDİYELERİN STRATEJİK ROLÜ | Dr. Öğr. Üyesi Rahime ÇERÇİ |
| | | 5 | TOWARDS ANTICIPATORY GOVERNANCE IN BAGHDAD: AN EXPLORATORY STUDY | Mohammed Khairullah FARHAN<br>Doç. Dr. Rukiye Mehtap ÖZLÜ |
| | | 6 | THE HYBRID MODEL IN MUNICIPAL SOCIAL ASSISTANCE: RIGHTS-BASED DISCOURSE AND PHILANTHROPIC PRACTICE | Baran DİLEK<br>Dr. Öğr. Üyesi Sakine ARSLAN ERBAŞ |
| | | 7 | THE EUROPEAN UNION'S CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM (CBAM) AND TÜRKIYE: AN INTERNATIONAL POLITICAL ECONOMY ANALYSIS OF TRADE, INDUSTRIAL TRANSFORMATION, AND COMPETITIVENESS UNDER CLIMATE-ORIENTED POLICIES | ALPEREN ÖZEK |
| | | 8 | JİMMY CARTER YÖNETİMİNİN TÜRKİYE POLİTİKASINA İRAN DEVRİMİNİN ETKİSİ | NURULLAH ÇABUK<br>Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Murat ÜSTÜNDAĞ |
| | | 9 | SİYASAL İSLAM DÜŞÜNCESİNDE DEMOKRATİK KATILIM VE LAİKLİK ALGISI: SEYYİD KUTUB İLE RAŞİD GANNÛŞÎ'NİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ | Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra DAŞ |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU** | 1 | ANTİK MISIR'DAN GÜNÜMÜZE KADININ GÜCÜNÜ YANSITAN KIYAFET TASARIMLARI: KLEOPATRA ÖRNEĞİ | Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR<br>Yüksek Lisans Ayşe Gül ÇİFTÇİOĞLU |
| | | 2 | TÜRKÜLERDEN KIYAFETLERE YANSIYAN SESLER: SİVAS TÜRKÜLERİ | Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR<br>Yüksek Lisans Eda KÜTÜKTE |
| | | 3 | TILE DECORATIONS OF KUTAHYA HISARBEY (SARAY) MOSQUE | Alihan ÇAĞMAN |
| | | 4 | MERKEZDEN TAŞRAYA ULUSAL MİMARLIK: TEKİRDAĞ ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME | Bilim Uzmanı Didem MERİÇ KARPUZ<br>Prof. Dr. Lütfiye GÖKTAŞ KAYA |
| | | 5 | RENK, YÜZEY, ANLAM: MOZAİK TEKNİĞİNİN SERAMİK SANATINDAKİ KAVRAMSAL YOLCULUĞU | Şebnem ÖZCAN<br>Prof. Leman KALAY |
| | | 6 | DOMESTIC ANXIETY AND ARCHITECTURAL UNCERTAINTY: A SEMIOTIC ANALYSIS OF SPACE AND TRAUMA IN THE MONSTER HOUSE | Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU |
| | | 7 | QUALITATIVE CONTENT ANALYSIS OF PSYCHOANALYTIC HORROR IN CHILDREN'S STOP-MOTION HORROR CINEMA | Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU |
| | | 8 | SERAMİK ESERLERLE MEKÂNIN YENİDEN KURGULANMASI: GALERİ DIŞINDA SERGİLEME BİÇİMLERİ | Nedim Can ÇAKO<br>Prof. Leman KALAY |

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
June 12 – 14, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

**14 Haziran / June 14, 2026 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)**

| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
|---|---|---|---|---|
| **HALL / SALON 11** | **Prof. Dr. Canan KOÇ** | 1 | THE PEDAGOGY OF CARE AS TRANSFORMATIVE PRACTICE IN HIGHER EDUCATION: A PRACTICE-INFORMED COLLECTIVE ETHNOGRAPHY | Rafik El-Amine GHOBRINI<br>Abdelhakim Fetnaci |
| | | 2 | AN IDEAL FOREIGN LANGUAGE TEACHER ACCORDING TO THE MEDICAL STUDENTS' OPINION | Associate Professor Olyesya RAZDORSKAYA |
| | | 3 | CREATIVE DRAMA ACTIVITIES IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS' ADJUSTMENT TO SCHOOL: TEACHER CANDIDATE VIEWS | Yunus DEMİRDAĞ<br>Dr. Öğr. Üyesi Songül PEKTAŞ |
| | | 4 | EFFECTIVENESS OF METACOGNITIVE STRATEGY INSTRUCTION ON IMPROVING ENGLISH WRITING: A META ANALYSIS | Gülşen KÜÇÜKYILMAZ<br>Prof. Dr. Emrah CİNKARA |
| | | 5 | YABANCI DİL OLARAK TÜRKÇE ÖĞRENENLERİN ÖZETLEME STRATEJİLERİNİ KULLANIMI: BOYLAMSAL BİR İNCELEME | Yüksek Lisans Öğrencisi Sena KAYNAK<br>Dr. Öğr. Üyesi M. Özgün HARMANKAYA |
| | | 6 | ÇEVRE EĞİTİMİNDE ÖRNEK BİR UYGULAMA: ATIKLAR ÇÖP OLMASIN | Prof. Dr. Canan KOÇ<br>Bekir İLHAN |
| | | 7 | ÖZ DÜZENLEME YÖNLENDİRİCİLERİYLE DESTEKLENEN EV ÖDEVLERİNİN İLKOKUL 4. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN ÖZ DÜZENLEME BECERİLERİ VE MOTİVASYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | Prof. Dr. Canan KOÇ<br>Semanur IŞIK |
| | | 8 | OKUL ÖNCESİ DÖNEME YÖNELİK DİJİTAL İÇERİKLERDE SAĞLIK DAVRANIŞLARI: YOUTUBE KİDS TÜRKİYE ÜZERİNDEN BİR DOKÜMAN İNCELEMESİ | Uğur Enis KILIÇ<br>Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN |
| | | 9 | "DERSTEN BANA KALANLAR": OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ ALAN DENEYİMİ DERSİNE İLİŞKİN YANSITICI DEĞERLENDİRMELERİ | Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 1** | **Assoc. Prof. Dr. Youssef Haddad** | 1 | CONTEMPORARY DIGITAL RITUALS AND IDENTITY CONSTRUCTION IN URBAN COMMUNITIES: AN ETHNOGRAPHIC ANALYSIS OF TRANSFORMING SYMBOLIC PRACTICES | Prof. Dr. Eglė Jankauskaitė<br>Dr. Tomas Petrauskas<br>Rūta Žilinskienė |
| | | 2 | BIOCULTURAL ADAPTATION STRATEGIES AND CLIMATE CHANGE RESILIENCE AMONG COASTAL POPULATIONS IN THE BALTIC REGION | Assoc. Prof. Dr. Jonas Kavaliauskas<br>Aistė Meškaitė<br>Mantas Vaitiekus |
| | | 3 | POST-INDUSTRIAL MEMORY AND COLLECTIVE TRAUMA IN JAPANESE URBAN LANDSCAPES: AN ANTHROPOLOGICAL PERSPECTIVE ON SPACE AND REMEMBRANCE | Prof. Dr. Hiroshi Tanaka<br>Dr. Yuki Nakamura<br>Assoc. Prof. Dr. Kenji Sato<br>Emi Watanabe |
| | | 4 | THE ROLE OF RITUAL PERFORMANCE IN SHAPING SOCIAL HIERARCHIES IN CONTEMPORARY JAPANESE RURAL COMMUNITIES | Dr. Keiko Fujimori<br>Takumi Hayashi |
| | | 5 | DIGITAL NOMADISM AND CULTURAL HYBRIDITY: AN ETHNOGRAPHIC STUDY OF TRANSNATIONAL WORKERS IN AMMAN | Prof. Dr. Ahmad Al-Khatib<br>Dr. Lina Al-Masri<br>Omar Nasser |
| | | 6 | TRADITIONAL HERBAL KNOWLEDGE AND MODERN MEDICAL PRACTICES: ANTHROPOLOGICAL INSIGHTS FROM BEDOUIN COMMUNITIES IN SOUTHERN JORDAN | Assoc. Prof. Dr. Youssef Haddad<br>Dr. Salma Al-Rashid |
| | | 7 | INDIGENOUS IDENTITY AND TECHNOLOGICAL MODERNIZATION AMONG THE AMIS PEOPLE: CULTURAL TRANSFORMATION IN EASTERN TAIWAN | Prof. Dr. Ming-Chen Lin<br>Dr. Hsiao-Yu Chen |
| | | 8 | URBAN MIGRATION AND INTERGENERATIONAL CULTURAL TRANSMISSION IN CONTEMPORARY TAIPEI: AN ETHNOGRAPHIC STUDY OF FAMILY STRUCTURES | Dr. Po-Jen Liu<br>Prof. Dr. Shu-Fen Wang |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 2** | **Assoc. Prof. Dr. Marzhan Iskakova** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION AND INNOVATIVE LEARNING STRATEGIES IN MODERN HIGHER EDUCATION | Prof. Dr. Jonas Petraitis<br>Aistė Kazlauskienė |
| | | 2 | INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES AND STUDENT ENGAGEMENT IN MULTICULTURAL CLASSROOMS | Dr. Eglė Jankauskaitė<br>Assoc. Prof. Dr. Mantas Vaitkus<br>Laura Petrauskaitė |
| | | 3 | TEACHER TRAINING CHALLENGES AND CURRICULUM DEVELOPMENT IN POST-CONFLICT EDUCATION SYSTEMS | Prof. Dr. Ahmed El-Mahdi<br>Salma Al-Khatib<br>Dr. Omar Farouk |
| | | 4 | DIGITAL LITERACY AND EDUCATIONAL REFORM STRATEGIES IN SECONDARY SCHOOLS | Assoc. Prof. Dr. Noura Ben Ali<br>Hassan Al-Masri<br>Dr. Lina Aboud |
| | | 5 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN PERSONALIZED LEARNING ENVIRONMENTS | Dr. Aigerim Sadykova<br>Prof. Dr. Yerlan Nurgaliyev<br>Dana Tleubayeva |
| | | 6 | HIGHER EDUCATION QUALITY ASSURANCE AND STUDENT PERFORMANCE EVALUATION MODELS | Assoc. Prof. Dr. Marzhan Iskakova<br>Dr. Timur Akhmetov |
| | | 7 | AI-ENHANCED LANGUAGE LEARNING AND DIGITAL PEDAGOGY TRANSFORMATION | Prof. Dr. Wei-Lun Chen<br>Dr. Hsin-Yi Lin<br>Mei-Ju Huang |
| | | | SUSTAINABLE EDUCATION POLICIES AND TECHNOLOGY-DRIVEN CLASSROOM INNOVATION | Assoc. Prof. Dr. Chih-Cheng Wang<br>Prof. Dr. Shu-Fang Lee<br>Dr. Yuting Huang |
| | | 8 | EMERGING TRENDS IN EDUCATIONAL DATA ANALYTICS AND LEARNING OUTCOME OPTIMIZATION | Dr. Po-Han Liu<br>Assoc. Prof. Dr. Yi-Chen Kuo<br>Hao-Wei Chang |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 3** | **Assoc. Prof. Dr. Mariam Al-Zawiya** | 1 | PUBLIC SERVICE DIGITAL TRANSFORMATION AND CITIZEN-CENTERED GOVERNANCE MODELS IN THE BALTIC REGION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF E-GOVERNMENT EFFICIENCY AND TRUST FORMATION | Dr. Rūta Jankauskaitė<br>Assoc. Prof. Dr. Mantas Petrauskas<br>Prof. Dr. Eglė Šimaitė |
| | | 2 | PUBLIC SECTOR INNOVATION AND TRANSPARENCY MECHANISMS IN LOCAL ADMINISTRATIONS: IMPACT OF DATA-DRIVEN POLICY MAKING ON ADMINISTRATIVE PERFORMANCE | Dr. Tomas Vaitiekūnas<br>Assoc. Prof. Dr. Lina Kazlauskienė |
| | | 3 | PUBLIC ADMINISTRATION REFORM AND POST-CONFLICT GOVERNANCE STRUCTURES: CHALLENGES OF INSTITUTIONAL CAPACITY BUILDING IN NORTH AFRICA | Prof. Dr. Salim Al-Maghrebi<br>Dr. Aisha El-Fitouri<br>Assoc. Prof. Dr. Omar Ben Khaled<br>Dr. Huda Al-Senussi |
| | | 4 | E-GOVERNMENT IMPLEMENTATION AND DIGITAL SERVICE DELIVERY IN MUNICIPAL GOVERNANCE: EVALUATING ADMINISTRATIVE EFFICIENCY IN EMERGING STATES | Dr. Khaled Al-Din<br>Assoc. Prof. Dr. Mariam Al-Zawiya |
| | | 5 | STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS: PERFORMANCE-ORIENTED REFORMS AND POLICY SUSTAINABILITY IN CENTRAL ASIA | Prof. Dr. Ayanbek Sarsembayev<br>Dr. Gulnara Tulegenova<br>Assoc. Prof. Dr. Marat Kassenov |
| | | 6 | PUBLIC POLICY DESIGN AND REGULATORY GOVERNANCE IN RESOURCE-BASED ECONOMIES: ANALYZING INSTITUTIONAL ADAPTATION AND ECONOMIC RESILIENCE | Dr. Yerzhan Mukashev<br>Assoc. Prof. Dr. Aigul Nursultanova |
| | | 7 | SMART CITY DEVELOPMENT AND DIGITAL GOVERNANCE TRANSFORMATION IN EAST ASIA: INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO PUBLIC SERVICE DELIVERY | Prof. Dr. Wei-Chen Lin<br>Dr. Hsin-Yu Chen<br>Assoc. Prof. Dr. Chih-Ming Huang<br>Dr. Pei-Ling Tsai |
| | | 8 | CRISIS MANAGEMENT AND DISASTER GOVERNANCE IN COASTAL METROPOLITAN AREAS: ENHANCING PUBLIC SECTOR RESPONSE CAPACITY THROUGH TECHNOLOGICAL INTEGRATION | Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Wang<br>Dr. Chao-Lin Hsu |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 4** | **Prof. Dr. Aigerim Sarsenova** | 1 | DIGITAL SOCIAL WORK TRANSFORMATION AND REFUGEE INTEGRATION IN COASTAL MOROCCAN URBAN SETTINGS: CHALLENGES AND POLICY IMPLICATIONS | Dr. Youssef Benkirane<br>Dr. Amina El Fassi |
| | | 2 | COMMUNITY-BASED CHILD PROTECTION MODELS AND POVERTY REDUCTION STRATEGIES IN RURAL MOROCCO: A SOCIAL WORK INTERVENTION FRAMEWORK | Assoc. Prof. Salma Rachid<br>Dr. Leila Bouzid<br>Hicham Zahir |
| | | 3 | POST-CONFLICT MENTAL HEALTH AND SOCIAL WORK PRACTICES FOR DISPLACED POPULATIONS IN LIBYA: A RESILIENCE-BASED APPROACH | Prof. Dr. Nasser Al-Maghrabi<br>Dr. Iman Al-Senussi |
| | | 4 | URBAN SOCIAL SERVICE DELIVERY AND MIGRANT INTEGRATION CHALLENGES IN LIBYA: POLICY DEVELOPMENT AND PRACTICE IN SOCIAL WORK | Assis. Prof. Khaled Al-Douri<br>Dr. Mariam Fathi<br>Prof. Dr. Abdulrahman El-Khattabi |
| | | 5 | AGING POPULATION AND ELDER CARE SOCIAL POLICY REFORMS IN KAZAKHSTAN: SUSTAINABILITY AND COMMUNITY SUPPORT SYSTEMS | Prof. Dr. Aigerim Sarsenova |
| | | 6 | DOMESTIC VIOLENCE INTERVENTION SYSTEMS AND MULTI-AGENCY SOCIAL WORK COLLABORATION IN CENTRAL KAZAKHSTAN | Dr. Yerlan Kassym<br>Assoc. Prof. Dana Zholdas |
| | | 7 | EARTHQUAKE PREPAREDNESS AND COMMUNITY RESILIENCE THROUGH SOCIAL WORK PRACTICES IN TAIWAN: DISASTER RESPONSE AND RECOVERY MODELS | Prof. Dr. Mei-Ling Chen<br>Dr. Hsin-Yi Wang<br>Assis. Prof. Chia-Hao Lin |
| | | 8 | INDIGENOUS SOCIAL WELFARE SYSTEMS AND CULTURAL COMPETENCE IN MODERN SOCIAL WORK PRACTICE IN TAIWAN | Prof. Dr. Yu-Ting Huang<br>Dr. Po-Jen Lin |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 5** | **Dr. Ayan Tursynbek<br>Dr. Madina Kassenova** | 1 | EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL ETHICS IN MODERN NORTH AFRICAN THOUGHT | Prof. Dr. Youssef El Amrani<br>Dr. Salma Bennis |
| | | 2 | PHENOMENOLOGICAL READINGS OF IDENTITY AND MEMORY IN CONTEMPORARY MAGHREB PHILOSOPHY | Assoc. Prof. Dr. Amina El Khatib<br>Dr. Rachid Benali<br>Dr. Leila Zahir |
| | | 3 | AFRICAN COMMUNALISM AND THE LIMITS OF WESTERN INDIVIDUALISM IN MORAL PHILOSOPHY | Dr. John M. Nyerere<br>Assoc. Prof. Dr. Asha K. Mboya<br>Prof. Dr. Elias M. Chuma |
| | | 4 | ONTOLOGY OF TRADITION: RETHINKING UBUNTU-LIKE CONCEPTS IN EAST AFRICAN EPISTEMOLOGY | Dr. Neema S. Mwinyi<br>Prof. Dr. David O. Kileo |
| | | 5 | THE DIALECTICS OF MODERNIZATION AND CULTURAL MEMORY IN CENTRAL ASIAN PHILOSOPHICAL DISCOURSE | Dr. Ayan Tursynbek<br>Dr. Madina Kassenova |
| | | 6 | LOGICAL STRUCTURES AND ETHICAL FORMALISM IN POST-SOVIET PHILOSOPHICAL THOUGHT | Assoc. Prof. Dr. Yerlan Akhmetov<br>Dr. Gulnara Sadykova<br>Prof. Dr. Timur Zhakupov |
| | | 7 | CONTEMPORARY SPANISH PRAGMATISM AND THE RECONSTRUCTION OF PUBLIC REASON | Prof. Dr. Javier M. Ortega<br>Dr. Lucia Fernández<br>Assoc. Prof. Dr. Marta I. Ríos |
| | | 8 | PHILOSOPHY OF LANGUAGE AND POLITICAL DISCOURSE IN IBERIAN INTELLECTUAL TRADITIONS | Dr. Carlos Vega<br>Prof. Dr. Isabel Navarro |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 6** | **Dr. Pablo Herrera** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION OF LANGUAGE TEACHING IN MOROCCAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS | Assoc. Prof. Dr. Nadia Kettani<br>Dr. Omar Zahir<br>Prof. Dr. Hicham El Amrani |
| | | 2 | POSTCOLONIAL NARRATIVES AND POWER STRUCTURES IN WEST AFRICAN LITERARY TEXTS | Prof. Dr. Chinedu Okafor<br>Dr. Aisha Bello<br>Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Sani<br>Dr. Grace Nwosu |
| | | 3 | LINGUISTIC HYBRIDITY AND CULTURAL MEMORY IN CONTEMPORARY NIGERIAN FICTION | Dr. Tunde Adebayo<br>Dr. Zainab Musa<br>Dr. Nkechi Umeh |
| | | 4 | ORAL TRADITIONS AND MODERN POETIC FORMS IN LIBYAN LITERARY HERITAGE | Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Maghrebi<br>Dr. Salma Faraj<br>Prof. Dr. Abdul Rahman El-Hadi |
| | | 5 | TRANSLATION STRATEGIES AND SEMANTIC LOSS IN ARABIC-ENGLISH LITERARY TRANSFER<br>Dr. Mariam Al-Darsi | Dr. Fathi Ben Ali<br>Dr. Yasser Mahmoud<br>Dr. Lina Al-Khouri |
| | | 6 | CULTURAL MEMORY AND INDIGENOUS LANGUAGE PRESERVATION IN CHILEAN LITERATURE | Prof. Dr. Isabel Valdivia<br>Dr. Camila Rojas<br>Assoc. Prof. Dr. Rodrigo Mendoza |
| | | 7 | NARRATIVE IDENTITY AND SOCIAL TRANSFORMATION IN CONTEMPORARY CHILEAN NOVELS | Dr. Pablo Herrera<br>Prof. Dr. Fernanda Salazar<br>Dr. Matías Contreras<br>Assoc. Prof. Dr. Elena Vargas |
| | | 8 | ECOCRITICISM AND LANDSCAPE REPRESENTATION IN LATIN AMERICAN POETRY | Assoc. Prof. Dr. Javier Molina<br>Dr. Sofía Reyes<br>Prof. Dr. Diego Fernández |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 7** | **Dr. Sara Al-Harbi** | 1 | DIGITAL TRANSFORMATION AND SME PERFORMANCE IN EMERGING MOROCCAN MARKETS | Prof. Dr. Youssef El Mansouri<br>Dr. Nadia Benkirane<br>Amine El Fassi |
| | | 2 | STRATEGIC INNOVATION AND ENTREPRENEURIAL GROWTH IN MOROCCAN FAMILY BUSINESSES | Assoc. Prof. Dr. Karim Ait Baha<br>Salma Rachidi |
| | | 3 | SUSTAINABLE TOURISM MANAGEMENT AND REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT IN ALBANIA | Prof. Dr. Arben Kodra<br>Dr. Elira Hoxha<br>Assoc. Prof. Dr. Dorian Leka<br>Besa Marku |
| | | 4 | DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION IN ALBANIAN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES | Dr. Ilir Meta<br>Erion Kallaku<br>Arta Gjini |
| | | 5 | ISLAMIC FINTECH ADOPTION AND FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES IN KUWAIT | Prof. Dr. Abdullah Al-Mutairi<br>Dr. Sara Al-Harbi<br>Nasser Al-Fahad |
| | | 6 | CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND OIL-DEPENDENT ECONOMY DIVERSIFICATION IN KUWAIT | Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Sabah<br>Mariam Al-Otaibi |
| | | 7 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS DECISION MAKING AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN FRANCE | Prof. Dr. Jean-Luc Moreau<br>Dr. Sophie Lambert<br>Assoc. Prof. Dr. Pierre Dubois<br>Claire Martin |
| | | 8 | CIRCULAR ECONOMY MODELS AND GREEN INNOVATION STRATEGIES IN FRENCH INDUSTRIAL SECTORS | Prof. Dr. Élodie Bernard<br>Dr. Antoine Lefèvre<br>Marc Delcourt |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 8** | **Assis. Prof. Dr. Gentian Leka** | 1 | STRATEGIC MANAGEMENT OF OCCUPATIONAL HEALTH SERVICES IN LARGE-SCALE INDUSTRIAL ORGANIZATIONS: IMPROVING EMPLOYEE WELL-BEING, PRODUCTIVITY, AND CORPORATE SUSTAINABILITY | Prof. Dr. Youssef El Mansouri<br>Dr. Salma Benjelloun<br>Karim Ait Haddou |
| | | 2 | THE ROLE OF OCCUPATIONAL PHYSICIANS IN REDUCING WORKPLACE STRESS AND PREVENTING PROFESSIONAL BURNOUT: EVIDENCE FROM MODERN BUSINESS ENVIRONMENTS | Assoc. Prof. Dr. Nadia El Amrani<br>Omar Chafik |
| | | 3 | EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF WORKPLACE HEALTH PROMOTION PROGRAMS IN ENHANCING EMPLOYEE PERFORMANCE AND ORGANIZATIONAL COMMITMENT | Prof. Dr. Arben Kola<br>Dr. Elira Hoxha<br>Klevis Dervishi<br>Mirela Shehu |
| | | 4 | DIGITAL TRANSFORMATION IN OCCUPATIONAL MEDICINE: UTILIZING HEALTH INFORMATION SYSTEMS FOR WORKFORCE RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT | Assis. Prof. Dr. Gentian Leka<br>Erisa Marku |
| | | 5 | THE IMPACT OF OCCUPATIONAL HEALTH SURVEILLANCE ON EMPLOYEE RETENTION AND CORPORATE PERFORMANCE IN THE PRIVATE SECTOR | Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi<br>Dr. Reem Al-Shammari<br>Abdullah Al-Enezi |
| | | 6 | INTEGRATING PREVENTIVE OCCUPATIONAL MEDICINE INTO HUMAN RESOURCE STRATEGIES: A FRAMEWORK FOR HEALTHIER AND MORE PRODUCTIVE WORKPLACES | Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Harbi |
| | | 7 | ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN WORK ENVIRONMENT QUALITY, OCCUPATIONAL HEALTH INDICATORS, AND EMPLOYEE SATISFACTION IN KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATIONS | Prof. Dr. Jean-Luc Martin<br>Claire Dubois<br>Dr. Antoine Lefevre |
| | | 8 | | |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 9** | **Assis. Prof. Dr. Mirela Dervishi** | 1 | EMOTIONAL INTELLIGENCE, SOCIAL CONNECTEDNESS, AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN THE POST-PANDEMIC ERA: IMPLICATIONS FOR PREVENTIVE MENTAL HEALTH CARE | Assoc. Prof. Dr. Pierre Lambert<br>Sophie Martin<br>Dr. Élodie Bernard<br>Antoine Renault |
| | | 2 | PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF PROLONGED DIGITAL EXPOSURE AMONG ADOLESCENTS: ASSESSING COGNITIVE FUNCTIONING, EMOTIONAL REGULATION, AND CLINICAL INTERVENTION STRATEGIES | Dr. Youssef El Mansouri |
| | | 3 | EARLY IDENTIFICATION OF DEPRESSIVE SYMPTOMS IN UNIVERSITY STUDENTS: A MULTIDIMENSIONAL APPROACH TO PREVENTION, SCREENING, AND MENTAL HEALTH PROMOTION | Dr. Salma Benjelloun<br>Karim El Fassi |
| | | 4 | THE RELATIONSHIP BETWEEN TRAUMA EXPOSURE AND ANXIETY DISORDERS IN YOUNG ADULTS: CLINICAL EVALUATION AND EVIDENCE-BASED TREATMENT APPROACHES | Assoc. Prof. Dr. Arben Kola<br>Elira Hoxha<br>Dr. Gentian Leka |
| | | 5 | PSYCHOLOGICAL RESILIENCE AND COPING MECHANISMS AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS: IMPLICATIONS FOR OCCUPATIONAL MENTAL HEALTH AND WELL-BEING | Assis. Prof. Dr. Mirela Dervishi |
| | | 6 | THE EFFECTIVENESS OF COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY IN THE MANAGEMENT OF GENERALIZED ANXIETY DISORDER: A LONGITUDINAL CLINICAL PERSPECTIVE | Prof. Dr. Fahad Al-Rashidi<br>Dr. Noura Al-Sabah |
| | | 7 | ASSESSING THE IMPACT OF FAMILY DYNAMICS ON ADOLESCENT MENTAL HEALTH: CLINICAL INSIGHTS INTO EMOTIONAL DEVELOPMENT AND PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT | Assoc. Prof. Dr. Abdullah Al-Mutairi<br>Mariam Al-Enezi<br>Dr. Yousef Al-Harbi<br>Sarah Al-Duwaisan |
| | | | SLEEP DISTURBANCES AND THEIR ASSOCIATION WITH DEPRESSIVE DISORDERS IN OLDER ADULTS: DIAGNOSTIC CHALLENGES AND THERAPEUTIC CONSIDERATIONS | Assis. Prof. Dr. Jean-Luc Moreau |
| | | 8 | THE ROLE OF MINDFULNESS-BASED INTERVENTIONS IN REDUCING STRESS AND BURNOUT AMONG WORKING PROFESSIONALS: A CLINICAL PSYCHOLOGY PERSPECTIVE | Dr. Claire Dubois<br>Mathieu Laurent |

| EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES<br>June 12 – 14, 2026<br>IZMIR<br>Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **14 Haziran / June 14, 2026 / 16:30 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)** | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| **HALL / SALON 10** | **Prof. Dr. Elnur Mammadov** | 1 | CLIMATE-INDUCED MIGRATION PATTERNS AND COASTAL COMMUNITY RESILIENCE IN BANGLADESH DELTAS | Prof. Dr. Rahman Chowdhury<br>Dr. Fatima Akter<br>Shamim Reza<br>Nayeem Hasan |
| | | 2 | URBAN POOR HOUSING STRATEGIES AND SOCIAL MOBILITY IN DHAKA SLUM SETTLEMENTS | Assoc. Prof. Dr. Khaled Islam<br>Mitu Begum<br>Arif Hossain |
| | | 3 | NOMADIC PASTORALIST ADAPTATIONS TO MODERNIZATION IN IRANIAN ZAGROS MOUNTAINS | Dr. Reza Mohammadi<br>Soraya Karimi<br>Ali Jafari |
| | | 4 | GENDER ROLES EVOLUTION IN CONTEMPORARY TEHRANI URBAN FAMILIES | Prof. Dr. Hassan Tavakoli<br>Fatemeh Ahmadi<br>Leila Hosseini |
| | | 5 | MULTICULTURAL IDENTITY NEGOTIATION AMONG MIGRANT WORKERS IN SINGAPORE'S DORMITORIES | Assoc. Prof. Dr. Wei Ling<br>Dr. Amir Singh<br>Mei Chen |
| | | 6 | URBAN RITUALS AND SOCIAL COHESION IN SINGAPORE'S HAWKER CENTRE CULTURE | Dr. Rajesh Kumar<br>Siti Nurhaliza<br>Lim Wei Jie |
| | | 7 | ETHNIC MINORITY INTEGRATION CHALLENGES IN BAKU'S MULTICULTURAL NEIGHBORHOODS | Prof. Dr. Elnur Mammadov<br>Dr. Aysel Karimova<br>Farid Huseynov<br>Nigar Aliyeva |
| | | 8 | POST-SOVIET RURAL TRADITIONS PRESERVATION AMONG AZERBAIJANI VILLAGE COMMUNITIES | Assoc. Prof. Dr. Leyla Hasanova<br>Elvin Gurbanov<br>Kamran Abbasov |
| | | 9 | OIL WEALTH DISTRIBUTION IMPACTS ON CLASS FORMATION IN AZERBAIJANI SOCIETY | Dr. Rashad Ibrahimov<br>Sevinc Nuriyeva<br>Zara Mammadova |

# Contents

YONCADA (*Medicago sativa* L.) MİKROBİYAL GÜBRE KULLANIMININ VERİM ve KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ..... 1

MİKROBİYAL GÜBRE UYGULAMALARININ SİLAJLIK MISIRIN (*Zea mays* L.) VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ..... 15

EXPLORING THE EFFECTS OF 3D BIOPRINTING TECHNOLOGY IN WOUND HEALING ..... 28

THE EFFECTS OF TREE AGE ON CUPRAC AND FRAP ANTIOXIDANT CAPACITY OF HAZELNUT SKIN (*Corylus avellana* L.) ..... 37

Elazığ'da Kiraz Sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) Popülasyonunun Dikey Dağılımı ve Tuzak Yüksekliğinin Etkisi ..... 58

TOKAT İLİ MERKEZ İLÇESİ BUĞDAY ÜRETİMİNDE İKLİM FAKTÖRLERİNİN VERİM ÜZERİNE ETKİSİ ..... 69

BAHÇE ÜRÜNLERİNİN MUHAFAZASI VE PAZARLAMASINDA KULLANILAN GÜNCEL PAKETLEME TEKNOLOJİLERİ ..... 78

EXPRESSION PROFILING OF UTP14A AND MYL5 GENES IN IMATINIB-RESISTANT CHRONIC MYELOID LEUKEMIA ..... 79

DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ VÜCUT KİTLE İNDEKSİ TAHMİNİ VE TOPLUM SAĞLIĞI TAKİBİ ..... 80

GERÇEK ZAMANLI EPİLEPTİK NÖBET TESPİTİ İÇİN ZAMAN BÖLGESİ ÖZNİTELİKLERİ VE TOPLULUK ÖĞRENMESİ ..... 81

ÇOCUK BESLENMESİNDE EBEVEYN EĞİTİM DÜZEYİNİN ETKİSİ: LİTERATÜR DERLEMESİ ..... 92

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PREGNANCY ..... 95

SOSYAL MEDYA VE "MÜKEMMEL ANNELİK BASKISI": GÜNCEL LİTERATÜR DERLEMESİ ..... 103

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ OKURYAZARLIĞI ..... cviii

VARDİYALI ÇALIŞMANIN HEMŞİRELERİN İŞ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ: KAMU HASTANESİ ÖRNEĞİ ..... 121

DETERMINING THE OPTIMUM POWER–SPEED COMBINATION IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY BY SURFACE ROUGHNESS CHARACTERIZATION RELATIVE TO THE REFERENCE ..... 122

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OVERLAP RATIO ON SURFACE ROUGHNESS IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY ..... 137

GAZ TÜRBİNLERİNDE EKSENEL AKIŞLI TÜRBİN İÇİN KANAT TASARIMI ..... 159

Accuracy–Compute Trade-offs in Battery State-of-Health Prognostics: A Sequence-Length Study Toward UAV BMS Design Guidance ..... 170

KÜTAHYA İLİ GEDİZ GÖLETİ HAVZASINDA ÖLÇÜLEN YÜZEY AKIŞLARIN HESAPLANAN YÜZEY AKIŞLARLA KIYASLANMASI ..... 182

EVALUATION OF THE EFFECTS OF EXTRUSION PARAMETERS ON DIAMETER STABILITY AND MANUFACTURABILITY IN FIBER REINFORCED FILAMENT PRODUCTION ..... 183

MACHINE LEARNING-BASED PRELIMINARY MODELING OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOR IN 3D PRINTED POLYMERS ..... 195

NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE BİR KAPALI KUTUDA DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ MANYETİK ALAN ETKİLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ ..... 207

MANYETİK ALAN YÖNÜNÜN DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ ..... 221

SERVO KONTROLLÜ FİLM BESLEME–YERLEŞTİRME MEKANİZMASININ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU ..... 231

IOT BASED VIBRATION MONITORING AND ANOMALY DETECTION SYSTEM ..... 232

OTOMOTİV AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN LEDLİ ELEKTRONİK DEVRE KARTLARINDAKİ BAKIR KALINLIĞININ TERMAL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ..... 242

ÜÇ BOYUTLU ÖKZETİK ÇEKİRDEK YAPILARIN ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI ..... 269

POLİMER KAPLAMA UYGULAMASININ DÜŞÜK YOĞUNLUKLU AHŞAP ESASLI YAPILARIN MEKANİK PERFORMANSINA ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ ..... 270

SEM-EDX YÖNTEMİ İLE ATIŞ ARTIKLARINDA MESAFE TAYİNİ ..... 283

ENHANCEMENT OF THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF BULK $MgB_2$ BY MAGNESIUM STEARATE ADDITION ..... 284

TÜRK POPÜLASYONUNDA ABCA7 RS3764650 VE ALZHEIMER HASTALIĞI ..... 295

ABCA7 rs3764650 Polymorphism and Alzheimer's Disease in the Turkish Population ..... 296

Bcl-2 İnhibitörü Navitoclax ve HSP27 İnhibitörü J2 Kombinasyonunun A549 Küçük Hücreli Dışı Akciğer Kanseri Hücrelerinde Seçici Antiproliferatif Etkisi ..... 297

Evaluation of Antioxidant Activity and Total Phenolic and Flavonoid Contents of *Astragalus persicus* 298

Eski ve Yeni Balmumu Peteklerine Yapılan Besin Takviyelerinin *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvalarının Gelişim Süresi ve Lipit Miktarına Etkisi ..... 299

ORGANIC-INORGANIC HYBRID NANOFLOWER STRUCTURES AND *IN VITRO* CELL CULTURE APPLICATIONS: CURRENT EVIDENCE AND FUTURE PERSPECTIVES ..... 301

COMPARISON OF MODELING PERFORMANCE OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS FOR MONTHLY RAINFALL DATA: A CASE STUDY ..... 303

MOBİL OYUN SEKTÖRÜNDE KULLANICI KAYBI TAHMİNİ ..... 320

YAPAY ZEKA İLE KREDI NOTU HESAPLAMASI VE BİR UYGULAMA ..... 321

LAMBDA-MODIFIED BÉZIER CURVES FOR AIRFOIL GEOMETRY APPROXIMATION AND LEADING-EDGE CONTROL ..... 322

CURVATURE AND CONTİNUİTY ANALYSİS OF Λ-MODİFİED CATMULL–ROM SPLİNES ..... 333

DİNAMİK ÜRETİM ORTAMLARINDA SİPARİŞ GECİKME RİSKİNİN TAHMİNİNE YÖNELİK MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM ..... 346

DESIGN OF AN ACOUSTIC EMISSION ROBOT USED FOR PRELIMINARY DETECTION OF SHAFT INTERNAL CRACKS ..... 347

AĞIR VASITA KOMPRESÖR TAHRİK DİŞLİLERİNDE PROFİL TAŞLAMA VE PROFİL RASPALAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ ..... 349

ENDÜKTİF MESAFE SENSÖR ÇEKİRDEKLERİNİN VİTES DEĞİŞTİRME SİLİNDİRLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ ..... 366

MODUS: YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK PLATFORMU ..... 378

APARTMAN VE SİTE YÖNETİMİNDE WEB TABANLI DİJİTAL DÖNÜŞÜM SİSTEMİ: YÖNETİM360 ..... 393

When Does Online Learning Help? Forecast Horizon Effects in Agricultural Commodity Price Forecasting ..... 416

KUANTUM İSTATİSTİĞİ YÖNTEMİYLE ATOMUN KONUMUNUN BELİRLENMESİ: WİGNER DAĞILIMI VE KUANTUM TOMOGRAFİ YAKLAŞIMLARI ..... 427

DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI DİNAMİK RAF ATAMA OPTİMİZASYONU ..... 428

IN SILICO SCREENING OF NOVEL CATALASE ENZYME ACTIVATORS ..... 429

BİSFENOL A İKAMELERİNİN ZEBRABALIKLARI (DANIO RERIO) ÜZERİNDEKİ TOKSİK ETKİLERİ: GÜNCEL LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 430

FARKLI KÜKÜRT UYGULAMALARININ SULANAN VE SULANMAYAN KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN KARABURUN NERGİSİNDE (*Narcissus tazetta* L.) VERİM, ÇİÇEK ÖZELLİKLERİ ve TOPRAK REAKSİYONUNA ETKİLERİ ..... 432

The Role of Food Safety Perceptions in Consumer Purchasing Decisions in Africa ..... 433

Barriers to Digital Agriculture Adoption among Smallholder Farmers in Africa ..... 434

TÜRKİYE'DE DAİMİ NEZARETÇİLERİN MADEN İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR YAZILIMLARINI KULLANMA SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ ..... 435

DETECTING AI-GENERATED ACADEMIC FIGURES USING TRANSFER LEARNING WITH A CONVNEXT-BASED BINARY CLASSIFICATION APPROACH ..... 438

ENHANCING CROSS-LINGUAL TRANSFER LEARNING FOR LOW-RESOURCE TURKIC LANGUAGES: A STUDY OF MONOLINGUAL AND MULTILINGUAL BERT MODELS ..... 457

ÖRGÜTSEL ÖĞRENME MEKANİZMASI OLARAK YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME ..... 474

PM2.5 TAHMİNİ İÇİN DERİN ÖĞRENME MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: LSTM, GRU, CNN-LSTM VE GRAFİK SİNİR AĞI ..... 476

PLEOMORFİK ADENOM VE KARSİNOM EX PLEOMORFİK ADENOM AYRIMI İÇİN DERİN ÖĞRENME ..... 477

Web Tabanlı Harita Entegrasyonlu Akıllı Taksimetre Sistemi Tasarımı ve Uygulaması ..... 478

KURUMSAL YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİNDE RAG KULLANIMIYLA HALÜSİNASYONLARIN AZALTILMASI ..... 479

AKILLI PERFORMANS YÖNETİMİ İÇİN VERİ ODAKLI BİR OKR ÇERÇEVESİ ..... 481

Kentsel Gürültü Yönetiminde Sessiz Alan Planlanması: AB ve Türkiye Pratiklerinin Karşılaştırmalı Analizi ..... 484

YENİ AVRUPA BAUHAUS İLKELERİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİ MİRASININ SANAT MERKEZİ OLARAK UYARLANABİLİR YENİDEN KULLANIMI: CERMODERN ÖRNEĞİ ..... 486

AFET RİSKİ Mİ, POLİTİKA ARACI MI? TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN YASAL VE KURUMSAL ÇERÇEVESİ ..... 487

MİMARLIKTA YANGIN GÜVENLİĞİ VE YANGIN GECİKTİRİCİ TEKNOLOJİLERİN EVRİMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE PERFORMANS PERSPEKTİFİNDEN BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ ..... 506

MİMARLIKTA AKUSTİK VE GÜRÜLTÜ DENETİMİ BAĞLAMINDA YEŞİL ALTYAPI BİLEŞENLERİNİN İŞİTSEL KONFORA KATKISI ..... 518

KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE MÜLKİYET YAPISI, DÖNÜŞÜM MODELİ VE SOSYOEKONOMİK KIRILGANLIK: İSTANBUL ARNAVUTKÖY İLÇESİ- İMRAHOR MAHALLESİ ÖRNEĞİ ..... 530

DİDYMODON'UN İKİ TÜRÜNÜN (KARAYOSUNU) PEYZAJ MİMARİSİNDE KULLANIM DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 550

KARAYOSUNLARI (MUSCİ) VE VANADYUM(V) KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 563

DOĞA-ÇOCUK İLİŞKİSİNDE PEYZAJ ALGISININ TESPİT EDİLMESİNE YÖNELİK BİR ATÖLYE ÇALIŞMASI ... 572

VANİSHİNG AND RECONSTRUCTED LANDSCAPES İN URBAN TRANSFORMATİON PROCESSES: AN EVALUATİON FROM THE PERSPECTİVE OF COLLECTİVE MEMORY ..... 591

TERRAIN AS SHELTER: INTEGRATING ANIMAL WELFARE AND TOPOGRAPHIC DESIGN IN A BOUTIQUE HOTEL LANDSCAPE ..... 600

KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞI SENDROMUNA YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIMI ..... 611

ÜÇLÜ NEGATİF MEME KANSERİNDE DROXİNOSTAT TEMELLİ EPİGENETİK–KEMOTERAPİ KOMBİNASYONUNUN FONKSİYONEL VE TRANSKRİPTOMİK ETKİLERİ ..... 619

STAT5 HEDEFLENMESİNİN İMATİNİB DİRENCİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN MOLEKÜLER ANALİZİ ..... 621

Elde Nadir Görülen Kondrosarkom Olgusunda PET-BT ile Saptanan İnsidental Düşük Dereceli Villöz Adenom: Olgu Sunumu ..... 622

MCF-7 VE MDA-MB-231 HÜCRELERİNDE JUGLONUN PROOKSİDAN ETKİSİ: ARTMIŞ OKSİDATİF STRES VE KANSER HÜCRE ÖLÜMÜ ..... 623

PSİKOSOSYAL FAKTÖRLERİN DOĞUM EYLEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: GÜNCEL BİR DERLEME ..... 625

EFFECTS OF PSYCHOSOCIAL FACTORS ON LABOR: A CURRENT REVIEW ..... 626

DOĞUM SÜRECİNDE MATERNAL POZİSYONUN ÖNEMİ VE KLİNİK SONUÇLARA ETKİSİ: DERLEME ÇALIŞMASI ..... 627

THE IMPORTANCE OF MATERNAL POSITION DURING CHILDBIRTH AND ITS EFFECT ON CLINICAL OUTCOMES: A REVIEW STUDY ..... 628

NEEDLESTICK INJURIES AND BLOOD-BORNE PATHOGEN IMMUNITY IN TERTIARY HEALTHCARE WORKERS ..... 629

Assessment of Heavy Metal Concentrations and Physicochemical Parameters of Beverage Industry Effluent: A Case Study of Adama Beverage Limited ..... 636

PREVALENCE AND RISK FACTORS FOR POSTOPERATIVE WOUND INFECTIONS. A CROSS-SECTIONAL STUDY ..... 644

ADVERSE EFFECTS OF ANTIRETROVIRAL THERAPY FOR PATIENTS WITH HIV INFECTION IN A TERTIARY HOSPITAL CENTRE IN ALBANIA ..... 653

TÜRKİYE'DE TANILAR ARASI AŞERME ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK BİR GEREKSİNİM ..... 660

Assessment of Patient Information Materials Prepared by the Turkish Pharmacists' Association Using PEMAT-P ..... 661

MICROPLASTICS AND ATHEROSCLEROSIS: MECHANISMS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION ..... 662

HYBRID EEG–BIOSENSOR PLATFORMS FOR MULTIMODAL BRAIN MONITORING: A REVIEW OF ELECTROPHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL, AND WEARABLE SENSING APPROACHES ..... 665

KALICI MIKNATIS KALINLIĞININ 1 KW BLDC MOTORUN TORK, GERİ-EMK VE MIKNATIS KULLANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ ..... 679

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ ÖĞRENCİ UYGULAMA MERKEZİ TASARIMI VE SAHA UYGULAMASI: NALLIHAN MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ ..... 688

# YONCADA (*Medicago sativa* L.) MİKROBİYAL GÜBRE KULLANIMININ VERİM ve KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN**
Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu
akusvuran@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5252-6261

**Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN**
Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu
skusvuran@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1270-6962

**Özgün KIRDAR**
Belplas Ankara Termoplastik ve Bakım Onarım Hizmetleri A.Ş
ozgunkirdar@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9096-7738

## ÖZET

Bu çalışma, mikrobiyal sıvı gübre uygulamalarının yoncanın (*Medicago sativa* L.) tesis yılında verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak Gea yonca çeşidi, mikrobiyal gübre materyali olarak ise çoklu mikroorganizma içeriğine sahip sıvı formda bir mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Deneme, Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluyazı Yerleşkesi Araştırma ve Uygulama Alanında, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Çalışmada K1, K2, K3, BPL, K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL TT ve K3+BPL TT olmak üzere sekiz farklı uygulama değerlendirilmiştir. Uygulamaların etkisini belirlemek amacıyla bitki boyu, yeşil ot verimi, kuru ot verimi, kuru madde oranı, klorofil (SPAD) değeri, ham protein oranı, ham protein verimi, NDF, ADF, ham selüloz oranı, ham kül oranı ve nispi yem değeri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek bitki boyu (42,9 cm) K2 uygulamasından, en yüksek yeşil ot verimi (386 kg $da^{-1}$), kuru ot verimi (140 kg $da^{-1}$), ham protein oranı (%23,7) ve ham protein verimi (33,1 kg $da^{-1}$) K2+BPL TT uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek kuru madde oranı (%46,6) K3+BPL uygulamasında, en yüksek SPAD değeri (57,4) ise K3+BPL TT uygulamasında belirlenmiştir. Yem kalite özellikleri bakımından en düşük NDF (%23,7), ADF (%20,8), ham selüloz (%21,5) ve ham kül (%14,8) oranları ile en yüksek nispi yem değeri (285) K2 uygulamasından elde edilmiştir. Tek başına mikrobiyal gübre uygulaması bazı özelliklerde kontrole göre iyileşme sağlamakla birlikte, en belirgin olumlu etkiler mikrobiyal gübrenin

inorganik gübreleme ve tohum-toprak uygulamasıyla birlikte kullanıldığı kombinasyonlarda ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, mikrobiyal gübre uygulamalarının yoncanın tesis yılında verim ve kalite özelliklerini olumlu yönde etkileyebildiği, özellikle K2+BPL TT uygulamasının verim ve ham protein verimi bakımından öne çıktığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ham protein verimi, kuru ot verimi, nispi yem değeri, sürdürülebilir tarım, yem kalitesi

## EFFECT OF MICROBIAL FERTILIZER APPLICATION ON YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF ALFALFA (Medicago sativa L.)

## ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of microbial liquid fertilizer applications on the yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) during the establishment year. In the study, the Gea alfalfa cultivar was used as plant material, while a liquid microbial fertilizer containing multiple microorganisms was used as microbial fertilizer material. The experiment was established at the Research and Implementation Area of Çankırı Karatekin University Uluyazı Campus according to a randomized complete block design with three replications. Eight different treatments, namely K1, K2, K3, BPL, K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL TT, and K3+BPL TT, were evaluated. Plant height, fresh forage yield, hay yield, dry matter content, chlorophyll (SPAD) value, crude protein content, crude protein yield, NDF, ADF, crude cellulose content, crude ash content, and relative feed value were examined to determine the effects of the treatments. According to the results, the highest plant height (42,9 cm) was obtained from the K2 treatment, whereas the highest fresh forage yield (386 kg $da^{-1}$), hay yield (140 kg $da^{-1}$), crude protein content (23,7%), and crude protein yield (33,1 kg da-1) were obtained from the K2+BPL TT treatment. The highest dry matter content (46,6%) was determined in the K3+BPL treatment, while the highest SPAD value (57,4) was obtained from the K3+BPL TT treatment. In terms of forage quality characteristics, the lowest NDF (23,7%), ADF (20,8%), crude cellulose (21,5%), and crude ash (14,8%) contents, as well as the highest relative feed value (285), were obtained from the K2 treatment. Although the sole application of microbial fertilizer improved some traits compared with the control, the most pronounced positive effects were observed in the combinations where microbial fertilizer was used together with chemical fertilization and seed-soil application. In conclusion, microbial fertilizer applications can positively affect the yield and quality characteristics of alfalfa during the

establishment year, and the K2+BPL TT treatment was particularly prominent in terms of forage yield and crude protein yield.

**Keywords:** Crude protein yield, hay yield, forage quality, relative feed value, sustainable agriculture

## 1. GİRİŞ

Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök bölgesinde kolonize olan, rizosfer etkileşimlerini düzenleyen ve bitki gelişimini çeşitli mekanizmalarla destekleyen yararlı mikroorganizmalardır. *Bacillus, Serratia, Arthrobacter, Pseudomonas, Rhodococcus, Enterobacter, Ochrobactrum, Acinetobacter, Azospirillum, Rhizobium, Streptomyces* ve *Stenotrophomonas* gibi bitki gelişimini teşvik eden bakteri cinsleri, düşük maliyetli ve çevre dostu tarımsal girdiler olarak değerlendirilmektedir. Bu mikrobiyom temelli biyostimülantlar, mineral elementlerin çözündürülmesi, azot fiksasyonu, fitohormon üretimi, sekonder metabolit sentezi, enzim salgılanması ve uçucu organik/inorganik bileşiklerin oluşturulması gibi çok yönlü mekanizmalarla bitki gelişimini desteklemektedirler. Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler, çinko (Zn), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi mineral elementlerin çözünürlüğünü artırarak besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini ve kullanım etkinliğini iyileştirebilmekte; bunun yanında atmosferik azotun biyolojik olarak fikse edilmesine katkı sağlamakta, ayrıca indol-3-asetik asit (IAA), absisik asit (ABA), etilen (ET), sitokinin (CK) ve jasmonik asit (JA) gibi fitohormonların üretimi yoluyla kök ve sürgün gelişimi, stres yanıtları ve bitki metabolizması üzerinde düzenleyici etkiler oluşturmaktadır. Mikrobiyal temelli biyostimülantların bir diğer önemli özelliği, bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransını artırabilmeleridir. Bu etki; antioksidan savunma sistemiyle ilişkili genlerin aktivasyonu, fenolik bileşiklerin, savunma enzimlerinin, amino asitlerin ve organik asitlerin üretiminin desteklenmesi yoluyla gerçekleşebilmektedir. Böylece mikrobiyal biyostimülantlar yalnızca bitki büyümesini teşvik eden girdiler olarak değil, aynı zamanda stres yönetimi, besin kullanım etkinliği, rizosferde mikrobiyal dengenin korunması ve sürdürülebilir üretim açısından çok işlevli biyolojik araçlar olarak değerlendirilmektedir (Kuşvuran ve Kuşvuran 2021; Kaushal vd. 2023).

Toprak mikrobiyotasında yaygın olarak bulunan önemli bakteri gruplarından biri *Bacillus* cinsidir. *Bacillaceae* familyasına ait olan bu bakteriler, aerob veya fakültatif anaerob özellik gösterebilen, gram pozitif ve endospor oluşturabilen mikroorganizmalardır (Logan 2002; Demirbağ ve Demir 2005; Topçal vd. 2014). *Bacillus* türleri, güvenli kabul edilen birçok üyeye sahip olmaları ve tarımsal ya da endüstriyel kullanım açısından değer taşıyan farklı metabolitleri sentezleyebilmeleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu türler, bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığının artırılmasında da önemli rol oynayabilmektedir. Özellikle su yetersizliği, tuzluluk ve ağır metal birikimi gibi olumsuz çevre koşullarında Bacillus spp., toksik iyonların bitki bünyesindeki hareketini sınırlandırabilen, iyon dengesinin korunmasına ve su taşınımının düzenlenmesine katkı sağlayan ekzopolisakkaritler (EPS) ve sideroforlar üretebilmektedir (Radhakrishnan vd. 2017). EPS'ler, mikroorganizmalar tarafından çevreye salgılanan, yüksek molekül ağırlıklı monosakkarit yapılı doğal

polimerlerdir. Bu bileşiklerin üretimi stres koşullarında artabilmekte ve mikroorganizmalara toksik maddelere ve ozmotik strese karşı koruyucu bir avantaj sağlayabilmektedir (Iyer vd. 2005; Soyuçok vd. 2016).

Bu çalışma kapsamında, mikrobiyal sıvı gübre uygulamalarının yoncada (*Medicago sativa* L.) verim ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada materyal olarak; "Gea" yonca (*Medicago sativa* L.) çeşidi kullanılmıştır. Çankırı Karatekin Üniversitesi Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu Uluyazı Yerleşkesi Araştırma ve Uygulama Alanında bulunan açık arazide yürütülen araştırmada, ekimler 2,4 x 2 m = 4,8 m2 büyüklüğündeki parsellere, 20 cm sıra arası mesafede (her bir parselde 13 sıra olacak şekilde) 3 kg $da^{-1}$ tohum gelecek şekilde, arazi ve iklim koşulları dikkate alınarak 06.06.2021 tarihinde elle ekim suretiyle gerçekleştirilmiş, hemen sonrasında tohumların toprakla temasını sağlamak için elle silindir çekilmiştir. Ekim öncesinde toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla 0-30 cm derinlikten alınan (Şekil 3.4) toprak örneklerinde Düzen Norwest A.Ş. laboratuvarında yapılan analize ait sonuçlar Çizelge 3.2.'de verilmiştir (https://duzennorwest.com.tr/).

**Çizelge 2.1. Araştırma alanı toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler**

| Ölçülen Parametreler | **Değer** | **Ölçülen Parametreler** | **Değer** |
|---|---|---|---|
| pH | 8,0 | Mg (mg $kg^{-1}$) | 939,0 |
| EC (dS $m^{-1}$) | 2,7 | K (mg $kg^{-1}$) | 301,0 |
| Organik Madde (%) | 1,2 | Na (mg $kg^{-1}$) | 40,4 |
| Bünye (Saturasyon) (mL) | 73,8 | B (mg $kg^{-1}$) | 0,8 |
| Cu (mg $kg^{-1}$) | 2,2 | Toplam Fosfor (mg $kg^{-1}$) | 0,1 |
| Fe (mg $kg^{-1}$) | 10,5 | Toplam Azot (%) | 0,12 |
| Mn (mg $kg^{-1}$) | 26,6 | Kireç (%) | 18,3 |
| Zn (mg $kg^{-1}$) | 0,6 | Aktif Kireç (%) | 1,2 |
| Ca (mg $kg^{-1}$) | 12302 | Nem (%) | 8,0 |

Denemenin yürütüldüğü Çankırı Merkezde İç Anadolu Bölgesi'nin karasal iklim özellikleri egemendir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve sert geçmektedir. Bölgenin uzun yıllar ortalama iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklığı 11,5 °C'dir. Uzun yıllar ortalama iklim verilerine göre Temmuz (23,1 °C) ve Ağustos (23,0 °C) en sıcak, Ocak (-0,4 °C) ve Aralık (1,7 °C) en soğuk aylar olarak tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarı 413,7 mm'dir. Ortalama güneşlenme süresi 6,4 saat ve yağışlık gün sayısı 105,9 gün şeklindedir. Bölgede hâkim rüzgâr yönü kuzeybatıdır. İkinci olarak kuzey, üçüncü olarak ise batı rüzgârları güçlü rüzgârlardır (Anonim 2026).

**Çizelge 2.2. 2021 yılı Mart-Ekim arası ile uzun yıllar (1929-2025) bazı iklim verileri, Çankırı**

| Aylar | Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C) | | | | | | Toplam Yağış Değerleri (mm) | | Ortalama Nispi Nem Değerleri (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Minimum | | Maksimum | | Ortalama | | 2021 | Uzun yıllar | 2021 |
| | 2021 | Uzun yıllar | 2021 | Uzun yıllar | 2021 | Uzun yıllar | | | |
| **Mart** | -0,9 | 0,1 | 10,5 | 12,0 | 4,3 | 6,0 | 37,7 | 38,7 | 66,7 |
| **Nisan** | 6,4 | 4,6 | 18,5 | 18,1 | 12,0 | 11,0 | 7,4 | 43,9 | 61,0 |
| **Mayıs** | 9,7 | 8,7 | 27,2 | 23,0 | 18,7 | 15,9 | 14,5 | 56,8 | 49,2 |
| **Haziran** | 12,5 | 12,0 | 25,9 | 27,3 | 19,0 | 20,1 | 79,6 | 46,0 | 63,4 |
| **Temmuz** | 16,8 | 14,3 | 33,1 | 31,2 | 25,1 | 23,4 | 3,9 | 18,3 | 47,1 |
| **Ağustos** | 16,5 | 14,1 | 33,5 | 31,5 | 25,1 | 23,3 | 4,8 | 18,2 | 46,4 |
| **Eylül** | 10,6 | 9,8 | 24,8 | 26,8 | 17,2 | 18,5 | 50,3 | 18,3 | 60,3 |
| **Ekim** | 4,5 | 5,2 | 20,2 | 20,3 | 12,1 | 12,7 | 0,6 | 25,8 | 58,6 |
| **Toplam** | - | - | - | - | - | - | **198,8** | **266,0** | - |
| **Ortalama** | **9,5** | **8,6** | **24,2** | **23,8** | **16,7** | **16,4** | | | **56,6** |

Araştırmanın yürütüldüğü döneme ait iklim değerleri incelendiğinde, ortalama sıcaklıkların uzun yıllar ortalamasının bir miktar üzerinde olduğu, bu durumun aksine yağış değerlerinin ise uzun yıllar ortalamasının oldukça altında olduğu görülmektedir.

Toprak örneklerinin alınmasından sonra; deneme alanındaki bütün parsellere, 3,6 kg $da^{-1}$ saf N, 10 kg $da^{-1}$ saf $P_2O_5$ ve 7,5 kg $da^{-1}$ SO3 ve %1 Zn gelecek şekilde 20.20.0+30 SO3 içerikli kompoze taban gübre ve TSP (%44 $P_2O_5$) uygulanmıştır. Bununla birlikte toprak organik maddesinin düşük olması nedeniyle 4 lt $da^{-1}$ gelecek şekilde; %50 organik madde, %20 organik karbon, %1 N, %3 suda çözünür $K_2O$ ve pH değeri 8-10 aralığında olan Belplas Organik Gübre (https://www.belplas.com.tr/belplas-organik-gubre)'den bütün parsellere damla sulama ile uygulanmıştır.

Çalışmada Profamik Land mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Mikrobiyal gübre toplam canlı organizma sayısının $1x10^7$ kob $ml^{-1}$ ve canlı organizma olarak *Lactobacillus strains* (*Lactobacillus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, *Lactobacillus lactis* spp. *cremoris*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*) *Rhodopseudomonas palustris*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* türlerini içermektedir.

Uygulamalar; tohuma ve toprağa olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiş, ayrıca inorganik gübre uygulamaları ile birlikte toplam sekiz farklı uygulama değerlendirilmiştir: K1 (Gübre uygulaması yok/Kontrol), K2 (taban gübre), K3 (%50 taban gübre), BPL (1,5 lt 100 $lt^{-1}$ BPL topraktan + 1 lt $da^{-1}$ BPL 15 gün aralıklarla 5 adet uygulama mikrobiyal gübre uygulaması), K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL+TT (TT=1,5 lt 100 $lt^{-1}$ BPL tohuma uygulama) ve K3+BPL+TT. Ekimden hemen sonra, her bir uygulamaya 1 adet sulama tankı gelecek şekilde (8 adet) ve her biri 1000 litre/1 $m^3$ hacminde olan tanklar yardımıyla damla sulama sistemi

çekilerek can suyu verilmiş ve deneme süresince sulamalar bu sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Biçimler 19.08.2021 tarihinde, yoncanın %10-25 arasında çiçeklenme gösterdiği dönemde her bir parselde sıra arası ve sıra üzerinden 20'şer cm kenar tesiri dışında kalan 3,2 $m^2$ alanda biçim öncesi gözlemler ve sonrasında biçim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Biçim sonrasında bitkilerden alınan örnekler kuru madde tayini için etüvde kurutulmuş ve daha sonra örnekler kalite analizleri için 1 mm çapında öğütülmüştür.

**Morfolojik Özellikler**

***Bitki boyu (cm):*** Biçim öncesinde, kenar tesirleri dışında kalan 3,2 $m^2$'lik alanda tesadüfen seçilen 10 ayrı bölgede; toprak yüzeyinden bitkinin en üst noktasına kadar olan kısım ölçülmüş ve ortalama bitki boyu değeri belirlenmiştir.

***Yeşil ot verimi (kg $da^{-1}$):*** Kenar tesirleri dışında kalan 3,2 $m^2$'lik alanda; yaprak ve sapları ile birlikte yerden 7.5 cm yükseklikten biçilen otlar zaman geçirilmeden deneme alanında akülü terazide tartılmış ve dekara çevrilerek yeşil ot verimi değeri elde edilmiştir.

***Kuru madde oranı (%):*** Kenar tesirleri dışında kalan 3,2 $m^2$'lik alanda; yaprak ve sapları ile birlikte yerden 7.5 cm yükseklikten biçilen otlar açık havada ve gölgede birkaç gün bekletilerek ön soldurma işlemine tabii tutulmuş, daha sonra etüvde 78 °C'de 24 saat süreyle ağırlıkları sabit kalıncaya kadar kurutulmuş ve yeşil ot ağırlığına oranlanarak ortalama kuru madde oranı değeri tespit edilmiştir.

***Kuru madde verimi (kg $da^{-1}$):*** Yeşil ot verimi ile kuru madde oranı çarpılmış ve elde edilen değer ortalama kuru madde verimi değeri olarak belirlenmiştir.

***Klorofil (SPAD) Değeri:*** Kenar tesirleri dışında kalan 3,2 $m^2$'lik alandan tesadüfen seçilen 10 bitkide; yapraklar SPAD-metre değerleri Minolta marka (SPAD-502 Plus, Minolta, Japonya) klorofil metre cihazı ile ölçülmüş ve ölçülen değerler doğrudan verilmiştir.

**Kalite Özellikleri**

***Ham protein oranı (%):*** Kuru madde tespiti için kurutulan bitki örneklerinden parselin tamamını temsil edecek nitelikte yaprak, sap ve koçanlardan oluşan örnekler 1 mm çapında eleklere sahip bitki öğütme değirmeninden geçirilmiştir. Numunelerde Kjeldahl yöntemi ile azot tayinleri yapılmış ve elde edilen değer toplam azot değeri 6,25 (100/16) ile çarpılarak ham protein oranı değerleri tespit edilmiştir.

***Ham protein verimi (kg $da^{-1}$):*** Ham protein oranı ile kuru madde verimi çarpılmış ve elde edilen değer ortalama ham protein verimi olarak kg $da^{-1}$ cinsinden verilmiştir.

***ADF (Asit Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%):*** ADF oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***NDF (Nötr Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%):*** NDF oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***Ham Selüloz Oranı (%):*** Ham selüloz oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***Ham Kül Oranı (%):*** 1 g ağırlığındaki kuru ot numuneleri 105 °C'de 2 saat süreyle nemi uzaklaştırılan krozelere konmuş ve ardından 550 °C'de 4 saat tutulmuş ve kül açık griden beyaza kadar değişen bir renge dönünceye kadar kül fırınında yakılarak kül oranları tespit edilmiştir **(**AOAC 2006).

***Nispi Yem Değeri (NYD):*** NYD değeri Van Dyke ve Anderson (2000) tarafından bildirilen eşitliklerden yararlanılarak hesaplandı. Bu amaçla % sindirilebilir kuru madde (SKM) miktarı ADF değerinden; [%SKM = 88,9 - (0,779 × %ADF)] formülüne göre; hayvanın canlı ağırlığına bağlı olarak % kuru madde tüketim (KMT) miktarı NDF değerinden {%KMT = 120 ÷ %NDF] formülüne göre; nispi yem değerini hesaplamak için SKM ve KMT değerleri [%NYD = (%SKM) × (%KMT) × 0,775] formülüne göre hesaplanmıştır.

**Çizelge 2.3. Nispi yem değeri indeksi***

| Kalite Standartları | HP, % | ADF, % (KM) | NDF, % (KM) | NYD |
|---|---|---|---|---|
| **En yüksek kalite** | > 19 | < 31 | < 40 | > 151 |
| **1** | 17-19 | 31-40 | 40-46 | 151-125 |
| **2** | 14-16 | 36-40 | 47-53 | 124-103 |
| **3** | 11-13 | 41-42 | 54-60 | 102-87 |
| **4** | 8-10 | 43-45 | 61-65 | 86-75 |
| **5** | < 8 | > 45 | > 65 | < 75 |

* Nispi yem değeri indeksi tam çiçekteki yonca kuru otunun içerdiği ADF (%41) ve NDF(%53) oranından yararlanılarak hesaplanan 100 indeksini esas almaktadır (Rohweder vd. 1978).

Denemelerden elde edilen sayısal değerler, JMP version 8,0 (SAS Institute Inc., ABD) istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulup istatistiksel açıdan uygulamalar arasındaki farklılıklar LSD (Least Significant Difference) çoklu karşılaştırma testi ile önemlilik dereceleri ortaya konularak $p<0,05$ düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Bitki Boyu (cm), Yeşil Ot Verimi (kg da$^{-1}$), Kuru Ot Verimi (kg da$^{-1}$), Kuru Madde Oranı (%) ve Klorofil (SPAD) Değerleri

Mikrobiyal gübre kullanımının yonca (*Medicago sativa* L.)'da verim, kalite ve toprak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen araştırmadan elde edilen bitki boyu, yeşil ot verimi, kuru ot verimi, kuru madde oranı ve klorofil (SPAD) değerleri ile istatistik analiz sonuçlarına göre oluşan gruplar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bitki boyu değerlerinin 28,5-42,9 cm arasında değiştiği, en yüksek bitki boyunun 42,9 cm ile K2 uygulamasından, en düşük bitki boyunun ise 28,5 cm ile K1 uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Yeşil ve kuru ot verimi bakımından değerlerin sırasıyla 138-386 kg da$^{-1}$ ve 61-140 kg da$^{-1}$ arasında değiştiği, en yüksek yeşil ve kuru ot veriminin 386 kg da$^{-1}$ ve 140 kg da$^{-1}$ ile K2+BPL TT uygulamasından, en düşük değerin ise 138 kg da$^{-1}$ ve 61 kg da$^{-1}$ ile K1 uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. Kuru madde oranı değerlerinin %36,6-46,6 arasında değiştiği, en yüksek kuru madde oranı değerinin %46,6 ile K3+BPL uygulamasından, en düşük değerin ise %36,6 ile K2 uygulamasından elde edildiği saptanmıştır. Klorofil (SPAD) değerlerinin 52,01-57,4 arasında değiştiği, en yüksek SPAD değerinin 57,4 ile K3+BPL TT uygulamasından, en düşük değerin ise 52,1 ile K3 uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1 Bitki boyu (cm), yeşil ot verimi (kg da$^{-1}$), kuru ot verimi (kg da$^{-1}$), kuru madde oranı (%) ve klorofil (SPAD) değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Bitki Boyu | Yeşil Ot Verimi | Kuru Ot Verimi | Kuru Madde Oranı | SPAD Değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 28,5 d | 138 e | 61 f | 44,4 ab | 53,9 cd |
| **K2** | 42,9 a | 282 b | 103 c | 36,6 d | 56,7 ab |
| **K3** | 37,2 bc | 252 c | 97 d | 38,4 cd | 52,1 d |
| **BPL** | 32,9 cd | 210 d | 88 e | 41,7 bc | 56,9 ab |
| **K2 + BPL** | 35,9 bc | 297 b | 113 b | 38,2 cd | 54,8 bc |
| **K3 + BPL** | 32,6 cd | 243 c | 113 b | 46,6 a | 55,2 a-c |
| **K2 + BPL TT** | 39,8 ab | 386 a | 140 a | 36,3 d | 56,3 ab |
| **K3 + BPL TT** | 32,9 cd | 257 c | 109 bc | 42,3 bc | 57,4 a |
| **Ortalama** | **35,3** | **258** | **103** | **40,6** | **55,0** |
| **EGF (%5)** | **4,7**$^{**}$ | **20,9**$^{**}$ | **6,3**$^{**}$ | **4,2**$^{**}$ | **1,8**$^{**}$ |

$^{*}$: P≤0,05, $^{**}$: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil
$^{***}$Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

## 3.2. Ham Protein Oranı (%), Ham Protein Verimi (kg da-1), NDF (Nötr Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%) ve ADF (Asit Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%) Değerleri

Ham protein oranı değerlerinin %18,1-23,7 arasında değiştiği, en yüksek ham protein oranının %23,7 ile K2+BPL TT uygulamasından, en düşük değerin ise %18,1 ile istatistiksel olarak aynı grupta yer alan K1 ve K3+BPL uygulamalarından elde edildiği belirlenmiştir. Ham protein verimi bakımından değerlerin 11,1-33,1 kg da$^{-1}$ arasında değiştiği, en yüksek ham protein veriminin 31,1 kg da$^{-1}$ ile K2+BPL TT uygulamasından, en düşük değerin ise 11,1 kg da$^{-1}$ ile K1 uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. NDF oranı değerlerinin %23,7-31,6 arasında değiştiği, en yüksek NDF oranı değerinin %31,6 ile K2+BPL TT uygulamasından, en düşük değerin ise %23,7 ile K2 uygulamasından elde edildiği saptanmıştır. ADF oranı değerlerinin %20,8-27,4 arasında değiştiği, en yüksek ADF oranı değerinin %27,4 ile K2+BPL uygulamasından, en düşük değerin ise %20,8 ile K2 uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

**Çizelge 3.2 Ham protein oranı (%), ham protein verimi (kg da$^{-1}$), NDF (nötr çözücüde çözünmeyen lif) oranı (%) ve ADF (asit çözücüde çözünmeyen lif) oranı değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Ham Protein Oranı | Ham Protein Verimi | NDF Oranı | ADF Oranı |
|---|---|---|---|---|
| **K1** | 18,2 e | 11,1 f | 29,5 c | 23,0 f |
| **K2** | 21,8 b | 22,4 b | 23,7 g | 20,8 g |
| **K3** | 18,8 d | 18,2 d | 29,3 cd | 26,1 c |
| **BPL** | 17,6 f | 15,5 e | 29,0 de | 25,4 d |
| **K2 + BPL** | 19,0 c | 21,5 bc | 28,7 e | 27,4 a |
| **K3 + BPL** | 18,1 e | 20,4 c | 30,8 b | 22,9 f |
| **K2 + BPL TT** | 23,7 a | 33,1 a | 31,6 a | 24,7 e |
| **K3 + BPL TT** | 19,0 cd | 20,6 c | 28,2 f | 27,2 b |
| **Ortalama** | **19,5** | **20,4** | **28,9** | **24,7** |
| **EGF (%5)** | **0,2**$^{**}$ | **1,3**$^{**}$ | **0,3**$^{**}$ | **0,19**$^{**}$ |

$^{*}$: P≤0,05, $^{**}$: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil
$^{***}$Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

### 3.3. Ham Selüloz Oranı (%), Ham Kül Oranı (%) ve NYD (Nispi Yem Değeri) Değerleri

Çizelge 3.3 incelendiğinde; incelenen özelliklerin tamamında uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın ortaya çıktığı görülmektedir. Ham selüloz oranı değerlerinin %21,5-31,5 arasında değiştiği, en yüksek ham selüloz oranının %31,5 ile K1 ve %31,3 ile istatistiksel olarak aynı grupta yer alan K3+BPL uygulamalarından, en düşük değerin ise %21,5 ile K2 uygulamasından elde edildiği saptanmıştır. Ham kül oranı değerlerinin %14,8-19,2 arasında değiştiği, en yüksek ham kül oranının %19,2 ile K1 uygulamasından, en düşük değerin ise %14,8 ile K2 uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. NYD değerlerinin 205-285 arasında değiştiği, en yüksek NYD değerinin 285 ile K2 uygulamasından, en düşük değerin ise 205 ile K2+BPL TT uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir.

**Çizelge 3.3 Ham selüloz oranı (%), ham kül oranı (%) ve NYD (nispi yem değeri) değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Ham Selüloz Oranı | Ham Kül Oranı | NYD |
|---|---|---|---|
| **K1** | 31,5 a | 19,2 a | 224 b |
| **K2** | 21,5 f | 14,8 f | 285 a |
| **K3** | 24,5 d | 16,0 c | 218 d |
| **BPL** | 24,6 d | 15,6 d | 222 bc |
| **K2 + BPL** | 26,0 c | 16,0 c | 219 cd |
| **K3 + BPL** | 31,3 a | 16,0 c | 215 e |
| **K2 + BPL TT** | 23,7 e | 15,4 e | 205 f |
| **K3 + BPL TT** | 26,9 b | 16,2 b | 223 b |
| **Ortalama** | **26,3** | **16,2** | **226** |
| **EGF (%5)** | **0,29**$^{**}$ | **0,15**$^{**}$ | **9,7**$^{**}$ |

$^{*}$: P≤0,05, $^{**}$: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil
$^{***}$Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

PGPR olarak tanımlanan bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler, kök bölgesinde etkinlik göstererek bitki büyümesi, besin elementi alımı ve stres dayanıklılığı üzerinde çok yönlü etkiler oluşturabilmektedir. Bu bakteriler; siderofor üretimi, fitohormon sentezi veya bitkisel hormon dengesinin düzenlenmesi, besin elementlerinin bitki tarafından kullanımının kolaylaştırılması, patojen gelişiminin sınırlandırılması ve uyarılmış sistemik dayanıklılığın harekete geçirilmesi gibi mekanizmalar yoluyla bitki gelişimini desteklemektedir. Sideroforlar, düşük molekül ağırlıklı mikrobiyal organik bileşikler olup demirin bağlanması ve taşınmasında görev almakta; aynı zamanda bitki büyümesi, çimlenme ve bazı patojenlerin baskılanması üzerinde dolaylı etkilere sahip olabilmektedir (Aydın vd. 2012). Bunun yanında PGPR'ler, atmosferik azotun bağlanması, organik fosforun çözünür forma dönüştürülmesi, hormon, antibiyotik ve siderofor gibi sekonder metabolitlerin üretilmesi, sistemik dayanıklılığın güçlendirilmesi ve hastalık etmenlerinin baskılanması yoluyla sürdürülebilir bitkisel üretime katkı sağlayabilmektedir (İmriz vd. 2014).

Bitkisel üretimde verim ve kalite, genetik yapı ile çevresel koşulların ortak etkisi altında şekillenmektedir. Bu süreçte yararlı mikroorganizmalar, bitki gelişimini desteklemeleri ve ürün verimliliğini artırmaları nedeniyle inorganik gübre ve pestisit kullanımını azaltmaya yönelik sürdürülebilir uygulamalar arasında değerlendirilmektedir. Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler içerisinde *Bacillus* spp. önemli bir yere sahiptir. Bu cinsin spor oluşturabilme özelliği, onu *Pseudomonas* gibi spor oluşturmayan bakteri gruplarından ayırmakta ve *Bacillus* türlerinin olumsuz çevre koşullarında uzun süre canlılığını sürdürebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca *Bacillus* spp., bitki büyümesini uyaran ve patojen enfeksiyonlarını sınırlandıran çeşitli metabolitler üreterek bitki sağlığına katkıda bulunabilmektedir (Radhakrishnan vd. 2017). PGPR uygulamaları ise farklı yetiştirme koşullarında kök gelişimi, erken çimlenme, besin elementi alımı, biyokütle oluşumu ve erken çiçeklenme gibi süreçleri doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyebilmekte; bu yolla bitki büyümesini desteklerken hastalık gelişiminin azaltılmasına da katkı sağlayabilmektedir (Kusvuran vd. 2021; Kuşvuran ve Kuşvuran 2021).

Çankırı ekolojik koşullarında mikrobiyal gübre kullanımının yonca (*Medicago sativa* L.)'da verim, kalite ve toprak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen araştırmada incelenen özellikler bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların ortaya çıktığı belirlenmiştir. Mikrobiyal gübre kullanımı silajlık yoncada verim ve kalite parametreleri bakımından artışa imkan vermiştir. Dahaji vd. (2020), düşük verimlilik düzeyine sahip kireçli topraklarda yetiştirilen sorgum bitkilerinde Fe şelatları ile bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin büyüme ve beslenme üzerine etkilerini sera koşullarında incelemiştir. Çalışmada *Pseudomonas putida* P159, *Pseudomonas fluorescens* T17-24 ve *Bacillus subtilis* P96 bakteri suşları ile Fe-EDDHA ve Fe-EDTA demir şelatları 10 mg Fe kg-1 dozunda uygulanmıştır. Araştırma sonuçları, Fe-EDDHA ve Fe-EDTA uygulamalarının bitki kuru ağırlığı ve sürgün besin elementi içeriği üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca Fe şelatlarının, kontrol uygulamasına kıyasla Zn ve Cu alımı üzerinde daha belirgin etkiler sağladığı belirlenmiştir. Sorgum yetiştiriciliğinde özellikle Fe-EDTA ile PGPR suşlarının birlikte uygulanmasının, besin elementi noksanlığı görülen kireçli topraklarda bitki gelişimini ve besin elementi alımını destekleyebileceği bildirilmiştir.

Yoncada gerçekleştirilen bu çalışmada da morfolojik özellikler bakımından; bitki boyu değerlerinin 28,5-42,9 cm arasında değiştiği, en yüksek bitki boyunun 42,9 cm ile K2 uygulamasından, yeşil ve kuru ot verimi bakımından değerlerin sırasıyla; 138-386 kg $da^{-1}$ ve 61-140 kg $da^{-1}$ arasında değiştiği, en yüksek yeşil ve kuru ot veriminin 386 kg $da^{-1}$ ve 140 kg $da^{-1}$ ile K2+BPL TT uygulamasından, kuru madde oranı değerlerinin %36,6-46,6 arasında değiştiği, en yüksek kuru madde oranı değerinin %46,6 ile K3+BPL uygulamasından, klorofil (SPAD) değerlerinin 52,1-57,4 arasında değiştiği, en yüksek SPAD değerinin 57,4 ile K3+BPL TT uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Li vd. (2020), *Providencia rettgeri* P2, *Advenella incenata* P4, *Acinetobacter calcoaceticus* P19 ve *Serratia plymuthica* P35 suşlarını içeren PGPR mikrobiyal inokulantlarının yulaf (*Avena sativa* L.), yonca (*Medicago sativa* L.) ve hıyar (*Cucumis sativus* L.) fidelerinde bitki gelişimini teşvik edebildiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada bu inokulantların antioksidan enzim aktivitesi ve klorofil içeriğini artırdığı, ayrıca rizosfer toprağında enzim aktivitesi ile alınabilir besin elementi içeriği üzerinde de olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Maheshwari (2010) bitkilerde uygulanan PGPR bakterilerinin, farklı koşullar altında köklenme, erken çimlenme, besin alımı, toplam biyokütle ağırlığı, erken çiçek açma gibi doğrudan ve dolaylı etkileri olduğunu; bitki büyüme ve gelişimine önemli etkileri olduğunu ve bitki hastalıklarını azalttıklarını ifade etmiştir. Altunkaynak (2018) farklı azotlu gübreleme ve bakteri aşılamasının Alberto fasulye çeşidinde bazı tarımsal özelliklerine ve tane verimine etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında, bakteri uygulamalarının incelenen parametreler bakımından olumlu etki yaptığını belirtmiştir. Gao vd. (2023), rizobiyum ve PGPR'nin birlikte inokulasyonunun tuzlu-alkali koşullarda yoncada rizobiyal kolonizasyonu, nodül nitrojenaz aktivitesini, nodülasyon ve azot fiksasyonu ile ilişkili gen ifadelerini, antioksidan enzim aktivitesini ve ozmotik düzenleme kapasitesini artırarak bitki gelişimi, nodülasyon, verim ve kalite özelliklerini iyileştirdiğini bildirmiştir.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yoncada mikrobiyal gübre uygulamalarının tesis yılında verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bu çalışmada, uygulamaların ele alınan özellikler üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, mikrobiyal gübrenin tek başına uygulanmasının bazı özelliklerde kontrole göre iyileşme sağlayabildiğini, ancak en belirgin olumlu etkilerin inorganik gübreleme ve tohum-toprak uygulamasıyla birlikte kullanılan mikrobiyal gübre kombinasyonlarında ortaya çıktığını göstermiştir.

Verim özellikleri bakımından K2+BPL TT uygulaması öne çıkmış; en yüksek yeşil ot verimi, kuru ot verimi, ham protein oranı ve ham protein verimi bu uygulamadan elde edilmiştir. Bu durum, mikrobiyal gübrenin özellikle tohum ve toprak uygulamasıyla birlikte kullanıldığında yoncanın tesis yılında biyokütle oluşumu ve protein verimi üzerine olumlu katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Bunun yanında en yüksek kuru madde oranının K3+BPL uygulamasından, en yüksek SPAD değerinin ise K3+BPL TT uygulamasından elde edilmesi, mikrobiyal gübre uygulamalarının bitkinin fizyolojik gelişimi ve kuru madde birikimi üzerinde de etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Yem kalite özellikleri bakımından ise K2 uygulaması daha avantajlı bulunmuştur. Bu uygulamada en düşük NDF, ADF, ham selüloz ve ham kül oranları ile en yüksek nispi yem

değeri belirlenmiştir. Dolayısıyla, tesis yılında yem kalite göstergeleri bakımından tam doz taban gübre uygulamasının daha olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Bununla birlikte, mikrobiyal gübre ile desteklenen uygulamaların özellikle verim ve ham protein verimi bakımından sağladığı artışlar, bu uygulamaların yonca yetiştiriciliğinde tamamlayıcı bir bitki besleme girdisi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yoncanın tesis yılında yüksek yeşil ot verimi, kuru ot verimi ve ham protein verimi hedeflendiğinde K2+BPL TT uygulamasının daha uygun olduğu; yem kalite özellikleri ve nispi yem değeri önceliklendirildiğinde ise K2 uygulamasının öne çıktığı belirlenmiştir. Yoncanın çok yıllık bir yem bitkisi olması ve asıl verim potansiyelini tesis yılından sonraki yıllarda daha belirgin şekilde ortaya koyması nedeniyle, mikrobiyal gübre uygulamalarının verim, kalite ve sürdürülebilir gübreleme stratejileri açısından etkilerinin daha net değerlendirilebilmesi için çalışmanın farklı biçim dönemleri ve üretim yıllarını kapsayacak şekilde uzun süreli tarla denemeleriyle desteklenmesi yararlı olacaktır.

## KAYNAKÇA

Altunkaynak, A. Ö., Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) farklı azot dozlarının ve bakteri aşılamasının tane verimi ve verim özellikleri üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018.

Alveroğlu, V. *Bazı bakteri (Serratia marcescens ve Stenotrophomonas maltophilia) ve potasyum nitrat uygulamalarının biber bitkisinin tuza toleransı üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2014.

Anonim 2026. MGM İklim Verileri. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=CANKIRI
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

AOAC. Official Methods of Analysis, 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arkington, VA, 2006.

Aydın, A., Yıldırım, E., Karaman, M.R., Turan, M., Demirtaş, A., Şahin, F., Güneş, A., Esringü, A., Dizman, M., Tutar, A. Humik asit, PGPR ve kimyasal gübre uygulamalarının brokoli (*Brassica oleracea*) bitkisinin bazı verim parametreleri üzerine etkisi. SAÜ Fen Edebiyat Dergisi, 1, 309-316, 2012.

Dahaji, A. P., Masalehi, F., Akhgar, A. Improved growth and nutrition of sorghum (Sorghum bicolor) plants in a low-fertility calcareous soil treated with plant growth–promoting rhizobacteria and Fe-EDTA. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 20, 31–42, 2020.

Demirbağ, Z., Demir, İ. *Genel mikrobiyoloji laboratuvarı uygulama kitabı*, KATÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Esen Matbaacılık, Trabzon, 2005.

Gao, C., El-Sawah, A. M., Ali, D. F. I., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., Sheteiwy, M. S. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). Agronomy, 10(3), 319, 2020.

Gao, H., Yang, D., Yang, L., Han, S., Liu, G., Tang, L., Guo, C. Co-inoculation with Sinorhizobium meliloti and Enterobacter ludwigii improves the yield, nodulation, and

quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under saline-alkali environments. Industrial Crops and Products, 199, 116818, 2023.

Iyer, A., Mody, K., Jha B. Characterization of an exopolysaccharide produced by a marina Enterobacter cloacae. Indian Journal of Experimental Biology, 43(5), 467-471, 2005.

İmriz, G., Özdemir, F., Topal, İ., Ercan, B., Taş, M. N., Yakışır, E. ve Okur, O., Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR)'ler ve etki mekanizmaları, Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 12, 2, 1-19, 2014.

Kaushal, P., Ali, N., Saini, S., Pati, P. K., Pati, A. M. Physiological and molecular insight of microbial biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science, 14, 1041413, 2023.

Kusvuran, A., Dulger, I., Kusvuran, S. *Growth-promoting ability of Bacillus and Pseudomonas and their effect on induced tolerance in guar (Cyamopsis tetragonoloba [L.] Taub.) against drought stress.* Sustainable Forage Production and Ecological Safety, Editors: Demiroglu Topcu, G. and Seydosoglu, S., IKSAD Publishing House, pp: 175-214, Ankara, 2021.

Kuşvuran, A. ve Kuşvuran, Ş., Biyostimülantların abiyotik stres toleransı üzerine etkileri, Editörler: Ellialtıoğlu, Ş. Ş., Daşgan, H. Y. ve Kuşvuran, Ş., Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri, Gece Kitaplığı, Ankara, 430-466, 2021.

Li, H., Qiu, Y., Yao, T., Ma, Y., Zhang, H., Yang, X. Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of Avena sativa, Medicago sativa, and Cucumis sativus seedlings. Soil and Tillage Research, 199, 104577, 2020.

Logan, N.A. *Turnbull, bacillus and recently derived genera*. In:PR Murray, Rogel Berkeley, Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishingh, 2002.

Maheshwari, D., Plant growth and health promoting bacteria, Potential of PGPR in Agricultural Innovations, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Erzurum, 45-79, 2010.

Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z.A., Ashraf, M. *Microbial ACC-deaminase biotechnology: perspectives and applications in stress agriculture*. In Bacteria in Agrobiology: Stress Management (pp. 141-185). Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

Obid, S. A., Idris, A. E., Ahmed, B. E. A. M. Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) cultivars at Shambat, Sudan. Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences, 3(4), 313-317, 2016.

Öztürk, Ö.F. *Koyunyünü gübresi ile birlikte bitki büyümesini destekleyen rhizobakteri uygulamalarının mısır bitkisinin bazı gelişim parametreleri, besin elementleri içeriği ve toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya, 2025.

Radhakrishnan, R., Hashem, A., Abd_Allah, E.F. Bacillus: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. Frontiers in Physiology, 8, 667, 2017.

Rohweder, D., Barnes, R. F. and Jorgensen, N., Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality, Journal of Animal Science, 47, 3, 747-759, 1978.

Soyuçok, A., Ekiz, T., Kılıç, G.B. Ekzopolisakkaritlerin özellikleri ve gıda sanayindeki önemi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 332-344, 2016.

Topçal, F., Dığrak, M., Gündoğan, R. Topraktan izole edilen Bacillus türlerinin tanımlanması ve bakteriosin üretimlerinin belirlenmesi. Adıyaman University Journal of Science, 4(2), 57-67, 2014.

Van Soest, P.J. The use of detergents in the analysis of fibre feeds. II. A rapid method for the determination of fibre and lignin. J. of the Assoc. of Official Analytical Chemists. 46, 829-835, 1963.

Van Dyke, N. J. and Anderson, P. M., *Interpreting a forage analysis,* Alabama Cooperative Extension, Circular ANR-890, 2000.

https://duzennorwest.com.tr/
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

https://www.belplas.com.tr/belplas-organik-gubre
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

# MİKROBİYAL GÜBRE UYGULAMALARININ SİLAJLIK MISIRIN (*Zea mays* L.) VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Prof. Dr. Alpaslan KUŞVURAN**

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu

akusvuran@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5252-6261

**Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN**

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu

skusvuran@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1270-6962

**Özgün KIRDAR**

Belplas Ankara Termoplastik ve Bakım Onarım Hizmetleri A.Ş

ozgunkirdar@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9096-7738

## ÖZET

Bu çalışma, mikrobiyal sıvı gübre uygulamalarının silajlık mısırın (*Zea mays* L.) verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak Kompozit Arifiye mısır çeşidi, mikrobiyal gübre materyali olarak ise çoklu mikroorganizma içeriğine sahip sıvı formda bir mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Deneme, Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluyazı Yerleşkesi Araştırma ve Uygulama Alanında, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Çalışmada K1, K2, K3, BPL, K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL TT ve K3+BPL TT olmak üzere sekiz farklı uygulama değerlendirilmiştir. Uygulamaların etkisini belirlemek amacıyla bitki boyu, sap kalınlığı, koçan sayısı, hasıl verimi, kuru madde verimi, klorofil (SPAD) değeri, ham protein oranı, ham protein verimi, NDF, ADF, ham selüloz oranı, ham kül oranı ve nispi yem değeri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek hasıl verimi (8781 kg da$^{-1}$), kuru madde verimi (3818 kg da$^{-1}$), ham protein verimi (322 kg da$^{-1}$), sap kalınlığı (24,6 mm), koçan sayısı (1,3 adet bitki$^{-1}$) ve SPAD değeri (39,3) K2+BPL uygulamasından elde edilirken, kalite özellikleri bakımından en düşük NDF (%29,5), ADF (%13,6) ve ham selüloz oranı (%10,9) ile en yüksek nispi yem değeri (247) K3+BPL TT uygulamasında belirlenmiştir. Tek başına mikrobiyal gübre uygulamasının verim ve kalite üzerinde yeterli düzeyde olumlu etki oluşturmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, mikrobiyal gübre uygulamasının uygun inorganik gübreleme programlarıyla birlikte kullanılması silajlık mısırda verim ve yem kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. Özellikle azaltılmış inorganik gübreleme ile birlikte tohum ve toprak uygulamasını içeren mikrobiyal gübre kombinasyonlarının yem kalitesi bakımından umut verici olduğu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ADF, biyostimülant, kuru madde verimi, nispi yem değeri, NDF, sürdürülebilir tarım

# EFFECTS OF MICROBIAL FERTILIZER APPLICATIONS ON YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF SILAGE MAIZE (*Zea mays* L.)

## ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of microbial liquid fertilizer applications on the yield and quality characteristics of silage maize (*Zea mays* L.). In the study, the Kompozit Arifiye maize cultivar was used as plant material, while a liquid microbial fertilizer with multiple microorganism contents was used as microbial fertilizer material. The experiment was established at the Research and Implementation Area of Çankırı Karatekin University Uluyazı Campus according to a randomized complete block design with three replications. Eight different treatments, namely K1, K2, K3, BPL, K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL TT, and K3+BPL TT, were evaluated. Plant height, stem diameter, number of ears, fresh forage yield, dry matter yield, chlorophyll (SPAD) value, crude protein content, crude protein yield, NDF, ADF, crude cellulose content, and relative feed value were examined to determine the effects of the treatments. According to the results, the highest fresh forage yield (8781 kg $da^{-1}$), dry matter yield (3818 kg $da^{-1}$), crude protein yield (322 kg $da^{-1}$), stem diameter (24,6 mm), number of ears (1,3 ear $plant^{-1}$), and SPAD value (39,3) were obtained from the K2+BPL treatment, whereas the lowest NDF (29,5%), ADF (13,6%), and crude cellulose content (10,9%) and the highest relative feed value (247) were determined in the K3+BPL TT treatment. The sole application of microbial fertilizer did not produce a sufficiently positive effect on yield and quality. In conclusion, the use of microbial fertilizer applications together with appropriate inorganic fertilization programs has the potential to improve yield and feed quality in silage maize. In particular, microbial fertilizer combinations involving seed and soil applications together with reduced chemical fertilization were considered promising in terms of feed quality.

**Keywords:** ADF, biostimulant, dry matter yield, relative feed value, NDF, sustainable agriculture.

## 1. GİRİŞ

Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök bölgesinde kolonize olan, rizosfer etkileşimlerini düzenleyen ve bitki gelişimini çeşitli mekanizmalarla destekleyen yararlı mikroorganizmalardır. *Bacillus, Serratia, Arthrobacter, Pseudomonas, Rhodococcus, Enterobacter, Ochrobactrum, Acinetobacter, Azospirillum, Rhizobium, Streptomyces* ve *Stenotrophomonas* gibi bitki gelişimini teşvik eden bakteri cinsleri, düşük maliyetli ve çevre dostu tarımsal girdiler olarak değerlendirilmektedir. Bu mikrobiyom temelli biyostimülantlar, mineral elementlerin çözündürülmesi, azot fiksasyonu, fitohormon üretimi, sekonder metabolit sentezi, enzim salgılanması ve uçucu organik/inorganik bileşiklerin oluşturulması gibi çok yönlü mekanizmalarla bitki gelişimini desteklemektedirler. Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler, çinko (Zn), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi mineral elementlerin çözünürlüğünü artırarak besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini ve kullanım etkinliğini iyileştirebilmekte; bunun yanında atmosferik azotun biyolojik olarak fikse edilmesine katkı sağlamakta, ayrıca indol-3-asetik asit (IAA), absisik asit (ABA), etilen (ET), sitokinin (CK) ve

jasmonik asit (JA) gibi fitohormonların üretimi yoluyla kök ve sürgün gelişimi, stres yanıtları ve bitki metabolizması üzerinde düzenleyici etkiler oluşturmaktadır. Mikrobiyal temelli biyostimülantların bir diğer önemli özelliği, bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransını artırabilmeleridir. Bu etki; antioksidan savunma sistemiyle ilişkili genlerin aktivasyonu, fenolik bileşiklerin, savunma enzimlerinin, amino asitlerin ve organik asitlerin üretiminin desteklenmesi yoluyla gerçekleşebilmektedir. Böylece mikrobiyal biyostimülantlar yalnızca bitki büyümesini teşvik eden girdiler olarak değil, aynı zamanda stres yönetimi, besin kullanım etkinliği, rizosferde mikrobiyal dengenin korunması ve sürdürülebilir üretim açısından çok işlevli biyolojik araçlar olarak değerlendirilmektedir (Kuşvuran ve Kuşvuran 2021; Kaushal vd. 2023).

Toprak mikrobiyotasında yaygın olarak bulunan önemli bakteri gruplarından biri Bacillus cinsidir. *Bacillaceae* familyasına ait olan bu bakteriler, aerob veya fakültatif anaerob özellik gösterebilen, gram pozitif ve endospor oluşturabilen mikroorganizmalardır (Logan 2002; Demirbağ ve Demir 2005; Topçal vd. 2014). *Bacillus* türleri, güvenli kabul edilen birçok üyeye sahip olmaları ve tarımsal ya da endüstriyel kullanım açısından değer taşıyan farklı metabolitleri sentezleyebilmeleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu türler, bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığının artırılmasında da önemli rol oynayabilmektedir. Özellikle su yetersizliği, tuzluluk ve ağır metal birikimi gibi olumsuz çevre koşullarında Bacillus spp., toksik iyonların bitki bünyesindeki hareketini sınırlandırabilen, iyon dengesinin korunmasına ve su taşınımının düzenlenmesine katkı sağlayan ekzopolisakkaritler (EPS) ve sideroforlar üretebilmektedir (Radhakrishnan vd. 2017). EPS'ler, mikroorganizmalar tarafından çevreye salgılanan, yüksek molekül ağırlıklı monosakkarit yapılı doğal polimerlerdir. Bu bileşiklerin üretimi stres koşullarında artabilmekte ve mikroorganizmalara toksik maddelere ve ozmotik strese karşı koruyucu bir avantaj sağlayabilmektedir (Iyer vd. 2005; Soyuçok vd. 2016).

Bu çalışmada, mikrobiyal sıvı gübre uygulamalarının silajlık mısırın (*Zea mays* L.) verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada materyal olarak; "Kompozit Arifiye" mısır (*Zea mays* L.) çeşidi kullanılmıştır. Çankırı Karatekin Üniversitesi Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu Uluyazı Yerleşkesi Araştırma ve Uygulama Alanında bulunan açık arazide yürütülen araştırmada, ekimler 2,8 x 2 m = 5,6 $m^2$ büyüklüğündeki parsellere, 70 cm sıra arası, 15 cm sıra üzeri mesafesinde 9524 adet bitki $da^{-1}$ gelecek şekilde, her bir sıra üzeri mesafeye 2 adet tohum bırakılmak suretiyle arazi ve iklim koşulları dikkate alınarak 06.06.2021 tarihinde elle ekim şeklinde gerçekleştirilmiş, hemen sonrasında tohumların toprakla temasını sağlamak için elle silindir çekilmiştir. Ekim öncesinde toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Düzen Norwest A.Ş. laboratuvarında yapılan analize ait sonuçlar Çizelge 2.1.'de verilmiştir (https://duzennorwest.com.tr/).

**Çizelge 2.1. Araştırma alanı toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler**

| Ölçülen Parametreler | **Değer** | **Ölçülen Parametreler** | **Değer** |
|---|---|---|---|
| pH | 8,0 | Mg (mg $kg^{-1}$) | 939,0 |
| EC (dS $m^{-1}$) | 2,7 | K (mg $kg^{-1}$) | 301,0 |
| Organik Madde (%) | 1,2 | Na (mg $kg^{-1}$) | 40,4 |
| Bünye (Saturasyon) (mL) | 73,8 | B (mg $kg^{-1}$) | 0,8 |
| Cu (mg $kg^{-1}$) | 2,2 | Toplam Fosfor (mg $kg^{-1}$) | 0,1 |
| Fe (mg $kg^{-1}$) | 10,5 | Toplam Azot (%) | 0,12 |
| Mn (mg $kg^{-1}$) | 26,6 | Kireç (%) | 18,3 |
| Zn (mg $kg^{-1}$) | 0,6 | Aktif Kireç (%) | 1,2 |
| Ca (mg $kg^{-1}$) | 12302 | Nem (%) | 8,0 |

Denemenin yürütüldüğü Çankırı Merkezde İç Anadolu Bölgesi'nin karasal iklim özellikleri egemendir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve sert geçmektedir. Bölgenin uzun yıllar ortalama iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklığı 11,5 °C'dir. Uzun yıllar ortalama iklim verilerine göre Temmuz (23,1 °C) ve Ağustos (23,0 °C) en sıcak, Ocak (-0,4 °C) ve Aralık (1,7 °C) en soğuk aylar olarak tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarı 413,7 mm'dir. Ortalama güneşlenme süresi 6,4 saat ve yağışlık gün sayısı 105,9 gün şeklindedir. Bölgede hâkim rüzgâr yönü kuzeybatıdır. İkinci olarak kuzey, üçüncü olarak ise batı rüzgârları güçlü rüzgârlardır (Anonim 2026).

**Çizelge 2.2. 2021 yılı Mart-Ekim arası ile uzun yıllar (1929-2025) bazı iklim verileri, Çankırı**

| **Aylar** | **Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)** | | | | | | **Toplam Yağış Değerleri (mm)** | | **Ortalama Nispi Nem Değerleri (%)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Minimum** | | **Maksimum** | | **Ortalama** | | **2021** | **Uzun yıllar** | **2021** |
| | 2021 | Uzun yıllar | 2021 | Uzun yıllar | 2021 | Uzun yıllar | | | |
| **Mart** | -0,9 | 0,1 | 10,5 | 12,0 | 4,3 | 6,0 | 37,7 | 38,7 | 66,7 |
| **Nisan** | 6,4 | 4,6 | 18,5 | 18,1 | 12,0 | 11,0 | 7,4 | 43,9 | 61,0 |
| **Mayıs** | 9,7 | 8,7 | 27,2 | 23,0 | 18,7 | 15,9 | 14,5 | 56,8 | 49,2 |
| **Haziran** | 12,5 | 12,0 | 25,9 | 27,3 | 19,0 | 20,1 | 79,6 | 46,0 | 63,4 |
| **Temmuz** | 16,8 | 14,3 | 33,1 | 31,2 | 25,1 | 23,4 | 3,9 | 18,3 | 47,1 |
| **Ağustos** | 16,5 | 14,1 | 33,5 | 31,5 | 25,1 | 23,3 | 4,8 | 18,2 | 46,4 |
| **Eylül** | 10,6 | 9,8 | 24,8 | 26,8 | 17,2 | 18,5 | 50,3 | 18,3 | 60,3 |
| **Ekim** | 4,5 | 5,2 | 20,2 | 20,3 | 12,1 | 12,7 | 0,6 | 25,8 | 58,6 |
| **Toplam** | - | - | - | - | - | - | **198,8** | **266,0** | - |
| **Ortalama** | **9,5** | **8,6** | **24,2** | **23,8** | **16,7** | **16,4** | | | **56,6** |

Araştırmanın yürütüldüğü döneme ait iklim değerleri incelendiğinde, ortalama sıcaklıkların uzun yıllar ortalamasının bir miktar üzerinde olduğu, bu durumun aksine yağış değerlerinin ise uzun yıllar ortalamasının oldukça altında olduğu görülmektedir. Bilindiği üzere mısırın çimlenmesi için minimum 8-12 °C, fotosentezin ise optimum düzeyde gerçekleşmesi için 14-17 °C'ye ihtiyacı vardır. Ortalama sıcaklık değerleri mısır için istenilen düzeyde gerçekleşmiştir. Öte yandan mısırın sulama yapılmaksızın yetiştirilebilmesi için vegetasyon

süresi boyunca 400-750 mm arasında yağış alması veya bunun mümkün olmadığı durumlarda buna karşılık gelen miktarın sulama suyu ile karşılanması gerekmektedir. Toplam yağış değerleri incelendiği zaman bu değerin oldukça altında bir yağış düştüğü izlenmektedir (Kuşvuran vd. 2015).

Toprak örneklerinin alınmasından sonra; deneme alanındaki bütün parsellere 10 kg $da^{-1}$ saf N, 15 kg $da^{-1}$ saf $P_2O_5$ ve 15 kg $da^{-1}$ $SO_3$ gelecek şekilde 20.20.0+30 $SO_3$ içerikli kompoze taban gübre ve TSP (%44 $P_2O_5$) uygulanmıştır. Bununla birlikte toprak organik maddesinin düşük olması nedeniyle 4 lt $da^{-1}$ gelecek şekilde; %50 organik madde, %20 organik karbon, %1 N, %3 suda çözünür $K_2O$ ve pH değeri 8-10 aralığında olan Belplas Organik Gübre (https://www.belplas.com.tr/belplas-organik-gubre)'den bütün parsellere damla sulama ile uygulanmıştır.

Çalışmada Profamik Land mikrobiyal gübre kullanılmıştır. Mikrobiyal gübre toplam canlı organizma sayısının $1x10^7$ kob $ml^{-1}$ ve canlı organizma olarak da, *Lactobacillus strains* (*Lactobacillus lactis* ssp. *lactis, Lactococcus lactis* ssp. *lactis* biovar. *diacetylactis, Lactobacillus lactis* spp. *cremoris, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum*) *Rhodopseudomonas palustris, Bacillus subtilis, Saccharomyces cerevisiae* türlerini içermektedir. Uygulamalar; tohuma ve toprağa olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiş, ayrıca inorganik gübre uygulamaları ile birlikte toplam sekiz farklı uygulama değerlendirilmiştir: K1 (Sadece taban gübre uygulaması / üst gübresiz kontrol), K2 (taban gübre + 10 kg/$da^{-1}$ N üst gübreleme), K3 (taban gübre + 5 kg/$da^{-1}$ N üst gübreleme), BPL (1,5 lt 100 $lt^{-1}$ BPL topraktan + 1 lt $da^{-1}$ BPL 15 gün aralıklarla 5 adet uygulama mikrobiyal gübre uygulaması), K2+BPL, K3+BPL, K2+BPL+TT (TT=1,5 lt 100 $lt^{-1}$ BPL tohuma uygulama) ve K3+BPL+TT. Ekimden hemen sonra, her bir uygulamaya 1 adet sulama tankı gelecek şekilde (8 adet) ve her biri 1000 litre (1 $m^3$) hacminde olan tanklar yardımıyla damla sulama sistemi çekilerek can suyu verilmiş ve deneme süresince sulamalar ve mikrobiyal gübre uygulamaları bu sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mısırların süt olum-hamur olum dönemi arasında olduğu dönemde kenar tesiri dışında kalan iki sırada, 04.10.2021 tarihinde, hasat öncesi gözlemler ve sonrasında hasat işlemleri gerçekleştirilmiştir.

## Morfolojik Özellikler

Araştırmada incelenen morfolojik özellikler ve yöntemleri ile verilerin elde edilmesi Geren (2000), Sağlamtimur vd. (2001), İptaş vd. (2002) ile Kacar ve İnal (2008)'ın bildirdikleri yöntemler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Örnekler hasat öncesinde kenar tesirleri dışında kalan iki sıradan alınmıştır.

***Bitki boyu (cm)*:** Tesadüfen seçilen 10 bitkide, yerden tepe püskülü ucuna kadar olan kısmın ölçülmesi ile ortalama bitki boyu değeri belirlenmiştir.

***Sap kalınlığı (mm):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; alt kısmından 3. ve 4. boğum arası sayısal kumpas yardımı ile ölçülerek ortalama sap kalınlığı değeri tespit edilmiştir.

***Koçan sayısı (adet $bitki^{-1}$):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; tane bağlamış koçanlar sayılarak bitki başına ortalama koçan sayısı değeri belirlenmiştir.

***Yaprak oranı (%):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkinin; yaprakları kını ile birlikte ayrılarak zaman

geçirilmeden deneme alanında akülü terazide tartılmış ve daha sonra elde edilen değer toplam ağırlığa oranlanarak ortalama yaprak oranı değeri tespit edilmiştir.

***Sap oranı (%):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; yerden 10 cm yükseklikten biçim yapılarak zaman geçirilmeden deneme alanında akülü terazide tartılmış ve daha sonra elde edilen değer toplam ağırlığa oranlanarak ortalama sap oranı değeri belirlenmiştir.

***Koçan oranı (%):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; koçanları ayrılarak zaman geçirilmeden deneme alanında akülü terazide tartılmış ve daha sonra elde edilen değer toplam ağırlığa oranlanarak ortalama koçan oranı değeri tespit edilmiştir.

***Hasıl verimi (kg da$^{-1}$):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; yaprak, sap ve koçanları ile birlikte hasat edildikten sonra zaman geçirilmeden deneme alanında akülü terazide tartılmış ve dekara çevrilerek hasıl verimi değeri elde edilmiştir.

***Kuru madde oranı (%):*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; açık havada birkaç gün bekletilerek ön soldurma işlemine tabii tutulmuş, daha sonra etüvde 78 °C'de 24 saat süreyle ağırlıkları sabit kalıncaya kadar kurutulmuş ve yaş ağırlığa oranlanarak ortalama kuru madde oranı değeri tespit edilmiştir.

***Kuru madde verimi (kg da$^{-1}$):*** Hasıl verimi ile kuru madde oranı çarpılmış ve elde edilen değer ortalama kuru madde verimi değeri olarak belirlenmiştir.

***Klorofil (SPAD) Değeri:*** Tesadüfen seçilen 10 bitkide; rastgele seçilen 10 adet yaprağın, SPAD-metre değerleri Minolta marka (SPAD-502 Plus, Minolta, Japonya) klorofil metre cihazı ile ölçülmüş ve ölçülen değerler doğrudan verilmiştir.

**Kalite Özellikleri**

***Ham protein oranı (%):*** Kuru madde tespiti için kurutulan bitki örneklerinden parselin tamamını temsil edecek nitelikte yaprak, sap ve koçanlardan oluşan örnekler 1 mm çapında eleklere sahip bitki öğütme değirmeninden geçirilmiştir. Numunelerde Kjeldahl yöntemi ile azot tayinleri yapılmış ve elde edilen değer toplam azot değeri 6,25 (100/16) ile çarpılarak ham protein oranı değerleri tespit edilmiştir.

***Ham protein verimi (kg da$^{-1}$):*** Ham protein oranı ile kuru madde verimi çarpılmış ve elde edilen değer ortalama ham protein verimi olarak kg da$^{-1}$ cinsinden verilmiştir.

***ADF (Asit Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%):*** ADF oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***NDF (Nötr Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%):*** NDF oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***Ham Selüloz Oranı (%):*** Ham selüloz oranları Van Soest (1963) yöntemine uygun olarak Ankom A220 lif analiz cihazı yardımıyla tayin edilmiştir.

***Ham Kül Oranı (%):*** 1 g ağırlığındaki kuru ot numuneleri 105 °C'de 2 saat süreyle nemi uzaklaştırılan krozelere konmuş ve ardından 550 °C'de 4 saat tutulmuş ve kül açık griden beyaza kadar değişen bir renge dönünceye kadar kül fırınında yakılarak kül oranları tespit edilmiştir **(**AOAC 2006).

***Nispi Yem Değeri (NYD):*** NYD değeri Van Dyke ve Anderson (2000) tarafından bildirilen eşitliklerden yararlanılarak hesaplandı. Bu amaçla % sindirilebilir kuru madde (SKM) miktarı ADF değerinden; [%SKM = 88,9 - (0,779 × %ADF)] formülüne göre; hayvanın canlı ağırlığına bağlı olarak % kuru madde tüketim (KMT) miktarı NDF değerinden {%KMT = 120 ÷ %NDF]

formülüne göre; nispi yem değerini hesaplamak için SKM ve KMT değerleri [%NYD = (%SKM) × (%KMT) × 0,775] formülüne göre hesaplanmıştır.

**Çizelge 2.3 Nispi yem değeri indeksi***

| Kalite Standartları | HP, % | ADF, % (KM) | NDF, % (KM) | NYD |
|---|---|---|---|---|
| **En yüksek kalite** | > 19 | < 31 | < 40 | > 151 |
| **1** | 17-19 | 31-40 | 40-46 | 151-125 |
| **2** | 14-16 | 36-40 | 47-53 | 124-103 |
| **3** | 11-13 | 41-42 | 54-60 | 102-87 |
| **4** | 8-10 | 43-45 | 61-65 | 86-75 |
| **5** | < 8 | > 45 | > 65 | < 75 |

* Nispi yem değeri indeksi tam çiçekteki yonca kuru otunun içerdiği ADF (%41) ve NDF(%53) oranından yararlanılarak hesaplanan 100 indeksini esas almaktadır (Rohweder vd. 1978).

Denemelerden elde edilen sayısal değerler, JMP version 8,0 (SAS Institute Inc., ABD) istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulup istatistiksel açıdan uygulamalar arasındaki farklılıklar LSD (Least Significant Difference) çoklu karşılaştırma testi ile önemlilik dereceleri ortaya konularak p<0,05 düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Bitki Boyu (cm), Sap Kalınlığı (mm), Koçan Sayısı (adet bitki$^{-1}$), Yaprak Oranı (%) ve Sap Oranı (%) Değerleri

Mikrobiyal gübre kullanımının silajlık mısır (*Zea mays* L.)'da verim ve kalite özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen araştırmadan elde edilen bitki boyu, sap kalınlığı, koçan sayısı, yaprak oranı ve sap oranı değerleri ile istatistik analiz sonuçlarına göre oluşan gruplar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çalışmada incelenen özelliklerin tamamında uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık ortaya çıktığı görülmektedir. En yüksek bitki boyu K2+BPL TT, en düşük bitki boyu ise BPL uygulamasında belirlenmiştir. Sap kalınlığı ve koçan sayısı bakımından en yüksek değerlerin K2+BPL uygulamasından (24,6 mm ve 1,3 adet bitki$^{-1}$) elde edilmiş, yaprak ve sap oranın bakımından en yüksek yaprak oranının %22,9 ile K1 uygulamasından, sap oranının ise %63,6 ile BPL'nin yalın olarak verildiği uygulamadan elde edildiği belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1 Bitki boyu (cm), sap kalınlığı (mm), koçan sayısı (adet bitki$^{-1}$), yaprak oranı (%) ve sap oranı (%) değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Bitki Boyu | Sap Kalınlığı | Koçan Sayısı | Yaprak Oranı | Sap Oranı |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 227 f | 18,2 d | 1,0 b | 22,9 a | 56,7 c |
| **K2** | 264 c | 20,6 c | 1,1 b | 20,7 bc | 50,1 f |
| **K3** | 244 d | 17,4 d | 1,0 b | 21,4 a-c | 56,4 c |
| **BPL** | 236 e | 17,2 d | 1,0 b | 22,1 ab | 63,6 a |
| **K2 + BPL** | 288 b | 24,6 a | 1,3 a | 19,8 c | 47,6 g |
| **K3 + BPL** | 287 b | 22,5 b | 1,0 b | 15,8 e | 54,6 d |
| **K2 + BPL TT** | 297 a | 22,8 b | 1,1 b | 16,1 e | 52,3 e |
| **K3 + BPL TT** | 262 c | 22,7 b | 1,0 b | 17,9 d | 58,9 b |
| **Ortalama** | **263** | **20,7** | **1,1** | **19,6** | **55,0** |
| **EGF (%5)** | **7,1**** | **1,2**** | **0,1**** | **1,8**** | **1,8**** |

*: P≤0,05, **: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil

[***]Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

### 3.2. Koçan Oranı (%), Hasıl Verimi (kg da$^{-1}$), Kuru Madde Oranı (%), Kuru Madde Verimi (kg da$^{-1}$) ve Klorofil (SPAD) Değerleri

Araştırmada mikrobiyal gübre kullanımına yönelik uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde bir farkın ortaya çıktığı belirlenmiştir. Buna göre en yüksek koçan oranı istatistiksel olarak aynı grupta yer alan K2+BPL, K3+BPL ve K2+BPL TT uygulamalarında sırasıyla %32,6, %29,7 ve %31,6 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada uygulamaların etkisi hasıl verim, kuru madde verimi ve SPAD bakımından da değerlendirilmiş, en yüksek değerler 8781 kg da$^{-1}$ hasıl verimi, 3818 kg da$^{-1}$ kuru madde verimi ve 39,3 SPAD değeri ile K2+BPL uygulamasından elde edilmiş, bu uygulamayı K2+BPL TT izlemiştir. Kuru madde oranı bakımından ise en yüksek değer K1 (%52,6) ve K3+BPL TT (%49,8) uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 3.2).

**Çizelge 3.2. Koçan oranı (%), hasıl verimi (kg da$^{-1}$), kuru madde oranı (%), kuru madde verimi (kg da$^{-1}$) ve klorofil (SPAD) değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Koçan Oranı | Hasıl Verimi | Kuru Madde Oranı | Kuru Madde Verimi | SPAD Değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| **K1** | 20,4 b | 3394 g | 52,6 a | 1785 e | 18,1 e |
| **K2** | 29,2 a | 6389 d | 40,9 d | 2612 c | 34,1 b |
| **K3** | 22,3 b | 3778 f | 46,6 c | 1762 e | 21,4 d |
| **BPL** | 14,3 c | 3302 g | 49,6 b | 1640 e | 14,6 f |
| **K2 + BPL** | 32,6 a | 8781 a | 43,5 d | 3818 a | 39,3 a |
| **K3 + BPL** | 29,7 a | 6787 c | 30,6 e | 2076 d | 27,4 c |
| **K2 + BPL TT** | 31,6 a | 7676 b | 46,4 c | 3565 b | 32,2 b |
| **K3 + BPL TT** | 23,2 b | 5683 e | 49,8 ab | 2831 c | 26,3 c |
| **Ortalama** | **25,4** | **5724** | **45,0** | **2511** | **26,7** |
| **EGF (%5)** | **5,2**[**] | **281**[**] | **2,9**[**] | **231**[**] | **2,4**[**] |

[*]: P≤0,05, [**]: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil

[***]Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

### 3.3. Ham Protein Oranı (%), Ham Protein Verimi (kg da$^{-1}$), NDF (Nötr Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%) ve ADF (Asit Çözücüde Çözünmeyen Lif) Oranı (%) Değerleri

Silajlık mısırda gerçekleştirilen çalışmada, ham protein oranı dışındaki uygulamalar arasında ortaya çıkan değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek ham protein oranı değeri %9 ile K3+BPL ve K3+BPL TT uygulamalarında tespit edilirken, en yüksek ham protein verimi 322 kg da$^{-1}$ ile K2+BPL uygulamasında belirlenmiştir. NDF ve ADF oranın da incelendiği çalışmada, en düşük NDF ve ADF oranları K3+BPL TT uygulamasından sırasıyla %29,5 ve %13,6 olarak belirlenirken; bu uygulamayı %31,2 ve %15,8 ile K2+BPL uygulaması izlemiştir (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3 Ham protein oranı (%), ham protein verimi (kg da$^{-1}$), NDF (nötr çözücüde çözünmeyen lif) oranı (%) ve ADF (asit çözücüde çözünmeyen lif) oranı değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Ham Protein Oranı | Ham Protein Verimi | NDF Oranı | ADF Oranı |
|---|---|---|---|---|
| **K1** | 6,9 | 124 e | 51,9 a | 27,9 a |
| **K2** | 8,0 | 208 cd | 41,9 d | 23,3 c |
| **K3** | 7,1 | 126 e | 44,4 c | 25,3 b |
| **BPL** | 4,4 | 72 f | 49,7 b | 29,0 a |
| **K2 + BPL** | 8,4 | 322 a | 31,2 f | 15,8 d |
| **K3 + BPL** | 9,0 | 187 d | 34,6 e | 17,2 d |
| **K2 + BPL TT** | 6,4 | 228 c | 42,0 d | 25,2 b |
| **K3 + BPL TT** | 9,0 | 253 b | 29,5 f | 13,6 e |
| **Ortalama** | **7,4** | **190** | **40,7** | **22,2** |
| **EGF (%5)** | **ÖD** | **22**$^{**}$ | **1,7**$^{**}$ | **1,7**$^{**}$ |

$^{*}$: P≤0,05, $^{**}$: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil
$^{***}$Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

## 3.4. Ham Selüloz Oranı (%), Ham Kül Oranı (%) ve NYD (Nispi Yem Değeri) Değerleri

Mikrobiyal gübre kullanımının silajlık mısır (*Zea mays* L.)'da verim ve kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, ham selüloz oranı bakımından K3+BPL TT uygulaması %10,9 ile en düşük değere sahip olmuştur. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grupta yer alan K2+BPL (%13,0) ve K3+BPL (%13,8) izlemiş, aynı zamanda bu uygulamalarda ham kül oranında ham kül oranı bakımından da en düşük (%3,4) değerler elde edilmiştir. NYD bakımından en yüksek değer 247 ile K3+BPL TT uygulanmasından elde edilmiş, bu uygulamayı 228 ile K2+BPL izlemiştir (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.4 Ham selüloz oranı (%), ham kül oranı (%) ve NYD (nispi yem değeri) değerleri ile istatistiksel olarak oluşan gruplar**

| Uygulamalar | Ham Selüloz Oranı | Ham Kül Oranı | NYD |
|---|---|---|---|
| **K1** | 22,6 a | 5,6 ab | 120 f |
| **K2** | 18,0 c | 5,0 b-d | 157 d |
| **K3** | 18,3 bc | 5,2 a-c | 145 e |
| **BPL** | 22,7 a | 6,8 a | 124 f |
| **K2 + BPL** | 13,0 d | 3,4 d | 228 b |
| **K3 + BPL** | 13,8 d | 3,4 d | 204 c |
| **K2 + BPL TT** | 19,9 b | 5,8 ab | 153 de |
| **K3 + BPL TT** | 10,9 e | 3,5 cd | 247 a |
| **Ortalama** | **17,4** | **4,8** | **172** |
| **EGF (%5)** | **1,7**$^{**}$ | **1,7**$^{**}$ | **9,7**$^{**}$ |

$^{*}$: P≤0,05, $^{**}$: P≤0,01, EGF: En güvenilir fark (LSD), VK: Varyasyon katsayısı, ÖD: Önemli değil
$^{***}$Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar LSD testine göre %5 hata sınırları içinde istatistiksel olarak farklı değildir.

Bazı bakteriler, ACC deaminaz enzimi üretme yetenekleri sayesinde bitki köklerinde etilen düzeyini düşürerek kök uzaması ve kök gelişimini destekleyebilmektedir. ACC deaminaz

aktivitesinin *Enterobacter* spp., *Rhizobium* spp., *Pseudomonas* spp., *Variovorax* spp., *Alcaligenes* spp. ve *Bacillus* spp. gibi farklı bakteri gruplarında yaygın olarak görüldüğü; ayrıca gram negatif ve gram pozitif bakteriler, endofitik bakteriler, rizobiyumlar ve bazı fungal mikroorganizmalarda da bu aktivitenin bulunduğu bildirilmektedir (Nadeem vd. 2012). Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler, etilen biyosentezinde ara bileşik olarak görev yapan ACC'yi ACC-deaminaz enzimi aracılığıyla amonyum ve α-ketobutirata dönüştürerek etilen oluşumunu sınırlandırabilmektedir. Bunun yanında, indol asetik asit (IAA) üretimi yoluyla kök ve sürgün gelişimini destekleyerek bitki büyümesine katkı sağlayabilmektedirler (Alveroğlu 2014). PGPR uygulamalarının ise farklı yetiştirme koşullarında köklenme, erken çimlenme, besin elementi alımı, toplam biyokütle oluşumu ve erken çiçeklenme gibi süreçler üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiler oluşturabildiği; bu yolla bitki büyüme ve gelişimini desteklerken bitki hastalıklarının baskılanmasına da katkı sağlayabildiği ifade edilmektedir (Kusvuran vd. 2021; Kuşvuran ve Kuşvuran 2021).

Mikrobiyal gübre kullanımının kimyevi gübre kullanımı büyük ölçüde azaltılmasına imkan sağlayacağını vurgulayan Gao vd. (2020) mısırda mikrobiyal gübre uygulamalarının verim ve tane verimini arttırdığını, çözünür şekerler, nişasta, karbonhidratlar, protein ve amino asit içeriklerini iyileştirdiğini ayrıca mikrobiyal gübrelemenin, kimyevi gübrelemeye oranla mısır rizofosferinde asit fosfataz ve dehidrojenaz enzimlerini, bakteri sayısını ve mikorizal kolonizasyon seviyelerini artırarak mikrobiyal aktivitede belirgin bir artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmada mikrobiyal gübre kullanımı silajlık mısırda verim ve kalite parametreleri bakımından artışa imkân vermiştir. Obid vd. (2016) mısırda mikrobiyal gübre seviyesindeki artışa bağlı olarak bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, 1000 tane ağırlığı ve koçan başına tane sayısının arttığını ortaya koymuş, Öztürk (2025) mısırda *Bacillus mojavensis*'in kök gelişimini artırırken, *Bacillus subtilis*'in bitki boyu ve yaprak klorofil içeriğini (SPAD) belirgin bir şekilde artırdığını belirlemiştir. Benzer şekilde Galindo vd. (2024) mısırda *A. brasilense* ve *B. subtilis* içeren mikrobiyal konsorsiyumların, mısırda kök ve sürgün gelişimi, azot dinamikleri, fotosentetik kapasite ve oksidatif stresle ilişkili süreçleri iyileştirerek azot kullanım etkinliğini artırabileceğini, özellikle birlikte uygulandıklarında stoma iletkenliği, $CO_2$ asimilasyonu ve karbon fiksasyonunu destekleyerek bitki gelişimine ve verime olumlu katkı sağladığını bildirmiştir.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Silajlık mısırda mikrobiyal gübre uygulamalarının verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bu çalışmada, uygulamaların birçok özellik üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, mikrobiyal gübrenin tek başına uygulanmasının verim ve kaliteyi artırmada yeterli olmadığını, buna karşılık inorganik gübreleme ile birlikte kullanıldığında daha olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Verim özellikleri bakımından K2+BPL uygulaması öne çıkmış; en yüksek hasıl verimi, kuru madde verimi, ham protein verimi, sap kalınlığı, koçan sayısı ve SPAD değeri bu uygulamadan elde edilmiştir. Bu durum, mikrobiyal gübrenin yeterli besin elementi desteğiyle birlikte kullanıldığında bitki gelişimi ve biyokütle birikimini destekleyebileceğini göstermektedir.

Yem kalite özellikleri bakımından ise K3+BPL TT uygulaması daha avantajlı bulunmuştur. Bu uygulamada en düşük NDF, ADF ve ham selüloz oranları ile en yüksek nispi yem değeri belirlenmiştir. Dolayısıyla, yem kalitesinin ön planda olduğu koşullarda azaltılmış inorganik gübreleme ile birlikte tohum ve toprak uygulamasını içeren mikrobiyal gübre kombinasyonlarının umut verici olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, silajlık mısır yetiştiriciliğinde yüksek verim hedeflendiğinde K2+BPL, yem kalitesi önceliklendirildiğinde ise K3+BPL TT uygulamasının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Mikrobiyal gübrelerin silajlık mısırda tamamlayıcı bir bitki besleme girdisi olarak değerlendirilmesi ve farklı ekolojik koşullarda yeni çalışmalarla desteklenmesi yararlı olacaktır.

## KAYNAKÇA

Alveroğlu, V. *Bazı bakteri (Serratia marcescens ve Stenotrophomonas maltophilia) ve potasyum nitrat uygulamalarının biber bitkisinin tuza toleransı üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2014.

Anonim 2026. MGM İklim Verileri. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=CANKIRI
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

AOAC. Official Methods of Analysis, 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arkington, VA, 2006.

Demirbağ, Z., Demir, İ. *Genel mikrobiyoloji laboratuvarı uygulama kitabı*, KATÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Esen Matbaacılık, Trabzon, 2005.

Galindo, F. S., Pagliari, P. H., da Silva, E. C., de Lima, B. H., Fernandes, G. C., Thiengo, C. C., Bernardes, JVS., Jalal, A., Oliveira, C.E.S., Vilela, L.S., Junior, E.F., Nogueira, T.A.R., Nascimento, V., Filho, M.C.M.T., Lavres, J. Impact of nitrogen fertilizer sustainability on corn crop yield: the role of beneficial microbial inoculation interactions. BMC Plant Biology, 24(1), 268, 2024.

Gao, C., El-Sawah, A. M., Ali, D. F. I., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., Sheteiwy, M. S. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). Agronomy, 10(3), 319, 2020.

Geren, H. *Ana ve ikinci ürün olarak yetiştirilen silajlık mısır (Zea mays L.) çeşitlerinde ekim zamanlarının hasıl verimleri ile silaja ilişkin tarımsal özelliklere etkisi üzerinde araştırmalar*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, 2000.

Iyer, A., Mody, K., Jha B. Characterization of an exopolysaccharide produced by a marina Enterobacter cloacae. Indian Journal of Experimental Biology, 43(5), 467-471, 2005.

İptaş, S., Öz A., Boz A. Tokat–Kazova koşullarında birinci ürün silajlık mısır yetiştirme olanakları, Tarım Bilimleri Dergisi, 8(4), 267-273, 2002.

Kacar, B., İnal, A. *Bitki analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım. ISBN 978-605-395-036-3, Ankara. 2008.

Kaushal, P., Ali, N., Saini, S., Pati, P. K., Pati, A. M. Physiological and molecular insight of microbial biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science, 14, 1041413, 2023.

Kusvuran, A., Dulger, I., Kusvuran, S. *Growth-promoting ability of Bacillus and Pseudomonas and their effect on induced tolerance in guar (Cyamopsis tetragonoloba [L.] Taub.) against drought stress.* Sustainable Forage Production and Ecological Safety, Editors: Demiroglu Topcu, G. and Seydosoglu, S., IKSAD Publishing House, pp: 175-214, Ankara, 2021.

Kuşvuran, A. ve Kuşvuran, Ş., Biyostimülantların abiyotik stres toleransı üzerine etkileri, Editörler: Ellialtıoğlu, Ş. Ş., Daşgan, H. Y. ve Kuşvuran, Ş., Sebzelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri, Gece Kitaplığı, Ankara, 430-466, 2021.

Kuşvuran, A., Kaplan, M., Nazlı, R. İ., Saruhan, V. ve Karadağ, Y. Orta Kızılırmak Havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin silajlık olarak yetiştirilme olanaklarının belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(1): 57-67, 2015.

Logan, N.A. *Turnbull, bacillus and recently derived genera*. In:PR Murray, Rogel Berkeley, Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishingh, 2002.

Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A. and Ashraf, M., Microbial ACC-deaminase biotechnology: perspectives and applications in stress agriculture, *Bacteria in Agrobiology: Stress Management*, Springer, Berlin, Heidelberg, 141-185, 2012.

Obid, S. A., Idris, A. E., Ahmed, B. E. A. M. Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) cultivars at Shambat, Sudan. Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences, 3(4), 313-317, 2016.

Öztürk, Ö.F. *Koyunyünü gübresi ile birlikte bitki büyümesini destekleyen rhizobakteri uygulamalarının mısır bitkisinin bazı gelişim parametreleri, besin elementleri içeriği ve toprağın bazı biyolojik özellikleri üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya, 2025.

Radhakrishnan, R., Hashem, A., Abd_Allah, E.F. Bacillus: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. Frontiers in Physiology, 8, 667, 2017.

Rohweder, D., Barnes, R. F. and Jorgensen, N., Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality, Journal of Animal Science, 47, 3, 747-759, 1978.

Sağlamtimur, T., Tansı, V., İnal, İ., Kuşvuran, A. KKTC sulanan alanlarında uygulanabilecek ekim nöbeti sistemlerinin saptanması üzerinde araştırmalar. KKTC Tarım Bakanlığı, KKTC-TAGEP 5.1.3 nolu Proje Sonuç Raporu, 2001.

Soyuçok, A., Ekiz, T., Kılıç, G.B. Ekzopolisakkaritlerin özellikleri ve gıda sanayindeki önemi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 332-344, 2016.

Topçal, F., Dığrak, M., Gündoğan, R. Topraktan izole edilen Bacillus türlerinin tanımlanması ve bakteriosin üretimlerinin belirlenmesi. Adıyaman University Journal of Science, 4(2), 57-67, 2014.

Van Soest, P. J., The use of detergents in the analysis of fibre feeds. II. A rapid method for the determination of fibre and lignin, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 46, 829-835, 1963.

Van Dyke, N. J. and Anderson, P. M., *Interpreting a forage analysis,* Alabama Cooperative Extension, Circular ANR-890, 2000.

https://duzennorwest.com.tr/
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

https://www.belplas.com.tr/belplas-organik-gubre
(Erişim tarihi: 18.06.2026)

# EXPLORING THE EFFECTS OF 3D BIOPRINTING TECHNOLOGY IN WOUND HEALING

**Assoc. Prof. Dr. Kaan KALTALIOĞLU**
Giresun University, Vocational School of Espiye
kaan.kaltalioglu@giresun.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4995-2657

## ABSTRACT

Wound healing is a dynamic and multifaceted biological process requiring the seamless coordination of stages such as inflammation, angiogenesis, cell proliferation, and extracellular matrix remodeling. Non-healing wounds, particularly those associated with chronic conditions such as diabetes, place a significant burden on global healthcare systems by exacerbating patients' suffering and driving up medical costs. Traditional wound dressings often fail to meet the complex and constantly changing demands of chronic wounds. Three-dimensional (3D) bioprinting technology is a notable innovation in tissue engineering and regenerative medicine, as it enables the precise, layer-by-layer deposition of cells and biomaterials. This review examines the impact of 3D bioprinting technology on wound healing processes, as well as the latest developments in this field over the past couple of years.

**Keywords:** 3D printing, biotechnology, regenerative medicine, wound healing

## 1. INTRODUCTION

The skin is the largest organ in the human body, covering an area of approximately 1.5-2 square metres and accounting for around 15% of total body weight (Richardson, 2003). This tissue serves as a vital interface between the body's internal environment and the external world, performing multifaceted functions such as maintaining homeostasis, providing a physical barrier against pathogens, regulating body temperature, enabling sensory perception and supporting immune defence (Manoharan et al., 2026). The skin's complex functionality stems from its architectural structure consisting of three interdependent layers: the outermost protective barrier of the epidermis; the dermis, which provides structural support; and the deepest layer of the hypodermis (Brito et al., 2024; Manoharan et al., 2026).

However, disruption to this structure due to trauma, surgery or chronic diseases such as diabetes can lead to serious clinical complications (Zhao et al., 2023; Kaltalioglu, 2023). Non-healing chronic wounds in particular impose a massive economic burden on healthcare systems worldwide and significantly impair patients' quality of life (Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015; Manoharan et al., 2026). Current conventional wound dressings generally maintain the wound's moisture and temperature balance or prevent external contamination (Rathinasamy et al., 2025; Manoharan et al., 2026). They are ineffective at managing the organisation of specific cells or mimicking tissue scaffolding (Monika et al., 2022; Rathinasamy et al., 2025). These limitations have necessitated the development of regenerative technologies based on tissue engineering, such as 3D bioprinting (Sharma et al., 2026).

## 2. WOUND HEALING PROCESS

Under normal conditions, wound healing is a well-defined, acute process that follows a specific, physiological sequence comprising inflammation, proliferation, and remodeling stages (Figure 1) (Dindar et al., 2017). Cell proliferation, vascular regeneration and the precise regulation of signalling pathways play a major role in these phases (Liu & Fang, 2025). Conversely, chronic non-healing wounds stall at one or more of these stages, preventing the completion of the healing process. This disrupts the healing cycle, resulting in the wound remaining open and susceptible to infection (Liu & Fang, 2025).

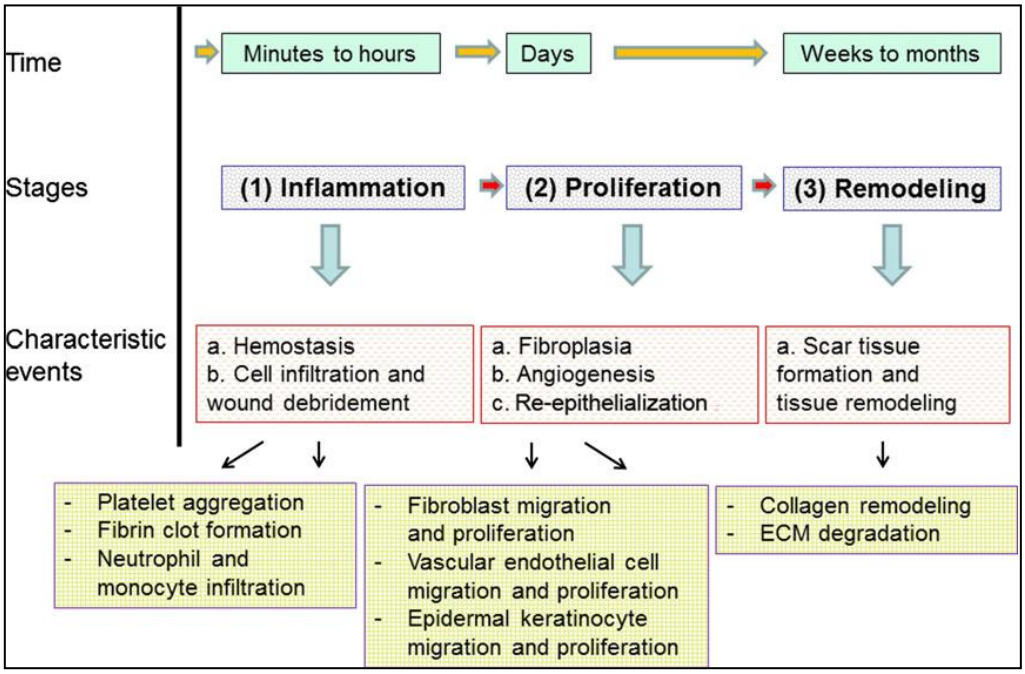



**Figure 1. Wound healing process (Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015)**

Although widely used in current treatments, conventional wound dressings fall short of meeting more sophisticated clinical needs, such as targeted drug delivery, regulation of the cellular microenvironment and mimicking the tissue scaffold (Rathinasamy et al., 2025). Emerging new-generation therapeutic strategies based on small-molecule inhibitors, gene therapies, and biological agents are being investigated to overcome these limitations (Liu & Fang, 2025).

### 2.1. Inflammatory Stage

The inflammatory phase begins immediately after an injury, involving the constriction of blood vessels through haemostasis and the aggregation of platelets to form a fibrin clot that stops the bleeding (Guo & Dipietro, 2010). This clot contains proteins that trigger the release of critical growth factors for tissue repair and serves as a scaffold for migrating cells, as well as providing a protective barrier against microorganisms (Broughton et al., 2006; Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015). At the same time as the clotting process, damaged tissues release pro-inflammatory cytokines (TNF-α, IL-1β and IL-6) that attract immune cells, such as neutrophils and monocytes, to the wound site. The first arriving neutrophils clear pathogens, while the following monocytes differentiate into macrophages, shifting from an inflammatory (M1) phenotype to a reparative (M2) phenotype. This lays the groundwork for tissue regeneration. However, if this immune response is uncontrolled and persists for an extended period, it can disrupt the wound-healing process and lead to increased tissue damage (Liu & Fang, 2025).

### 2.2. Proliferation Stage

The proliferation phase is a period of intense cellular activity during which the initial inflammatory response subsides and wound healing begins, restoring the integrity of the damaged tissue. This process consists of three key events: fibroplasia, angiogenesis and re-epithelialization (Li et al., 2007; Mendonça & Coutinho-Netto, 2009). During fibroplasia, fibroblasts migrate to the wound site and proliferate, synthesising new extracellular matrix (ECM) components such as collagen, fibronectin and glycosaminoglycans. This lays the groundwork for granulation tissue (Li et al., 2007; Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015). Angiogenesis, the formation of new blood vessels, is vital for delivering oxygen and nutrients to the regenerating tissue (Liu & Fang, 2025). Vascular endothelial cells proliferate in response to growth factors such as vascular endothelial growth factor (VEGF) and fibroblast growth factors (FGF), forming new blood vessels from existing ones (Liu & Fang, 2025). Finally, during the re-epithelialization phase, epidermal stem cells and keratinocytes in the basal layer proliferate in response to growth factors. They then migrate across the wound surface and form a protective new epithelial barrier, completing the process (Li et al., 2007; Mendonça & Coutinho-Netto, 2009).

### 2.3. Remodeling Stage

During the remodelling phase, the final stage of wound healing, the ECM is reorganised. This fundamental microenvironment for cells gives way to scar tissue as the temporary granulation tissue is replaced (Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015). At the heart of this process is the simultaneous synthesis and degradation of collagen, which is the primary component of the ECM (Li et al., 2007). Throughout this process, various cells produce matrix metalloproteinases (MMPs) and proteolytic enzymes that break down excess matrix components (Adler & Kent, 2002; Behm et al., 2012). Meanwhile, transient type III collagen is replaced by more durable, cross-linked type I collagen (Li et al., 2007; Behm et al., 2012). This dynamic remodelling process is meticulously coordinated by cytokines, chemokines and growth factors to enhance collagen stability, thereby strengthening the wound's tensile strength and facilitating the maturation of the damaged tissue (Kaltalioglu & Coskun-Cevher, 2015).

## 3. 3D BIOPRINTING TECHNOLOGY

3D bioprinting is a revolutionary development in regenerative medicine and tissue engineering. This innovative manufacturing technology enables the creation of complex, functional tissue structures by precisely depositing layers (layer-by-layer) of living cells, biomaterials, and bioactive compounds based on a digital model (Manoharan et al., 2026; Sharma et al., 2026). In regenerative medicine, 3D printing offers precise control over the dimensions and structure of biomimetic tissue structures (Sharma et al., 2026). Compared to traditional scaffold

production methods, 3D bioprinting technology is unique in that it enables the direct printing of bioactive compounds, hydrogels and cells in a layered structure (Sharma et al., 2026).

The 3D bioprinting process consists of four main sequential stages (Figure 2). First, a patient-specific computer-aided design (CAD) model is created by digitally scanning the anatomical features of the target tissue or wound (Sharma et al., 2026). Next, customized "bioinks" (combinations of living cells, growth factors and biocompatible hydrogels) are prepared to physically construct this digital architecture that mimic the mechanical and biological properties of natural tissues (Raees et al., 2023; Sharma et al., 2026; In et al., 2026). Thirdly, these bioinks are used to construct cellular tissue scaffolds layer by layer via 3D bioprinters, ensuring full alignment with the digital model (Ali et al., 2024; Manoharan et al., 2026; Sharma et al., 2026). Finally, the produced biomimetic structure is integrated into the damaged area to facilitate cell proliferation, angiogenesis and completion of the tissue regeneration process (Manoharan et al., 2026; Sharma et al., 2026). Today, the integration of 3D printing and wound healing is one of the most dynamic areas of research in tissue engineering.

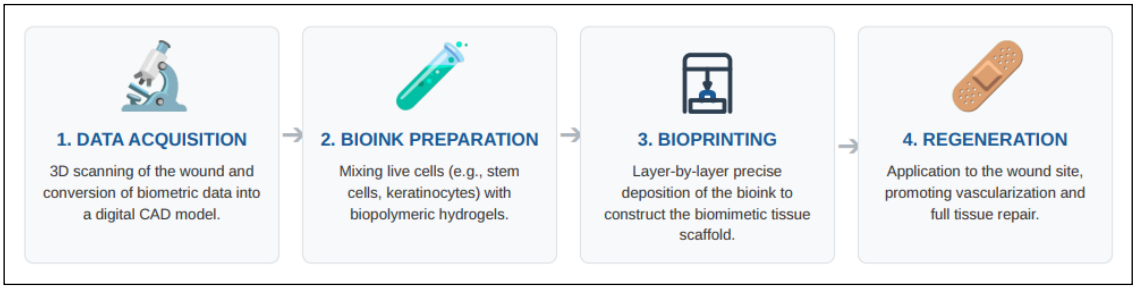



**Figure 2. 3D Bioprinting workflow in wound healing process**

## 4. RECENT STUDIES

In their study, Ćurić et al. (2026) developed a wound dressing formulation using extracts of *Plantago major* and *P. lanceolata* that successfully supported wound healing processes in vitro by enhancing the viability of fibroblasts and keratinocytes via 3D bioprinting technology. Similarly, another study aimed to design 3D cell scaffolds containing *Ficus carica* extract, sodium alginate and guar gum. It was reported that these materials exhibited high biocompatibility and antibacterial properties, thereby promoting cellular proliferation, a critical factor for wound healing (Ghouri et al., 2026). In a further study, Ma et al. (2026) sought to produce 3D bioprinted hydrogels sensitive to reactive oxygen species (ROS) and loaded with curcumin to mitigate excessive oxidative stress in diabetic wounds. This study demonstrated that these smart structures accelerate the healing process of challenging diabetic wounds by providing an antioxidant microenvironment. Another study focused on diabetic wound repair aimed to develop a 3D hydrogel system with ROS-scavenging and immunomodulatory properties. The applied material (polydopamine-gallium-arginine nanoparticles in a *Tremella fuciformis* polysaccharide, carboxymethyl chitosan and fish gelatin hydrogel) significantly

increased tissue regeneration rates by reducing inflammation in the wound area (Cao et al., 2026). A study examining the integration of natural products with 3D bioprinting, utilising alginate-gelatin hydrogels loaded with *Aloe barbadensis*, demonstrated that these structures significantly accelerated wound healing in both in vitro and in vivo settings, reducing scar formation (Mujawar et al., 2025). Similarly, another study combining traditional plant extracts with thermoplastic polymers found that poly(lactic acid) and *Ormocarpum cochinchinense* biocomposites produced via fused deposition modelling (FDM) 3D printing provided high mechanical strength, strong antimicrobial effects and effective wound closure (Arokiyasamy & Tamilperuvalathan, 2026). A different study focusing on immunomodulation and cellular communication reported that 3D bioprinted hydrogels containing exosomes secreted by M2-polarised macrophages strongly promote the repair of *in vivo* wound tissue and the remodelling of structures such as hair follicles by suppressing inflammation and stimulating angiogenesis (Dutta et al., 2024). Finally, a study was conducted to develop new gelatin- and alginate-based bioinks with optimised printability properties for 3D bioprinters. It was confirmed that the prepared formulations possess stable structural integrity and provide a highly suitable three-dimensional environment for cell viability and growth (Yalman et al., 2025).

## 5. DISCUSSION AND CONCLUSION

For chronic and non-healing wounds, where traditional treatment methods are ineffective, 3D bioprinting technology is a revolutionary innovation. While traditional methods rely on dressings that act as passive barriers to protect the wound from external factors, 3D printing uses layered structures that actively regulate the microenvironment of the wound by incorporating cells, growth factors and innovative bioinks. Studies have demonstrated that personalised 3D scaffolds enriched with plant extracts or stem cells can accelerate tissue repair, promote cellular proliferation and mitigate the detrimental effects of ROS, particularly in chronic wounds where the healing process is impaired, such as diabetic ulcers. In this context, 3D bioprinting emerges as an intelligent therapeutic tool that synchronises all dynamic stages of wound healing by creating a biomimetic replica of the ECM.

In conclusion, the studies we reviewed suggest that 3D bioprinting is not just a shaping process, but an engineering technology that builds living tissues from scratch by organising cells specifically to repair damaged areas. Integrating 3D bioprinting and smart biomaterials into wound healing is a significant technological advance that could usher in a new era of personalised tissue engineering treatment. Current *in vitro* and *in vivo* studies have demonstrated this technology' s immense potential to accelerate wound closure, promote new blood vessel formation and restore original tissue function. Future studies will likely focus on standardising the long-term biocompatibility and biodegradability profiles of bioinks *in vivo*, scaling up production processes to a clinical level and developing cost-effective production strategies.

## REFERENCES

Adler, S. C., & Kent, K. J. Enhancing wound healing with growth factors. Facial plastic surgery clinics of North America, 10(2), 129–146, 2002. https://doi.org/10.1016/s1064-7406(02)00005-6

Ali, F., Kalva, S.N. & Koc, M. Advancements in 3D printing techniques for biomedical applications: a comprehensive review of materials consideration, post processing, applications, and challenges. Discover Materials, 4, 53, 2024. https://doi.org/10.1007/s43939-024-00115-4

Arokiyasamy, D. A., & Tamilperuvalathan, S. Bio-functional evaluation of FDM 3D printed poly(lactic acid)/Ormocarpum cochinchinense bio-composites for mechanical performance, microbial inhibition and wound healing efficiency. International journal of biological macromolecules, 339, 149997, 2026. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.149997

Behm, B., Babilas, P., Landthaler, M., & Schreml, S. Cytokines, chemokines and growth factors in wound healing. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology: JEADV, 26(7), 812–820, 2012. https://doi.org/10.1111/j.1468-3083.2011.04415.x

Brito, S., Baek, M., & Bin, B.-H. Skin Structure, Physiology, and Pathology in Topical and Transdermal Drug Delivery. Pharmaceutics, 16(11), 1403, 2024. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16111403

Broughton, G., Janis, J. E., & Attinger, C. E. Wound healing: an overview. Plastic and reconstructive surgery, 117, 2006. https://doi.org/10.1097/01.prs.0000222562.60260.f9

Cao, X., Wang, Y., Xu, Y., Liang, N., Xu, J., Li, X., Ye, C., & Zhao, C. Three-dimensional-printed ROS-scavenging and immunomodulatory hydrogel accelerates diabetic wound healing through synergistic microenvironment regulation. Regenerative biomaterials, 13, rbag066, 2026. https://doi.org/10.1093/rb/rbag066

Ćurić, L. Č., Hostnik, G., Konda, K. L., Bren, U., Milojević, M., Vesenjak, M., Dubrovski, P. D., Novak, N., Maver, U., & Maver, T. P. lanceolata L. and P. major L. extracts in 3D-printed polysaccharide dressings for improved wound healing in vitro. International journal of biological macromolecules, 344, 150536, 2026. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.150536

Dindar, B., Kaltalıoğlu, K., & Cevher, Ş. C. Effect of dual growth factor administration on oxidative markers during acute stage wound healing in rats. Turkish Journal of Zoology, 41(5), 841-847, 2017.

Dutta, S. D., An, J. M., Hexiu, J., Randhawa, A., Ganguly, K., Patil, T. V., Thambi, T., Kim, J., Lee, Y. K., & Lim, K. T. 3D bioprinting of engineered exosomes secreted from M2-polarized macrophages through immunomodulatory biomaterial promotes *in vivo* wound healing and angiogenesis. Bioactive materials, 45, 345–362, 2024. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2024.11.026

Ghouri, A., Ur Rehman, M. A., Malik, R. A., & Alrobei, H. Ficus carica Extract Loaded 3D-Printed Sodium Alginate/Guar Gum Scaffolds for Potential Wound Healing Applications: An In Vitro Study. Chembiochem: a European journal of chemical biology, 27(8), e202500875, 2026. https://doi.org/10.1002/cbic.202500875

Guo, S., & Dipietro, L. A. Factors affecting wound healing. Journal of dental research, 89(3), 219–229, 2010. https://doi.org/10.1177/0022034509359125

Kaltalioglu, K. Sinapic acid-loaded gel accelerates diabetic wound healing process by promoting re-epithelialization and attenuating oxidative stress in rats. Biomedicine & Pharmacotherapy, 163, 114788, 2023.

Kaltalioglu, K., & Coskun-Cevher, S. A bioactive molecule in a complex wound healing process: platelet-derived growth factor. International journal of dermatology, 54(8), 972-977, 2015.

Li, J., Chen, J., & Kirsner, R. Pathophysiology of acute wound healing. Clinics in dermatology, 25(1), 9–18, 2007. https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2006.09.007

Liu, Z. & Fang, Y. Wound healing and signaling pathways. Open Life Sciences, 20(1), 20251166, 2025. https://doi.org/10.1515/biol-2025-1166

Ma, C., Qiu, H., Chen, Y., Mueed, A., & You, L. 3D-Bioprinting of ROS-Responsive Curcumin-Loaded Hydrogel Scaffolds via Low-Temperature Extrusion for Enhancing Diabetic Wound Healing. ACS applied bio materials, 9(3), 1733–1749, 2026. https://doi.org/10.1021/acsabm.5c02248

Manoharan, G.V., Vellaichamy, P., Pillai, N.D., & Sadagopan, J. Recent Progress in 3D Bioprinting of Biomaterials for Wound Healing Applications: A Comprehensive Review. Regenerative Engineering and Translational Medicine, 2026. https://doi.org/10.1007/s40883-026-00562-w

Mendonça, R. J., & Coutinho-Netto, J. Cellular aspects of wound healing. Anais brasileiros de dermatologia, 84(3), 257–262, 2009. https://doi.org/10.1590/s0365-05962009000300007

Monika, P., Chandraprabha, M. N., Rangarajan, A., Waiker, P. V., & Chidambara Murthy, K. N. Challenges in Healing Wound: Role of Complementary and Alternative Medicine. Frontiers in nutrition, 8, 791899, 2022. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791899

Mujawar, S. S., Arbade, G. K., Bisht, N., Mane, M., Tripathi, V., Sharma, R. K., & Kashte, S. B. 3D printed Aloe barbadensis loaded alginate-gelatin hydrogel for wound healing and scar reduction: In vitro and in vivo study. International journal of biological macromolecules, 296, 139745, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139745

Raees, S., Ullah, F., Javed, F., Akil, H. M., Jadoon Khan, M., Safdar, M., Din, I. U., Alotaibi, M. A., Alharthi, A. I., Bakht, M. A., Ahmad, A., & Nassar, A. A. Classification, processing, and applications of bioink and 3D bioprinting: A detailed review. International journal of biological macromolecules, 232, 123476, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123476

Richardson M. Understanding the structure and function of the skin. Nursing times, 99(31), 46–48, 2003.

Sharma, A., Puri, V., Huanbutta, K., & Sangnim, T. The Role of 3D Printing in Regenerative Medicine: A Game-Changer in Tissue Engineering. International Journal of Molecular Sciences, 27(6), 2589, 2026. https://doi.org/10.3390/ijms27062589

Yalman, V., Türkoğlu, N., & Şahin, Y. M. Development of gelatine and alginate based inks for 3D bioprinters and characterization. International journal of biological macromolecules, 295, 139666, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139666

Zhao, X., Zhang, W., Fan, J., Chen, X., & Wang, X. Application of mesenchymal stem cell exosomes in the treatment of skin wounds. Smart Materials in Medicine, 4, 578-589, 2023. https://doi.org/10.1016/j.smaim.2023.04.006

# THE EFFECTS OF TREE AGE ON CUPRAC AND FRAP ANTIOXIDANT CAPACITY OF HAZELNUT SKIN (*Corylus avellana* L.)

**Yeliz ÇETİNKAYA**[1]
Giresun University, Institute of Science, Department of Hazelnut and Hazelnut Products
yelizcetinkaya1988@hotmail.com - ORCID ID: 0009-0000-1166-728X

**Assoc. Prof. Dr. Kaan KALTALIOĞLU**
Giresun University, Vocational School of Espiye
Giresun University, Institute of Science, Department of Hazelnut and Hazelnut Products
kaan.kaltalioglu@giresun.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4995-2657

## ABSTRACT

Hazelnuts and their by-products, particularly the skins, are valuable sources of bioactive compounds with significant health-promoting potential. This study investigates the changes in the antioxidant capacity of Giresun "Tombul" hazelnut *(Corylus avellana* L.) skins relative to the age of the trees. Hazelnut samples were collected from hazelnut ocaks aged 5, 10, 20, 30, and 40 years in Giresun, Türkiye. The antioxidant activities were determined spectrophotometrically using the Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assays. The results indicated that tree age significantly influences antioxidant activity ($p<0.05$). The age 5 group exhibited the lowest capacity in both assays, whereas the age 10 group reached the highest activity levels in the FRAP assay. A strong positive correlation was observed between the two methods. These findings suggest that secondary metabolite production increases as trees approach maturity, specifically around 10 years of age, before stabilizing. In conclusion, orchard rejuvenation and tree age may be critical factors in maximizing the functional food potential and nutraceutical value of hazelnut skins.

**Keywords:** antioxidant, *Corylus avellana*, hazelnut skin, replanting, tree age

[1] This paper is based on the Master's thesis written by Yeliz ÇETİNKAYA at the Institute of Sciences at Giresun University.

## 1. INTRODUCTION

The hazelnut is a deciduous, shrub-like fruit belonging to the Betulaceae family (Akçin, 2019). The inner part of the hazelnut fruit is enclosed by a thin skin known as the testa, which is yellow, brown or reddish in color. The fruit interior develops into a round, pointed or almond-shaped form, corresponding to the morphology of the outer shell, and is attached to the shell by a straight or curved umbilical cord. Upon anatomical examination, it is observed that in all hazelnut varieties, the inner fruit consists of two edible cotyledons, with the embryo situated between these cotyledons, near the tip of the fruit (Köksal, 2018).

The hazelnut possesses a considerable diversity in Türkiye. There are 20 hazelnut varieties cultivated in our country and registered in the records of the Directorate of the Hazelnut Research Institute under the Ministry of Agriculture and Forestry of the Republic of Türkiye. One of the most important representatives of the Turkish hazelnut, the “Tombul” hazelnut (Oil Hazelnut, Giresun Oil Hazelnut) (Figure 1), is a variety that is not only widespread in Giresun province but is also extensively cultivated in the western districts of Trabzon (Beşikdüzü, Çarşıbaşı, Şalpazarı, Tonya and Vakfıkebir) (Directorate of the Hazelnut Research Institute, Ministry of Agriculture and Forestry of the Republic of Türkiye, 2025).

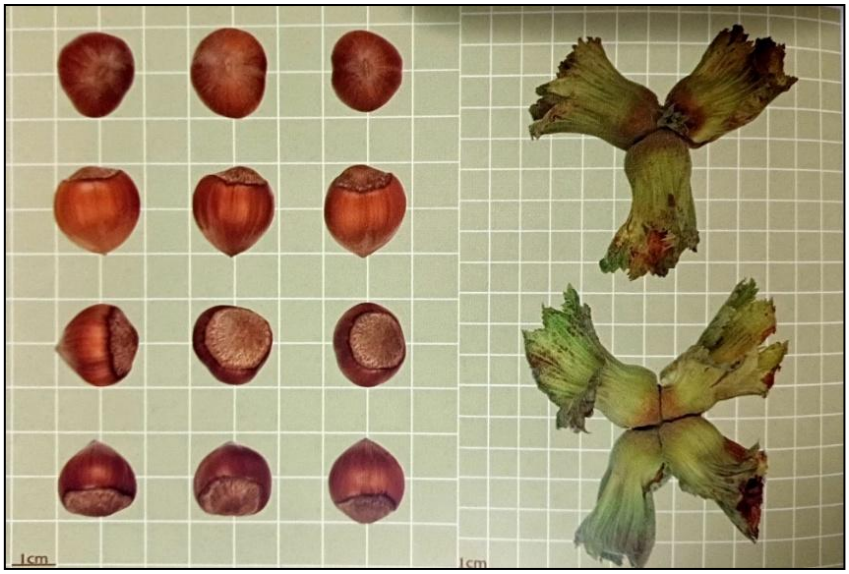



**Figure 1. “Tombul” hazelnut variety (Köksal, 2018)**

Hazelnuts are primarily distinguished by their oil content. They are also rich in protein, carbohydrates, dietary fibre, vitamins (particularly vitamin E) and polyphenols. The ratio of these components may vary depending on the environmental conditions in which the plant grows and its age (Rondanelli et al., 2023).

Various studies have reported that the hazelnut is a valuable product in terms of nutrition and health, and that it holds significant nutraceutical potential not only as a fruit but also through by-products such as the hazelnut skin (Alalwan et al., 2022; Gonçalves et al., 2023; Rondanelli et al., 2023).

This study was conducted to determine changes in the antioxidant capacity of the skin portion of Giresun "Tombul" hazelnuts (*Corylus avellana* L.) in relation to the age of the hazelnut trees. In this context, round hazelnuts collected from hazelnut orchards aged 5, 10, 20, 30 and 40 years were processed by separating the skin, and their antioxidant activities were determined and compared spectrophotometrically using the Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) methods.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Collection of Hazelnut Samples

Field sampling was conducted in the Espiye district of Giresun province. The study exclusively included orchards cultivated with "Tombul" hazelnut saplings (replanting). To standardize environmental variables, all selected sites shared identical ecological and geographical conditions. Hazelnut ocak ages, specifically 5, 10, 20, 30, and 40 years, were verified through direct consultation with local growers. Sampling occurred in August 2025, yielding 30 hazelnuts per ocak. Harvests were strictly segregated by their source ocak. Following manual de-husking, the samples underwent traditional drying and were subsequently stored.

### 2.2. Separation and Extraction of Hazelnut Skins

The shells of the collected samples were cracked, and the hazelnut skins were subsequently removed. A 3 g aliquot of each sample was extracted with methanol. Following solvent removal via rotary evaporation, the obtained extracts were kept at -20 °C prior to analysis.

### 2.3. Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) Assay

CUPRAC assay was performed based on the method developed by Apak et al. (2004). In the assay, 1 mL of 10 mM $CuCl_2$ solution, 1 mL of 7.5 mM ethanolic neocuproine solution, and 1 mL of 1 M $NH_4CH_3COO$ buffer (pH: 7) were added sequentially and mixed. Then, sample and distilled water were added and vortexed. After incubation for 30 minutes, absorbance was measured at 450 nm. Results were expressed as μmol Trolox equivalents (TE)/g.

### 2.4. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay

FRAP assay was performed according to the method of Benzie and Strain (1996). This method is based on the reduction of the $Fe^{3+}$-TPTZ complex to the blue-colored $Fe^{2+}$-TPTZ complex, which shows maximum absorbance at 593 nm. In the assay, 3 mL of FRAP reagent was mixed with extract or blank. After 4 minutes, absorbance was measured at 593 nm. Results were expressed as μmol $FeSO_4 \cdot 7H_2O$/mg.

### 2.5. Statistical Examination

A one-way ANOVA (post-hoc LSD) test was used to compare the results, which are shown as mean ± standard deviation (SD) (SPSS version 16, IBM, USA). Statistical significance was defined as a p-value of less than 0.05. The presence and strength of relationships between variables were determined using correlation analyses (Pearson or Spearman), selected based on data distribution.

## 3. RESULTS

Table 1 shows the CUPRAC and FRAP values for the hazelnut skin samples in each group. Significant differences exist between values denoted by different letters in each column ($p<0.05$).

**Table 1. The CUPRAC and FRAP values in hazelnut skin samples**

| Groups | CUPRAC (μmol TE/g) | FRAP (μmol $FeSO_4.7H_2O$/mg) |
|---|---|---|
| Age 5 | 4120.98 ± 119.13$^{b}$ | 1487.48 ± 63.76$^{d}$ |
| Age 10 | 6477.04 ± 205.20$^{a}$ | 2526.30 ± 70.72$^{a}$ |
| Age 20 | 6432.02 ± 104.12$^{a}$ | 2278.21 ± 92.01$^{b}$ |
| Age 30 | 6404.98 ± 106.75$^{a}$ | 2222.75 ± 36.03$^{b}$ |
| Age 40 | 6395.50 ± 111.11$^{a}$ | 2118.00 ± 35.78$^{c}$ |
| LSD (0.05) | 177.86 | 83.67 |

It was found that the copper reduction capacity measured using the CUPRAC method was significantly lower in the age 5 group (4120.98 ± 119.13 µmol TE/g) compared to all other age groups ($p<0.05$) (Figure 2). No statistically significant difference was found between the other age groups ($p>0.05$) (Figure 2).

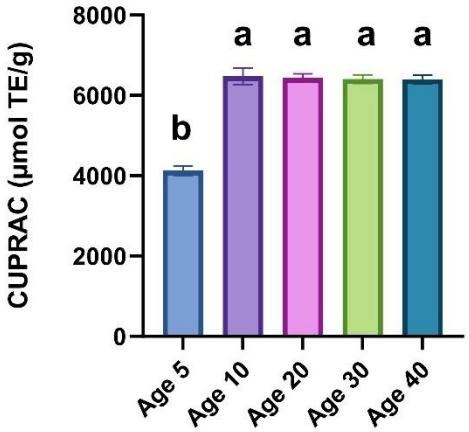



**Figure 2. Changes in CUPRAC capacity in hazelnut skin**

FRAP iron reduction assays isolated the highest activity in the age 10 group ($p<0.05$ vs. all other groups) (Figure 3). The age 5 group samples recorded the absolute lowest values. Activities for the age 20 and age 30 groups cohorts were statistically comparable ($p>0.05$) and represented an intermediate capacity (Figure 3). Readings from the age 40 group indicated a significant decline relative to this intermediate age 20 and age 30 samples, though they strictly exceeded the age 5 group baseline ($p<0.05$) (Figure 3).

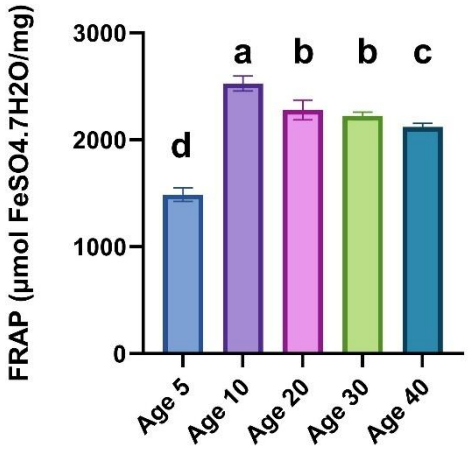


**Figure 3. Changes in FRAP capacity in hazelnut skin**

Furthermore, a strong positive correlation ($r=0.633$, $p<0.01$) was found between the reduction capacities of CUPRAC and FRAP.

## 4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Hazelnuts represent not only a strategically important agricultural product for the national economy but also a valuable source of bioactive constituents with notable health-promoting potential, owing to their rich composition of vitamins, minerals, fatty acids, and phenolic compounds (Bolling et al., 2010). The antioxidant capacity associated with these phytochemicals is considered one of the principal biological activities underlying the beneficial effects of hazelnut consumption on human health.

In our study, the age 10 group was found to exhibit the highest antioxidant activity in terms of FRAP values in hazelnut skin samples ($p<0.05$). Furthermore, the age 5 groups were found to have the lowest activity across all parameters compared to the other groups ($p<0.05$). Additionally, the correlation results revealed a strong and significant statistical relationship between the CUPRAC and FRAP methods.

The lower activity observed in hazelnut samples from 5-year-old trees may be attributed to the allocation of resources toward root and stem development at the expense of secondary metabolite production in young plants (Kooke and Keurentjes, 2012). This phenomenon, described by the growth–differentiation balance hypothesis (Herms and Mattson, 1992; Lerdau et al., 1994), may help explain the lower activity at 5 years and the higher activity at 10 years. Considering that the main yield period of hazelnut begins around the age of 10 (Kırca, 2010; İslam, 2018; Karadeniz and Kırca, 2019), it can be suggested that as the tree approaches maturity, it increases secondary metabolite production, eventually reaching a balance in older age groups. However, these changes cannot be explained solely by this hypothesis and may also be influenced by environmental factors and species-specific physiological and genetic traits.

In conclusion, it can be said that regeneration and replanting efforts in hazelnut orchards are significant in terms of the functional food potential of hazelnuts. In future studies, this importance could be investigated in greater detail through various health parameters, thereby contributing to the literature.

## REFERENCES

Akçin, Y. 'Karafındık' çeşidinin (Corylus avellana L.) bazı yaprak özellikleri. Akademik Ziraat Dergisi, 8(Özel Sayı), 141–144, 2019.

Alalwan, T. A., Mohammed, D., Hasan, M., Sergi, D., Ferraris, C., Gasparri, C., Rondanelli, M., & Perna, S. Almond, Hazelnut, and Pistachio Skin: An Opportunity for Nutraceuticals. Nutraceuticals, 2(4), 300–310, 2022.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. Journal of Agricultural and Food Chemistry, *52*(26), 7970–7981, 2004.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239(1), 70–76, 1996.

Bolling, B. W., McKay, D. L., & Blumberg, J. B. The phytochemical composition and antioxidant actions of tree nuts. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 19(1), 117–123, 2010.

Gonçalves, B., Pinto, T., Aires, A., Morais, M. C., Bacelar, E., Anjos, R., Ferreira-Cardoso, J., Oliveira, I., Vilela, A., & Cosme, F. Composition of Nuts and Their Potential Health Benefits—An Overview. Foods, 12(5), 942, 2023.

Herms, D. A., & Mattson, W. J. The dilemma of plants: to grow or defend. The Quarterly Review of Biology, 67(3), 283–335, 1992.

İslam, A. Hazelnut culture in Turkey. Akademik Ziraat Dergisi, 7(2), 259–266, 2018.

Karadeniz, T., & Kırca, L. Relationships between ages of planting with the important fruit characteristics in hazelnut. Global Advanced Research Journal of Agricultural Science, 8(4),175–178, 2019.

Kırca, L. *Fındıkta (Corylus avellana L.) Ocak dikim yaşı ile verim ve kalite arasındaki ilişkiler*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 2010.

Köksal, A. İ. *Türk fındık çeşitleri*. Karadeniz Fındık ve Mamülleri İhracatçıları Birliği Yayınları İstanbul Fındık ve Mamülleri İhracatçıları Birliği Yayınları, 2018.

Kooke, R., & Keurentjes, J. J. B. Multi-dimensional regulation of metabolic networks shaping plant development and performance. Journal of Experimental Botany, 63(9), 3353–3365, 2012.

Lerdau, M., Litvak, M., & Monson, R. Plant chemical defense: monoterpenes and the growth-differentiation balance hypothesis. Trends in Ecology & Evolution, 9(2), 58–61, 1994.

Rondanelli, M., Nichetti, M., Martin, V., Barrile, G. C., Riva, A., Petrangolini, G., Gasparri, C., Perna, S., & Giacosa, A. Phytoextracts for Human Health from Raw and Roasted Hazelnuts and from Hazelnut Skin and Oil: A Narrative Review. Nutrients, 15(11), 2421, 2023.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Fındık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. (2025). Tombul.https://arastirma.tarimorman.gov.tr/findik/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=17 (Date accessed: 31 Jan 2026).

# NEW TRENDS IN GLOBAL SERICULTURE AND DEVELOPMENTS IN AZERBAIJAN

**Res.Asst. Gülnar Damir BAGHIROVA[1], Prof.Dr. Sait ENGINDENIZ[2]**

[1] Azerbaijan State Agricultural University, Faculty of Zooengineering, Department of General and Special Zootechnics, gulnar.baghirova@adau.edu.az, ORCID ID: 0000-0003-3400-4483

[2] Ege University Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, sait.engindeniz@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7371-3330

## Abstract

The global sericulture sector has undergone significant transformations in recent years. Increased demand, technological innovations, and sustainable production approaches are the key drivers of this change. The global sericulture market is projected to reach approximately USD 24.09 billion in 2025 and is expected to show stable growth until 2033. The increasing use of silk not only in textiles but also in cosmetics, medical, and biomaterial sectors is a significant trend driving diversification within the industry. Furthermore, climate change has become a decisive factor in sericulture; rising temperatures and irregular rainfall negatively impact mulberry production and silkworm breeding, making the development of resistant varieties essential. In Azerbaijan, sericulture is being revived as a traditional agricultural activity. Government programs and policies aim to develop the sector, increase exports, and support rural employment. The government program covering the period 2018-2025, in particular, plays a crucial role in modernizing infrastructure and increasing production capacity. The distribution of silkworm seeds in the country, international collaborations, and the regular organization of production seasons indicate a revival in the sector. The aim of this study is to examine the new development trends of global sericulture and to evaluate the current structure and future development potential of sericulture in Azerbaijan. The main material of the study consists of the data obtained from FAOSTAT, The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, Agricultural Statistics, The Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan and the results obtained from previous studies on the subject. The statistical data collected for the period 2015-2024 have been organized into tables and figures, and interpreted using percentage and index calculations.

**Keywords:** sericulture, silkworm, silk coocon, raw silk, mulberry silk.

## 1.INTRODUCTION

Silkworm farming or sericulture, is the breeding of silkworms (*Bombyx mori*) to produce raw silk, serving as a lucrative, low-investment agricultural business. It involves planting mulberry trees, rearing silkworms, harvesting cocoons, and extracting silk, with key stages including incubation, intensive feeding, and cocooning (Thrilekha et al., 2024). Silkworms, belonging to the Bombycidae family (*Bombyx mori)*, are larvae of mulberry leaves and produce silk, an important and expensive raw material for the textile industry that has been used worldwide since 2600 BC. The genus *Bombyx mori* is considered the most special genus among other silkworm species, producing the best silk. Today, silkworms are grouped into four main categories based on their geographical distribution: Japanese, Chinese, European, and Indian origins. Four different types of silk are commercially produced worldwide: Mulberry silk, Wild silk, Tussah silk, and Spun silk. Mulberry silk accounts for 73% of silk production. Mulberry silk is produced from cocoons spun by *Bombyx mori*. One ton of mulberry leaves feeds one box of cocoons, and approximately 25-30 kg of fresh cocoons are obtained from one box of silkworms (Kaya and Ateş, 2022).

Silk has historically been a luxury consumer good and one of the most valuable commodities in international trade. Silk production is considered not only an economic activity but also a cultural heritage. In this context, sericulture is a multifaceted activity encompassing both traditional knowledge and agricultural production techniques. Azerbaijan offers a favorable environment for silk production thanks to its climate, fertile soil, and location on historical trade routes. In the country, sericulture has become an important source of income, especially for the rural population, and has contributed to the preservation of agricultural diversity (FAO, 2017).

Azerbaijan has historically been a strategic crossroads between East and West. Its location on the Silk Road, in particular, made the region of great importance in terms of trade and cultural interaction. This trade route, stretching from China through Central Asia to Europe, played a decisive role in the spread of silk. While silk production in Azerbaijan was initially limited, it was gradually adopted and developed by the local population. Silk was not only a commercial commodity but also a valuable gift used in diplomatic relations (Aghabalayeva and Siming, 2021).

After national leader Heydar Aliyev returned to power for the second time was the silk industry restored. Following his directive and Decree No. 734 dated June 11, 2001, USD 235,294 were allocated to restore the operations of Shaki-Silk ASC, and the enterprise resumed activity. In 2011, after the export of silk was banned abroad, the silk-reeling production unit completely stopped operating, while the weaving units used imported silk. In 2016, based on the instructions of President Ilham Aliyev during the first-quarter review meeting of the Cabinet of Ministers, the Ministry of Agriculture imported high-quality silkworm eggs from China and Iran. By Presidential Decree dated November 6, 2017, the “Azerbaijan Industrial Corporation” JSC was established. According to Decree No. 1704 (November 4, 2017), the state property belonging to Shaki-Silk ASC was transferred to the balance of Azerbaijan Industrial Corporation (ASK). To manage this property efficiently, on April 16, 2018, Azeripek LLC was established as a subsidiary (Azeripek, 2026).

The government of Azerbaijan seeks to revive this ancient industry, which may become one of the most important segments of the non-oil economy. Recently President Ilham Aliyev signed a decree approving the "State Program for Development of Silkworm Breeding and Sericulture in Azerbaijan in 2018-2025". According to the decree, the state program is approved to develop silkworm breeding and sericulture, increase export potential in this sphere, and ensure employment of rural population. The Ministry of Agriculture and Ministry of Economy will collaborate to take necessary measures stipulated in the state program (Abbasov, 2026; Salmanova, 2026).

Many studies have been conducted on the technical and economic aspects of sericulture in different countries around the world (Purushotam and Rao, 2009; Rao et al., 2001; Siddiq et al, 2015; Dewangan, 2018; Samami et al., 2019; Sharma et al., 2019; Hosamani et al., 2020; Güler, 2021; Kamble, 2021; Lata et al., 2022; Habeanu et al., 2023; Nasirillaev et al., 2023; Elshazly et al., 2025; Ubaydullaev, 2025; Wu et al., 2025).

In Azerbaijan, some studies has been conducted on the technical and economic aspects of sericulture. (Mammadova, 2017; Baghiravo, 2019; Alizade, 2021; Shukurlu et al., 2021; Aghabalayeva and Siming, 2021; Bakirov et al., 2022; Baghirova, 2023; Mammadov et al., 2025; Ismayilova et al., 2025). However, this studies need to be repeated over time, and solutions to the problems need to be developed.

## 2.PURPOSE AND METHODS

The aim of this study is to examine the new development trends of global sericulture and to evaluate the current structure and future development potential of sericulture in Azerbaijan.. The main material of the study consists of the data obtained from FAOSTAT, The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (SSCRA), Agricultural Statistics, The Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan (MARA) and the results obtained from previous studies on the subject. The statistical data collected for the period 2015-2024 have been organized into tables and figures, and interpreted using percentage and index calculations.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Global Silkworm Farming and Important Countries

Sericulture has been an important economic and cultural activity in many civilizations throughout history. This activity is primarily based on the breeding of silkworms, particularly the species *Bombyx mori*. Silk production begins with these silkworms feeding on mulberry leaves and spinning cocoons. The resulting cocoons are then processed and transformed into valuable silk threads. The origins of sericulture date back to China, approximately 5,000 years ago. The Chinese kept their silk production techniques secret for many years, thus gaining a significant advantage in world trade. Silk was transported to Central Asia, the Middle East, and Europe via the Silk Road, increasing intercultural interaction.

Today, sericulture is most prevalent in countries such as China, India, Uzbekistan, and Viet Nam (Figure 1). These countries have suitable environments for sericulture due to both their climatic conditions and extensive mulberry tree production. Sericulture consists of several stages. First, the eggs hatch under suitable temperature and humidity conditions. Then, the larvae that emerge feed on mulberry leaves and grow rapidly. Mature larvae begin spinning cocoons. After these cocoons are collected, they are processed with hot water to obtain silk fibers. The resulting silk is used in the textile industry to produce high-quality fabrics.



**Figure 1.** Sericulture by Country in the World

Source: FAOSTAT, 2026

The vast majority of world silk and cocoon production is concentrated in Asia. In particular, over 90% of mulberry silk production takes place in Asia. The main reasons for this are: the climate being

suitable for mulberry tree cultivation, the availability of cheap labor, and historical heritage (such as the Silk Road culture). According to FAO data, in 2024, China, India, Uzbekistan, and Vietnam accounted for 97.61% of global silkworm cocoon production. In the same year, these countries also accounted for 98.31% of raw silk production (Table 1).

**Table 1.** Silkworm cocoon and raw silk production by country (2024)

| Countries | Silk-worm cocoons (suitable for reeling) (tons) | % | Raw silk (not thrown) (tons) | % |
|---|---|---|---|---|
| China | 147,000 | 31.68 | 50,000 | 53.20 |
| India | 260,000 | 56.03 | 38,913 | 41.40 |
| Uzbekistan | 30,066 | 6.48 | 2,037 | 2.17 |
| Viet Nam | 15,884 | 3.42 | 1,448 | 1.54 |
| Democratic People's Republic of Korea | 2,581 | 0.56 | 370 | 0.40 |
| Thailand | 2,000 | 0.43 | 291 | 0.31 |
| Iran | 1,800 | 0.39 | 276 | 0.29 |
| Brazil | 1,581 | 0.34 | 330 | 0.35 |
| Tajikistan | 1,414 | 0.31 | 172 | 0.18 |
| Afghanistan | 500 | 0.11 | 49 | 0.05 |
| Kyrgyzstan | 343 | 0.07 | 48 | 0.05 |
| Azerbaijan | 334 | 0.07 | - | - |
| Türkiye | 85 | 0.02 | 5 | 0.01 |
| Japan | 38 | 0.01 | 10 | 0.01 |
| Other countries | 382 | 0.08 | 39 | 0.04 |
| World total | 464,010 | 100.00 | 93,988 | 100.00 |

**Source:** FAOSTAT, 2026

The distribution of silkworms in their natural habitats around the world is presented in Figure 2. In there; (a) Areas marked in colors correspond to habitats of silk moths: green-A. pernyi (b) is indigenous to southern China but was introduced to sub-tropical and tropical Asia for wild silk production; purple-S. ricini (c) is indigenous to Korea and eastern China, though it naturally spread to parts of India and was introduced to Thailand in the 1970s for commercial silk production; yellow-A. yamamai (d) is endemic to east Asia but was also introduced unsuccessfully to southeastern Europe for cultivation (not included here); orange-A. mylitta (e) is endemic to the northeastern region of India; red-A. assamensis (f) is indigenous to the Assam region of India and naturally immigrated to southern China; blue-B. mori (g) was domesticated from its wild precursor B. mandarina (h) in southern China and is now widespread from Asia to Europe.

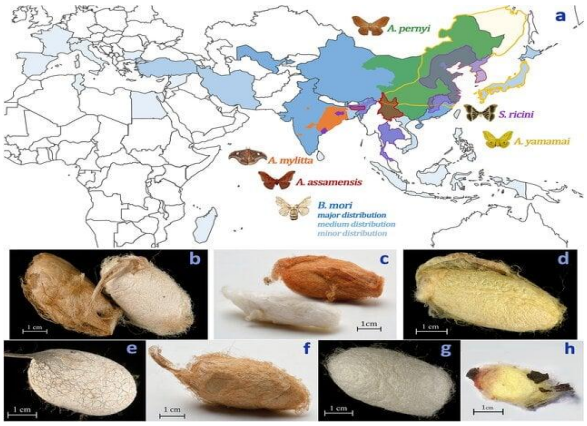



**Figure 2.** Distribution of silkworms by their indigenous habitats

Source: Lee et al., 2022

### 3.2 Global Silk Market

The global silkworm cocoon market size was valued at USD 15.6 billion in 2022. The global silk market size was estimated at USD 24.09 billion in 2025. The market is projected to grow from USD 26.30 billion in 2026 to USD 53.19 billion by 2034, exhibiting a CAGR of 9.20% during the forecast period (Anonymous, 2026a) (Figure 3). Asia, specifically China and India, dominates global silkworm cocoon production, representing over 90% of the worldwide total. The cocoon silk market represents a significant part of the global natural fiber industry, with an estimated 94,000 tons of raw silk produced globally in 2024. Approximately 73% of this silk originates from mulberry silkworm cocoons, harvested in over 60 countries. India and China dominate production, accounting for 89,000 tons combined. The market includes both filament silk and spun silk variants. Over 8.4 million sericulture farmers were actively involved globally in 2023, showing the sector's socioeconomic importance. The industry supports approximately 20 million people through direct and indirect employment (Anonymous, 2026b).

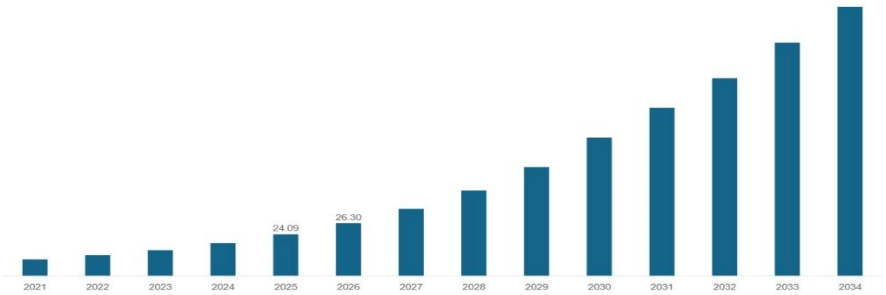



**Figure 3.** Global silk market (Billion USD)

Source: Anonymous, 2026a

Silkworm cocoon extract market size was valued at USD 15.72 Billion in 2023 and is projected to reach USD 27.83 Billion by 2030, growing at a CAGR of 7.49% from 2024 to 2030. Several factors influence the market for silkworm cocoon extract. This expansion is driven by increasing demand for natural, bioactive ingredients in cosmetics, pharmaceuticals, and functional foods, with Asia-Pacific dominating the market share (Anonymous, 2026c).

### 3.3 Global Silk Cocoon and Raw Silk Export

The global trade in silk cocoons and raw silk is largely dominated by China and India, reaching approximately USD 1.6 billion in imports and USD 1.8 billion in exports in 2023. India leads in raw silk imports, while China is the largest exporter. According to FAO data, while there were fluctuations in the quantity of silkworm cocoon and raw silk exports during the 2015-2024 period, increases were recorded in silk waste exports. Silkworm cocoon exports saw a significant increase in 2021, while raw silk exports increased significantly in 2022 (Table 2).

**Table 2.** Developments in the export of silkworm cocoons, raw silk and silk waste in the world

| Years | Silk-worm cocoons (tons) | Index (2015=100 | Raw silk (not thrown) (ton) | Index (2015=100 | Silk waste (tons) | Index (2015=100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 399 | 100.00 | 9,193 | 100.00 | 4,402 | 100.00 |
| 2016 | 512 | 128.32 | 9,981 | 108.57 | 5,542 | 125.90 |
| 2017 | 602 | 150.88 | 10,696 | 116.35 | 6,116 | 138.94 |
| 2018 | 397 | 99.50 | 7,834 | 85.22 | 6,072 | 137.94 |
| 2019 | 758 | 189.97 | 9,426 | 102.53 | 6,905 | 156.86 |
| 2020 | 353 | 88.47 | 6,197 | 67.41 | 7,340 | 166.74 |
| 2021 | 1,123 | 281.45 | 7,039 | 76.57 | 8,138 | 184.87 |
| 2022 | 762 | 190.98 | 11,144 | 121.22 | 7,717 | 175.31 |
| 2023 | 687 | 172.18 | 9,825 | 106.87 | 8,490 | 192.87 |
| 2024 | 341 | 85.46 | 5,940 | 64.61 | 7,510 | 170.60 |

**Source:** FAOSTAT, 2026.

In 2024, global silkworm cocoon exports amounted to USD 2.48 million, representing 341 tons. 85% of these exports (341 tons) were carried out by the USA, Tajikistan, Kazakhstan, Türkiye, and Azerbaijan. Global raw silk exports in 2024 totaled USD 356.69 million, representing 5,940 tons. 92% of these exports (5,940 tons) were carried out by China, Vietnam, Uzbekistan, the Democratic People's Republic of Korea, and Italy (Table 3).

**Table 3.** Silk-worm cocoon and raw silk export by country (2024)

| Countries | Silkworm cocoon | | Raw silk | |
|---|---|---|---|---|
| | Export quantity (tons) | Export value (1,000 USD) | Export quantity (tons) | Export value (1,000 USD) |
| USA | 95 | 258 | 2 | 35 |
| Tajikistan | 72 | 528 | - | - |
| Kazakhstan | 58 | 507 | - | - |
| Türkiye | 34 | 254 | 1 | 60 |
| Azerbaijan | 30 | 340 | 5 | 240 |
| Myanmar | 27 | 183 | - | - |
| China | 18 | 182 | 2,687 | 183,718 |
| Viet Nam | - | - | 1,464 | 81,753 |
| Uzbekistan | - | - | 483 | 24,840 |
| Democratic People's Republic of Korea | - | - | 443 | 3,672 |
| Italy | 1 | 3 | 404 | 32,961 |
| India | 1 | 4 | 112 | 3,804 |
| Other countries | 5 | 221 | 339 | 25,611 |
| World total | 341 | 2,480 | 5,940 | 356,694 |

**Source:** FAOSTAT, 2026.

In 2024, globally, imports included 549 tons of silkworm cocoons for USD 8.4 million, 7,107 tons of raw silk for USD 367.1 million, and 7,893 tons of silk waste for USD 122.8 million (FAOSTAT, 2026). Countries importing silk (raw silk and silk textiles) generally consist of economies with high textile production capacity but limited domestic silk production. According to current global trade data, the leading importing countries are China, Italy, France, India, the USA, Japan, and South Korea. Interestingly, China is both the world's largest producer and importer, particularly importing high-quality silk and intermediate products. Italy imports heavily for the production of luxury fashion (silk fabrics, ties, scarves) and is one of the silk processing centers in Europe. France demands a large amount of silk due to its fashion and textile sector (especially Paris-based brands). India, despite being a large producer, also imports due to very high domestic demand. The USA is a large consumer market and imports for ready-to-wear and home textiles. Japan demands high-quality silk for traditional silk use (kimonos, etc.). South Korea imports for its textile and fashion industries.

### 3.4 Sericulture in Azerbaijan

During the Middle Ages, Azerbaijan became one of the important centers for silk production and trade. The cities of Sheki, Shamakhi, and Ganja, in particular, stood out in terms of production. Workshops established in these cities produced silk yarn and processed it using various weaving techniques. Silk products were in high demand not only in local markets but also in the Middle East and Europe. This increased Azerbaijan's economic power and enabled the region to become a significant player in international trade. Furthermore, silk production during this period contributed to the development of craftsmanship traditions and the spread of handicrafts.

In the 19th century, Azerbaijani silk gained a significant place in the international market. Demand for silk increased, particularly with the development of the European textile industry. During this period, silk exported from Azerbaijan was preferred due to its high quality standards. This boosted the country's economic revenue. Silk production became industrialized during this time, and large-scale production facilities were established. Factories, particularly those in Shaki, formed the center of production. Mechanization increased production capacity and reduced costs (Aghabalayeva and Siming, 2021).

However, the Azerbaijani economy underwent a major transformation in the post-independence period. During this process, the decrease in state support negatively impacted the sericulture sector. The decline in production led to many producers withdrawing from the sector. Furthermore, infrastructure deficiencies and financing problems accelerated this decline.

In recent years, the Azerbaijani government has developed various projects to revive sericulture. These projects include incentives for farmers and support for production. The use of modern production techniques is enabling the sector to recover. Furthermore, raising quality standards is increasing export potential. Sericulture contributes to the diversification of economic activities in rural areas, thus supporting regional development. This activity promotes the division of labor within families and strengthens social solidarity (Abbasov, 2026).

Sericulture has become an important source of livelihood for families in Azerbaijan, especially those living in rural areas. The fact that the production process can be carried out in a home environment has facilitated the spread of this activity. Women play a significant role in sericulture, actively participating in stages such as collecting, processing, and spinning the cocoons. This has increased women's participation in economic life. Sericulture in Azerbaijan is generally practiced as a source of supplementary income in rural areas rather than a full-time primary occupation. Interest in

sericulture is increasing in Azerbaijan due to its revival. It is estimated that over 150,000 rural families in the country are engaged in sericulture (MARA, 2026).

As seen in Table 4, while silkworm cocoon production is decreasing worldwide, efforts are being made to increase production in Azerbaijan. In 2019, silkworm cocoon production reached 644 tons. In 2024, silkworm cocoon production was 334 tons, accounting for 0.07% of world production (Table 4).

**Table 4.** Silk-worm cocoon production in Azerbaijan and its place in the world

| Years | World | | Azerbaijan | |
|---|---|---|---|---|
| | Silk-worm cocoons (tons) (1) | Index (2015=100) | Silk-worm cocoons (tons) (2) | % (2/1)*100 |
| 2015 | 750,358 | 100.00 | 0.2 | 0.00 |
| 2016 | 717,758 | 95.66 | 71 | 0.01 |
| 2017 | 668,249 | 89.06 | 245 | 0.04 |
| 2018 | 606,105 | 80.78 | 514 | 0.08 |
| 2019 | 485,495 | 64.70 | 644 | 0.13 |
| 2020 | 445,535 | 59.38 | 447 | 0.10 |
| 2021 | 414,772 | 55.28 | 497 | 0.12 |
| 2022 | 443,999 | 59.17 | 341 | 0.08 |
| 2023 | 461,227 | 61.47 | 357 | 0.08 |
| 2024 | 464,010 | 61.84 | 334 | 0.07 |

**Source:** FAOSTAT, 2026; SSCRA, 2026

It is known that mulberry leaves are the basic food source for silkworm cocoon production. Therefore, the establishment of new mulberry orchards has become necessary. For this reason, new mulberry orchards are currently being established on a large scale throughout the country. These calculations have been made to enable an increase in silkworm cocoon production. In 2020, 5,000 boxes (146 kg) of silkworm eggs were produced for the first time at the Gakh Sericulture Station. In 2024, the silkworm egg incubation process was carried out for the first time not only at the Gakh Sericulture Station but also in new cocooning facilities established in the districts of Barda, Agsu, Fuzuli, and Zagatala (Kamal, 2025).

### 3.5 Silk Worm Cocoon and Raw Silk Marketing in Azerbaijan

In Azerbaijan, producers either sell the harvested cocoons directly to state-owned purchasing centers or market them to private companies. One of the most important buyers in this sector in Azerbaijan is state-supported silk processing plants. These plants purchase cocoons from producers at fixed prices and undertake the processing. Silk marketing takes place in two main stages: the sale of cocoons as raw material and the trade of processed silk products. Cocoon sales are generally conducted locally and through predetermined purchasing points. This system allows producers to easily sell their products while also creating price stability. However, this can limit free market competition.

Processed silk, on the other hand, is offered to wider markets. Silk produced in Azerbaijan finds buyers both domestically and internationally. Handcrafted silk products (shawls, scarves, and traditional textiles) hold a significant place in tourist markets. These products are marketed not only in local markets but also through fairs, exhibitions, and online sales platforms. In recent years, digital marketing has also gained importance in the silk sector. Through social media, e-commerce sites, and

export platforms, Azerbaijani silk reaches a wider audience. This allows manufacturers and small businesses to generate higher revenue by reducing the number of intermediaries.

To strengthen state support for the development of sericulture, increase employment in cocoon production, and further improve social welfare, the Presidential Decree of September 15, 2016, "On State Support for the Development of Sericulture in the Republic of Azerbaijan," encouraged the revival of sericulture and silkworm farming. From this year onwards, the amount of state support for the supply of wet silkworm cocoons and the purchase price of the product have been increased. Silkworms deliver wet silkworm cocoons to "Azeripek" LLC at a price of USD 2.94/kg. The state also provides farmers with support of USD 3.53/kg. In general, silkworms receive USD 6.47/kg of wet silkworm cocoons they deliver (SSCRA, 2026). In recent years, the company “Azeripək” has signed contracts with more than 5,500 silkworm producer in many regions. Table 5 presents the developments in silkworm cocoon prices received by producers in Azerbaijan. As can be seen, prices in Azerbaijan have been close to those in Iran in recent years, but remain considerably lower than those in Türkiye.

**Table 5.** Average silkworm cocoon prices received by producers in Azerbaijan, Türkiye and Iran (USD/ton)

| Years | Azerbaijan | Index (2015=100) | Iran | Index (2015=100) | Türkiye | Index (2015=100) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 8,784 | 100.00 | 6,843 | 100.00 | 13,142 | 100.00 |
| 2016 | 5,640 | 64.21 | 7,039 | 102.86 | 13,535 | 102.99 |
| 2017 | 5,229 | 59.53 | 7,045 | 102.95 | 11,614 | 88.37 |
| 2018 | 5,294 | 60.27 | - | - | 10,703 | 81.44 |
| 2019 | 5,294 | 60.27 | 9,356 | 136.72 | 10,334 | 78.63 |
| 2020 | 5,294 | 60.27 | 6,307 | 92.17 | 9,166 | 69.75 |
| 2021 | 5,294 | 60.27 | 7,221 | 105.52 | 9,108 | 69.30 |
| 2022 | 5,294 | 60.27 | 8,192 | 119.71 | 8,731 | 66.44 |
| 2023 | 6,470 | 73.66 | 6,029 | 88.10 | 10,879 | 82.78 |
| 2024 | 6,470 | 73.66 | - | - | 11,804 | 89.82 |

**Source:** FAOSTAT, 2026.

The main goal of developing the silkworm cocoon industry in the country is to introduce Azerbaijani silk to the world market. There is serious competition in this sector on the world market. Therefore, it is necessary to enter new markets with high quality and reasonable prices. According to information provided by "Azeripek" LLC, there is demand for Azerbaijani silk on the world market. Furthermore, it is reported that the cost of raw silk produced in Azerbaijan is comparable to the price on the world market.

"Azeripek" LLC's most produced product last year was raw silk. In 2024, the company produced 24.8 tons of raw silk worth 1.3 million USD. To increase raw silk production, the enterprise should install production equipment for opening raw silk from silkworm cocoons. It is planned to purchase and install new equipment to transform the currently produced goods into fully processed products. "Azeripek" LLC also stated that in the January-March period of 2025, "Azeripek" produced 7.3 tons of raw silk worth USD 290,124 (Kamal, 2025).

In 2024, Azerbaijan exported 30 tons of silkworm cocoons (suitable for unwinding) worth USD 339,500. Azerbaijan sold 19 tons of silkworm cocoons to China worth USD 205,800, and 11 tons to Uzbekistan worth USD 133,700. In 2024, silkworm cocoons export were made to Uzbekistan from Azerbaijan for the first time in 13 years, based on publicly available foreign trade statistics dating

back to 2011 (Aydinov, 2025). Developments in Azerbaijan's exports of silkworm cocoons, raw silk, and silk waste are presented in Table 6.

**Table 6.** Developments in Azerbaijan's silk-worm cocoons, raw silk, silk waste exports

| Years | Export quantity (ton) | | | Export value (1,000 USD) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Silk-worm cocoons | Raw silk (not thrown) | Silk waste | Silk-worm cocoons | Raw silk (not thrown) | Silk waste |
| 2017 | - | - | 29 | - | - | 78 |
| 2018 | - | 6 | 14 | - | 261 | 31 |
| 2019 | - | 19 | 23 | - | 724 | 65 |
| 2020 | 96 | 2 | 65 | 823 | 60 | 217 |
| 2021 | 138 | 44 | 57 | 1,299 | 1,634 | 1,092 |
| 2022 | 24 | 21 | 26 | 297 | 846 | 150 |
| 2023 | 14 | 11 | 48 | 169 | 490 | 967 |
| 2024 | 30 | 5 | 18 | 340 | 240 | 292 |

**Source:** FAOSTAT, 2026.

In Azerbaijan, factories in Sheki operate for silk processing. However, there are occasional problems with the supply of raw silk or cocoons. During periods when production facilities struggle due to raw material shortages, raw silk or sometimes cocoons/silk yarn may be imported. It has been determined that Azerbaijan imported 60 kg of raw silk worth USD 2,000 and 20 kg of silk waste worth USD 9 in 2018 (FAOSTAT, 2026).

## 4. CONCLUSION

Global sericulture is a traditional agricultural activity concentrated primarily in Asian countries, particularly China and India, but also of economic importance in other regions such as Uzbekistan and Viet Nam. This sector relies on the breeding of the silkworm *Bombyx mori* for silk production, contributing to rural development and providing a valuable raw material for the textile industry. Today, global sericulture continues to evolve with modern production techniques, genetic improvement efforts, and sustainable agricultural practices; and thanks to its labor-intensive nature, it continues to create employment in many countries.

Sericulture in Azerbaijan is a sector with deep historical roots and holds a significant place in the country's economic structure. Despite past setbacks, it has entered a period of renewed growth thanks to current policies. With the right strategies and sustainable practices, this sector is expected to strengthen further in the future. Adopting environmentally friendly production methods is crucial for the sustainability of the sector. It is possible for Azerbaijani silk to regain a strong position in the international market. To achieve this, quality and brand strategies must be developed. Digitalization, e-commerce, and modern marketing techniques can play a significant role in the sector's development.

However, the sector also faces some challenges. High production costs, declining interest from young people in this field, and international competition make marketing difficult. Nevertheless, state incentives, training programs, and the application of modern production techniques aim to overcome these problems. Recently, interest in cocoon cultivation has increased significantly in the country. This is because it provides a good income in a short time with little effort. Farmers in regions that previously did not engage in cocoon production have also begun to produce this product. It has been determined that there is great interest in this field, especially in Lankaran.

In conclusion, silkworm and silk marketing in Azerbaijan is a sector that continues to develop with modern methods while preserving the traditional structure. It contributes to the local economy and promotes the country's cultural heritage internationally.

## REFERENCES

Abbasov, B., (2026). National Plan for Sericulture Revival and Development in Azerbaijan, https://www.bacsa-silk.org/en/azerbaijan-national-sericulture-development-plan/, Access Date: 25 April 2026.

Aghabalayeva, F., Siming, W., (2021). Azerbaijan's Silk Industry Development in Historical Perspective, Revista Argentina de Clínica Psicológica, 30(2), 164-177.

Alizade, N., (2021). Sericulture Center of the Caucasus-Sheki, International University Museums Association Platform Journal of Cultural Heritage, 4(2), 96-99.

Anonymous, (2026a). Cocoon Silk Market Report, https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/cocoon-silk-market-113749, Access Date: 20 April 2026.

Anonymous, (2026b). Silk Market Size, https://www.fortunebusinessinsights.com/silk-market-111687, Access Date: 21 April 2026.

Anonymous, (2026c). Silkworm Cocoon Extract Market Size and Forecast, https://www.verifiedmarketresearch.com/product/silkworm-cocoon-extract-market/, Access Date: 21 April 2026.

Aydinov, E., (2025). Azerbaijan Begins Silkworm Cocoon Exports to Uzbekistan, https://report.az/en/business/azerbaijan-begins-silkworm-cocoon-exports-to-uzbekistan, Access Date: 20 April 2026.

Azeripek, 2026, Sericulture is being revived and developed with the support of the state, https://azeripek.com/en/news/67-sericulture-is-being-revived-and-developed-with-the-support-of-the-state.html, Access Date: 27 April 2026.

Baghirova, G.D., (2019). Work on the new method stimulating the development of silkworm in Ganja-Gazakh region, Proceedings of 9th BACSA International Conference on Sericulture Preservation and Revival-Problems And Prospects (SERIVIVAL- 2019), April 7-12, 2019, Batumi-Georgia, pp.129-134.

Baghirova, G.D., (2023). Study of the Effect of "Violet K" Antiseptic on Local and Introduced Species of Mulberry Silkworm in Azerbaijan, Journal of Pharmaceutical Negative Results, 14(3), 4074-4079.

Bakirov, Q.M., Shukurova, Z.Y., Mustafayev, A.G., (2022). The Importance and Role of Sericulture Development and Silkworm Breeding in the Economy of Azerbaijan, Journal of Life Sciences and Biomedicine, 4(1):28-32.

Dewangan, S.K., (2018). Economics of Sericulture: A Study of Raigarh District-Chhattisgarh, India, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, 6(1), 573-579.

Elshazly, A. E. E., Abouelenein, M. F., Roshdy, N., Helal, A. F., Khelfaoui, I., EL-Mezain, S. S., Elsaffany, A. H. (2025). Economic Prospects for Silk Production of (Bombxy mori) Through Agricultural Cooperatives, Journal of Cultural Analysis and Social Change, 10(4), 3819-3833.

FAO, (2017). Silk Tradition Prospers in Azerbaijan, https://faoreu.exposure.co/silk-tradition-prospers-in-azerbaijan, Access Date: 20 April 2026.

FAOSTAT, (2026). Agricultural Statistics, http://faostat.fao.org, Access Date: 28 April 2026.

Güler, D., (2021). Investigation of the Sericulture in Türkiye by Multidimensional Scaling and Cluster Analyses, KSU Journal of Agriculture and Nature, 24 (1): 212-220.

Habeanu, M., Gheorghe, A., Mihalcea, T., (2023). Silkworm Bombyx Mori-Sustainability and Economic Opportunity, Particularly for Romania, Agriculture, 13(6), 1209, https://doi.org/10.3390/agriculture13061209.

Hosamani, V., Yalagi, M., Sasvihalli, P., Hosamani, V., Nair, K.S., Harlapur, V.K., Hegde, C.R., Mishra, R.K., (2020). Constraints and Economics of Sericulture: A Review, International Journal of Chemical Studies, 8(1), 746-750.

Ismayilova, A.C., Azizov, F.S., Shukurlu, Y.H., Bakirov, Q. M., (2025). Clustering and Employment Opportunities in the Development of Sericulture and Cocoon Production in the Northwestern Region of Azerbaijan, Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences, 30 (2), 451-471.

Kamal, R., (2025). High Profit in a Short Time, https://www.azerbaijan-news.az/az/posts/detail/qisa-zamanda-yuksek-qazanc-1657141818, Access Date: 22 April 2026.

Kamble, S.H., (2021). Economics of Sericultural Business in Osmanabad District of Maharashtra, India, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 10(8),793-800.

Kaya, A., Ateş, M., (2022). The Development of Silkworm Farming in Türkiye, Proceedings of 3rd International Anatolian Congress on Scientific Research, December 27-29, 2022, Kayseri-Türkiye, pp. 644-650.

Lata, K., Kachroo, J., Bhat, A., Baba, S.H., (2022). An economic Analysis of Sericulture Farming in Rain Fed Areas of Jammu Region: A Comparative Study, The Pharma Innovation Journal, 11(11), 2169-2176.

Lee, B., Pires, E., Pollard, M., McCullagh, J.S.O., (2022). Species identification of silks by protein mass spectrometry reveals evidence of wild silk use in antiquity, Scientific Reports, 12(1):4579, https://doi.org/10.1038/s41598-022-08167-3.

Mammadova, T., (2017). Improvement of Ecologically Tolerant Mulberry Silkworm Breedings Growing in the Ganja-Kazakh Region, Doctorate Thesis, Breeding, selection, genetics and reproduction of farm animals, Azerbaijan State Agricultural Unıversity, Ganja-Azerbaijan.

Mammadov, A., Aghayeva, S., Bakirov, G., Gulubeyova, M., Ismayilova, G., (2025). Genetic Diversity Analysis of Mulberry Silkworm (*Bombyx Mori L.*) Hybrids and Breeds in Azerbaijan Using RAPD Markers, BIO Web of Conferences (International Conference on Mountains: Biodiversity, Landscapes and Cultures- MBLC/2024), 151, 1-7.

Nasirillaev, B., Rajabov, N., Abdukadirov, M., Fozilova, K., (2023). History and Development Prospects of Silk Farming in Uzbekistan, E3S Web of Conferences, 376, 1-10.

Purushotam, S., Rao, P.R.M., (2009). Economics of Sericulture in Ananthapur district of Andhra Pradesh, Agriculture Science Digest. 29(2), 42-44.

Rao, M.V., Kumaresan, P., Prakash, N.B.V., 2001. Comparative Economics of Cocoon Production in Coastal Area and Traditional Area of Andhra Pradesh, Indian Journal of Sericulture. 40(2), 147-150.

Salmanova, A., (2026). State Program for Development of Sericulture Approved, https://today.az/print/news/business/167245.html, Access Date: 23 April 2026.

Samami, R., Seidavi, A., Eila, N., Moarefi, M., Ziaja, D.J., Lis, J.A., Rubiu, N.G., Cappai, M.G., (2019). Production Performance and Economic Traits of Silkworms (*Bombyx mori L., 1758*) Fed with Mulberry Tree Leaves (*Morus alba, var. Ichinose*) Significantly Differ According to Hybrid Lines, Livestock Science, 226, 133-137.

Sharma, V., Rattan, M., Chauan, S.K., (2019). Economic Analysis of Silkworm Rearing and Cocoon Production in Bilaspur District of Himachal Pradesh, Economic Affairs, 64(3), 589-597.

Shukurlu, Y.H., Aliyev, K.A., Shukurova, Z.Y., (2021). The Possibility and Prospect of Breeding Wild Silkworm of the Giant Peacock Moth (*Saturnia pyri, Denis and Schiffermüller, 1775*), As A New Branch of Sericulture in Azerbaijan, Journal of Life Sciences and Biomedicine, 3(1), 24-31.

Siddiq, B.B., Mannaf, M., Ahmed, J.U., Alamgir, M.S., (2015). Economics of Silk Production As An Alternative Source of Income in the Rural Areas of Bogra District, Journal of the Sylhet Agricultural University, 2(2), 289-300.

The Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan (MARA), (2026), Sericulture in

Azerbaijan, https://www.agro.gov.az/en, Access Date: 25 Nisan 2026.

The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (SSCRA), Agricultural Statistics, https://www.stat.gov.az/?lang=en, Access Date: 23 Nisan 2023.

Thrilekha, D., Mala, H., Reddy, N.C., Kumar, T.S., Manideep, S., Sathish, K., (2024). Sericulture in the 21 st century: Global trends and future prospects, International Journal of Advanced Biochemistry Research, 8(8): 1057-1061.

Ubaydullaev, R.D.A., (2025). Economic Characreristics of Sericulture, International Journal of Artificial Intelligence, 5(10), 506-509.

Wu, Z., Xu, W., Wu, X., Ding, X., (2025), Life Cycle Environmental and Economic Assessment of Raw Silk Production in China, Sustainable Production and Consumption, 55, 11-23.

# Elazığ'da Kiraz Sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) Popülasyonunun Dikey Dağılımı ve Tuzak Yüksekliğinin Etkisi

# Vertical Distribution of Cherry Fruit Fly (*Rhagoletis cerasi* L.) Population and the Effect of Trap Height in Elazığ

**Gül SAVRAN**
Fırat Üniversitesi
gullsvrn@gmail.com - 0009-0006-8941-5756
**Doç. Dr. AYKUT TOPDEMİR**
Fırat Üniversitesi
atopdemir@firat.edu.tr- 0000-0002-9112-4767
**Prof. Dr. İnanç ÖZGEN**
Fırat Üniversitesi
inancozgen@gmail.com- 0000-0003-1742-9324

## ÖZET

Bu çalışma, kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) ergin popülasyonlarının farklı yüksekliklere asılan Rebell Amarillo tuzaklarındaki değişimini belirlemek amacıyla 2024 yılında Elazığ ili Harput ve Baskil lokasyonlarında yürütülmüştür. Çalışmada 1,5 m, 2 m ve 3 m yüksekliklere yerleştirilen sarı yapışkan Rebell Amarillo tuzakları kullanılmış ve her yükseklikte 5 adet tuzak değerlendirilmiştir. Tuzaklar Nisan–Haziran döneminde düzenli olarak kontrol edilerek yakalanan ergin birey sayıları kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kiraz sineği ergin çıkışları her iki lokasyonda Mayıs ayı başında başlamış, popülasyon yoğunluğu Mayıs ortası ile Haziran başı arasında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Harput lokasyonunda popülasyon daha erken yükselmiş ve 17.05.2024 tarihinde en yüksek yoğunluk belirlenmiştir. Baskil lokasyonunda ise popülasyon artışı daha kademeli gerçekleşmiş ve en yüksek yoğunluk 23–29 Mayıs döneminde saptanmıştır. Tuzak yükseklikleri karşılaştırıldığında her iki lokasyonda da en yüksek ergin yakalanma oranı genel olarak 2 metre seviyesinde belirlenmiştir. 1,5 metre yüksekliği orta düzey popülasyon yoğunluğu gösterirken, 3 metre seviyesinde yakalanan ergin sayılarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kiraz sineği erginlerinin özellikle ağacın orta taç bölgesinde yoğunlaştığı ve izleme çalışmalarında 2 metre yüksekliğinin daha uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca lokasyonlar arasındaki popülasyon farklılıklarının rakım, mikroklima ve fenolojik gelişim farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Rhagoletis cerasi*, Rebell Amarillo, popülasyon değişimi, tuzak yüksekliği, kiraz sineği, Elazığ.

## ABSTRACT

This study was conducted in 2024 in the Harput and Baskil locations of Elazığ province in order to determine the changes in adult populations of the cherry fruit fly, *Rhagoletis cerasi* L., captured by Rebell Amarillo traps placed at different heights. In the study, yellow sticky Rebell Amarillo traps were positioned at heights of 1.5 m, 2 m, and 3 m, and five traps were evaluated for each height. The traps were monitored regularly during the April–June period, and the number of captured adult individuals was recorded. According to the obtained results, adult emergence of the cherry fruit fly began in early May in both locations, while population density reached its highest level between mid-May and early June. In the Harput location, the population increased earlier, and the highest density was recorded on 17.05.2024. In the Baskil location, population growth occurred more gradually, and the highest density was determined during the 23–29 May period. When trap heights were compared, the highest adult capture rate in both locations was generally observed at the 2 m height. While the 1.5 m height showed moderate population density, the number of adults captured at the 3 m height was found to be lower. As a result, it was determined that adult cherry fruit flies were mainly concentrated in the middle canopy zone of the tree, and a trap height of 2 m may be more suitable for monitoring studies. In addition, it is thought that the population differences between the locations may be related to variations in altitude, microclimate, and phenological development.

**Keywords:** *Rhagoletis cerasi*, Rebell Amarillo, population dynamics, trap height, cherry fruit fly, Elazığ.

## GİRİŞ

Kiraz (*Prunus avium* L.), Türkiye'de ekonomik açıdan değerli meyve türlerinden biri olup hem iç tüketimde hem de ihracatta önemli bir paya sahiptir. Ancak kiraz üretiminde ciddi ekonomik kayıplara neden olan Avrupa kiraz sineği [*Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae)], üretimi sınırlandıran başlıca zararlılar arasında yer almaktadır. Zararlı, yumurtalarını meyve içerisine bırakarak larva gelişimini burada tamamlamakta; bu durum meyve kalitesini düşürmekte ve ihracatta önemli sorunlara yol açmaktadır [1].

Kiraz, yüksek besin değeri ve kendine özgü aromasıyla öne çıkan bir meyve türüdür. Bunun yanında üretim ve pazarlama aşamalarında yoğun iş gücü gerektirmesi nedeniyle geniş istihdam olanakları sağlamakta, ihracatta önemli düzeyde döviz girdisi oluşturarak ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır. Türkiye, dünya kiraz üretimi ve ihracatında önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır[2].

Tarımsal üretimde ekonomik kayıplara neden olan önemli zararlı gruplarından biri de meyve sinekleridir. Meyve sinekleri (Diptera: Tephritidae), çok çeşitli meyve ve sebze türlerini istila eden önemli tarımsal zararlılar arasında yer almaktadır. Bu böcekler, dişilerin yumurta bırakmak amacıyla meyve dokusunu delmesi, larvaların meyve içerisinde beslenmesi ve meyve dökümüne neden olması yoluyla ürünlerde doğrudan zarara yol açmaktadır. Polifag özellik göstermeleri nedeniyle farklı konukçu bitkilerde yaşayabilen meyve sinekleri, ürün kalitesini ve verimi önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca bazı meyve sineği türleri, oluşturdukları karantina riskleri nedeniyle taze meyve ihracatını sınırlandırarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır[3].

Birçok ülkede pestisit kullanımına yönelik kısıtlamaların artması ve kiraz sineği mücadelesinde kullanılan bazı insektisitlerin Avrupa'da yasaklanması, alternatif mücadele yöntemlerine olan ihtiyacı artırmıştır. Ayrıca larvalarla bulaşık meyvelerin tüketici tarafından kabul edilmemesi, organik ve çevre dostu üretim yöntemlerinin önemini daha da artırmaktadır. Bu kapsamda toprağa entomopatojen nematod uygulamaları, *Beauveria bassiana* içeren biyolojik preparatlar ve yoğun ağ sistemleri gibi çevre dostu mücadele yöntemleri önerilmektedir[4]. Özellikle zararlı popülasyonlarının izlenmesi, popülasyon hareketlerinin belirlenmesi ve çevresel faktörlerle ilişkilerinin ortaya konulması, etkili mücadele stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli görülmektedir [5].

Bu çalışma, Elazığ ili Harput ve Baskil lokasyonlarında farklı yüksekliklere yerleştirilen Rebell Amarillo tuzakları yardımıyla *Rhagoletis cerasi* popülasyon değişimlerinin belirlenmesi ve tuzak yüksekliğinin ergin birey yakalanma oranı üzerindeki etkisinin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür.

## LİTERATÜR TARAMASI

*Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae), tatlı kiraz *(Prunus avium* L.) başlıca zararlılarından biri olup, kiraz yetiştiriciliği yapılan birçok ülkede yaygın olarak görülmektedir[6]. Avrupa kiraz sineği olarak bilinen bu tür, meyve içerisinde larva gelişimini tamamlayarak doğrudan ürün kayıplarına neden olmakta ve özellikle sofralık kiraz üretiminde ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır[7].

Meyve sinekleri (Diptera: Tephritidae), ürün kayıplarının yanı sıra ihracatta uygulanan karantina kısıtlamaları nedeniyle de ekonomik açıdan önem taşımaktadır. Bu nedenle zararlı popülasyonlarının izlenmesi ve etkili mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır[8].

*R. cerasi* univoltin bir tür olup yılda bir döl vermektedir. Zararlı, kışı toprakta pupa döneminde geçirmekte ve ilkbahar sonu–yaz başında ergin çıkışları gerçekleşmektedir. Ergin dişiler yumurtalarını olgunlaşmakta olan kiraz meyvelerinin kabuğu altına bırakmaktadır. Yumurtadan çıkan larvalar meyve eti içerisinde beslenerek gelişimini tamamlamakta, daha sonra toprağa geçerek pupa olmaktadır [9].

Ergin erkek bireyler yaklaşık 4 mm, dişiler ise 5 mm boyundadır. Tür; parlak siyah thorax yapısı, sarı scutellum ve karakteristik kanat desenleri ile tanınmaktadır[10].




**Şekil 2. 1.** Yetişkin Avrupa kiraz meyve sineği [11]

Kiraz hastalık ve zararlılarıyla mücadelede uzun yıllardır temas ve sistemik etkili pestisitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yoğun pestisit kullanımı, ürünlerde kalıntı

problemlerine ve çevresel risklerin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kiraz üretim alanlarında pestisit kalıntılarının izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca "çiftlikten sofraya" yaklaşımı kapsamında bitki koruma ürünlerinin kullanımının ve oluşturduğu risklerin azaltılması hedeflenmektedir[12].

Kiraz üretiminde önemli ekonomik kayıplara neden olan zararlılardan biri de *Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae)'dir. Zararlı larvaları meyve eti içerisinde beslenerek doğrudan ürün zararına yol açmaktadır. Zararlıyla mücadelede pestisitler yaygın olarak kullanılmasına rağmen, ergin çıkış zamanının doğru belirlenememesi ve uygun mücadele zamanının belirlenememesi nedeniyle tekrarlayan ilaç uygulamaları yapılabilmektedir. Bu durum hem ekonomik kayıplara hem de pestisit kalıntısı problemlerine neden olmaktadır [10].

Zararlılarla mücadelede çevre dostu yöntemlere olan ilginin artmasıyla birlikte biyoteknik mücadele uygulamaları yaygınlaşmıştır. Biyoteknik mücadele; zararlıların biyoloji, fizyoloji ve davranışları üzerinde etkili doğal veya yapay maddeler kullanılarak popülasyon yoğunluğunun azaltılmasını amaçlayan yöntemleri kapsamaktadır[13].

Sarı yapışkan tuzaklar, cezbediciler ile birlikte kullanıldığında ergin bireylerin izlenmesi ve kitle halinde yakalanması açısından etkili biyoteknik araçlar arasında yer almaktadır. *Rhagoletis cerasi* erginlerinin genellikle kiraz ağaçlarının yaprak ve meyve bölgelerinde bulunduğu bildirilmektedir[14].

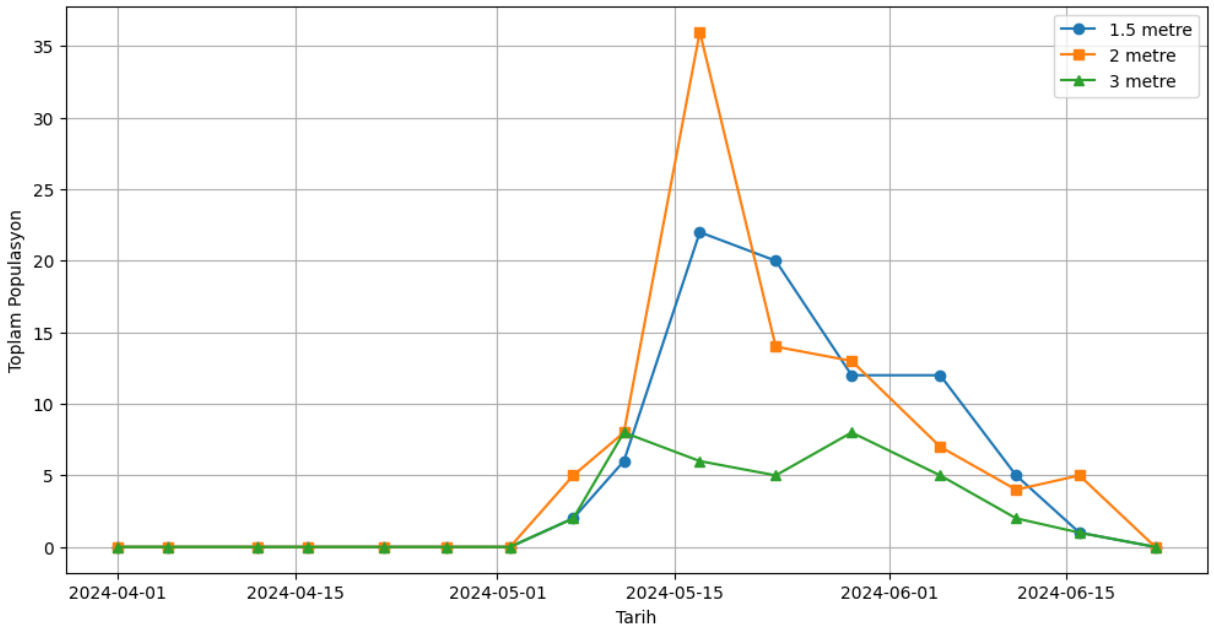
*Rhagoletis cerasi*'nin özellikle sarı renge karşı yüksek duyarlılık gösterdiği bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda sarı-yeşil bölgedeki dalga boylarına sahip tuzakların zararlı için daha çekici olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda geliştirilen Rebell® amarillo tuzaklarının, Avrupa'da kiraz sineğinin izlenmesi ve kitle halinde yakalanmasında yaygın olarak kullanıldığı bildirilmektedir [15].

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, 2024 yılı kiraz yetiştirme sezonunda Elazığ ili Harput ve Baskil lokasyonlarında yürütülmüştür. Çalışmanın ana materyalini kiraz bahçelerinde zararlı olan kiraz sineği, *Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae) ergin bireyleri ile bu bireylerin izlenmesinde kullanılan sarı yapışkan özellikli Rebell Amarillo tuzakları oluşturmuştur. Araştırma her iki lokasyonda benzer özellik gösteren kiraz bahçelerinde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan Rebell Amarillo tuzakları ağaç taç yapısı dikkate alınarak üç farklı yüksekliğe asılmıştır. Bu yükseklikler; 1,5 metre, 2 metre ve 3 metre olarak belirlenmiştir. Her yükseklik için 5 adet tuzak kullanılmış ve tuzaklar bahçe içerisinde tesadüf parselleri prensibine göre dağıtılmıştır. Tuzaklar 1 Nisan 2024 tarihinde bahçelere yerleştirilmiş ve 22 Haziran 2024 tarihine kadar düzenli olarak kontrol edilmiştir. Kontroller yaklaşık haftalık periyotlarla gerçekleştirilmiş olup, her kontrolde tuzaklara yakalanan kiraz sineği ergin birey sayıları kaydedilmiştir. Sayımlar sırasında her tuzak ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elde edilen veriler tarih bazında kayıt altına alınmıştır. Popülasyon değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla her kontrol tarihinde tuzaklarda yakalanan toplam ergin birey sayıları hesaplanmıştır. Farklı yüksekliklerdeki tuzakların etkinlikleri karşılaştırılarak kiraz sineği erginlerinin bahçe içerisindeki dikey dağılımı değerlendirilmiştir. Ayrıca Harput ve Baskil lokasyonları arasında popülasyon yoğunluğu ve popülasyon gelişim dönemleri bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen veriler Microsoft Excel programında düzenlenmiş, tarihsel popülasyon değişimleri grafikler hâline getirilmiş ve farklı yükseklikler ile lokasyonlar arasındaki popülasyon farklılıkları yorumlanmıştır.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

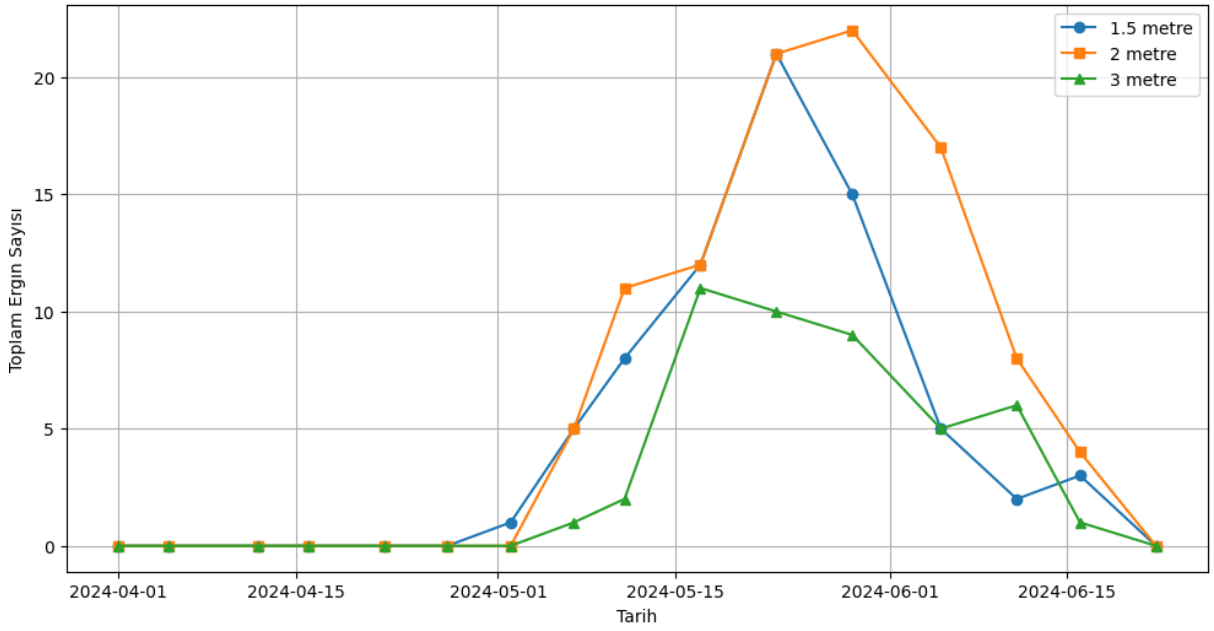
Harput lokasyonunda popülasyon değişimi genel olarak Mayıs ortasında yükselmiş, özellikle 17.05.2024 tarihinde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Tuzak yüksekliğine göre değerlendirildiğinde; 2 metre yüksekliğindeki tuzaklarda en yüksek popülasyon; 1,5 metre orta düzey yoğunluk göstermiştir; 3 metre yüksekliğinde ise popülasyon daha düşük kalmıştır. Genel eğilim olarak; Nisan boyunca popülasyon yok denecek düzeydedir. İlk ergin çıkışları 7 Mayıs'ta başlamıştır. Pik dönem ise 17–23 Mayıs arasıdır. Haziran ayında popülasyon giderek azalmıştır. Bu sonuçlar, kiraz sineği ergin aktivitesinin özellikle orta taç seviyesinde (2 m) yoğunlaştığını ve mücadele zamanlamasının Mayıs ortasına odaklanması gerektiğini göstermektedir (Şekil 1.)




**Şekil 1.** Harput lokasyonunda kiraz sineğinin farklı yüksekliklere asılan Rebell Amarillo tuzaklarına yakalanan popülasyon değişimi.

Bu durum, kiraz sineği erginlerinin özellikle ağacın orta taç bölgesinde daha aktif bulunduğunu ve kitlesel tuzaklama ile izleme çalışmalarında 2 metre yüksekliğinin optimum seviye olabileceğini göstermektedir (Şekil 1).

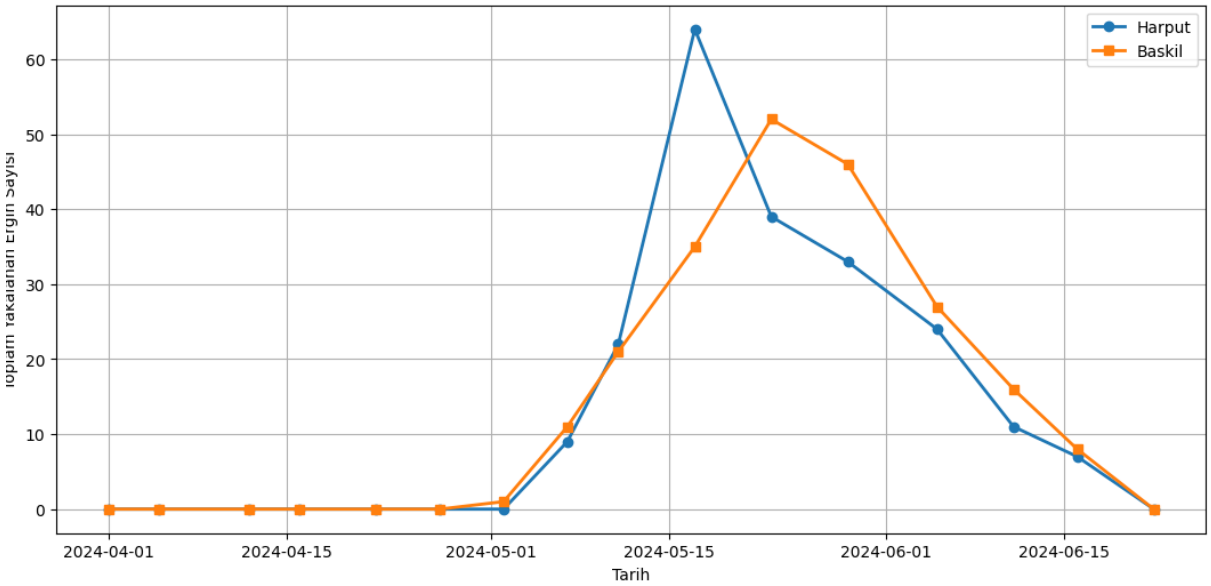
Baskil lokasyonunda elde edilen sonuçlara göre kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) popülasyonu Mayıs ayının ikinci haftasından itibaren artış göstermiş, en yoğun ergin aktivitesi ise Mayıs sonu–Haziran başı döneminde belirlenmiştir. Tuzak yükseklikleri karşılaştırıldığında en yüksek popülasyon yoğunluğu genel olarak 2 metre seviyesinde saptanmıştır. Özellikle 23–29 Mayıs tarihleri arasında 2 metre yüksekliğindeki tuzaklarda diğer seviyelere göre daha fazla ergin birey yakalanmıştır. 1,5 metre seviyesinde de önemli popülasyon yoğunluğu gözlenmiş ancak bu değerler çoğunlukla 2 metre seviyesinin altında kalmıştır. 3 metre yüksekliğinde ise popülasyon daha düşük seyretmiş ve dağılım düzensiz olmuştur. Bu durum, ergin bireylerin özellikle ağacın orta taç bölgesinde daha aktif bulunduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda Baskil koşullarında kiraz sineği izleme ve kitlesel yakalama uygulamalarında tuzakların yaklaşık 2 metre yüksekliğine asılmasının daha etkili olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca popülasyon pikinin Mayıs ortası ile Haziran başı arasında gerçekleşmesi nedeniyle mücadele programlarının bu dönem dikkate alınarak planlanması önerilmektedir.




**Şekil 2.** Baskil lokasyonunda kiraz sineğinin farklı yüksekliklere asılan Rebell Amarillo tuzaklarına yakalanan popülasyon değişimi.

Harput ve Baskil lokasyonları karşılaştırıldığında kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) popülasyon dinamiklerinde belirgin farklılıklar görülmüştür. Harput lokasyonunda popülasyon daha erken yükselmiş ve çok daha keskin bir pik oluşturmuştur. En yüksek yoğunluk 17.05.2024 tarihinde gerçekleşmiş ve yaklaşık 64 ergin birey yakalanmıştır. Bu durum Harput'ta ergin çıkışlarının daha yoğun ve kısa süreli gerçekleştiğini göstermektedir. Baskil lokasyonunda ise popülasyon artışı daha kademeli olmuş, pik yoğunluk daha geç dönemde ortaya çıkmıştır. En yüksek popülasyon 23.05.2024 tarihinde yaklaşık 52 ergin birey olarak belirlenmiştir. Ayrıca Baskil'de popülasyonun daha uzun süre devam ettiği dikkat çekmektedir.

Genel toplam değerlendirildiğinde Harput'ta daha yüksek ve ani popülasyon artışı gözlenirken, Baskil'de daha dengeli ve uzayan bir popülasyon eğrisi oluşmuştur. Bu farklılıkların; rakım, mikroklima, sıcaklık birikimi, bahçe yapısı ve fenolojik gelişim farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Mücadele açısından Harput'ta erken dönem yoğun takip ve hızlı müdahale gerekirken, Baskil'de daha uzun süreli izleme ve koruma programları önem taşımaktadır.




**Şekil 3.** Harput ve Baskil lokasyonlarının kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) popülasyon dinamikleri bakımından karşılaştırılması.

## SONUÇ

Elde edilen sonuçlara göre her iki lokasyonda da *Rhagoletis cerasi* popülasyon yoğunluğunun özellikle Mayıs ayı ortalarından itibaren arttığı ve Haziran ayı başlarında maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek ergin birey yakalanma oranının genel olarak 2 metre yüksekliğinde belirlenmesi, zararlının ağacın orta taç bölgesinde daha yoğun bulunduğunu göstermektedir. Harput ve Baskil lokasyonları arasında popülasyon yoğunluğu bakımından farklılıkların belirlenmesi ise mikroklimatik koşulların zararlı gelişimi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma sonucunda *Rhagoletis cerasi* popülasyon yoğunluğunun lokasyon, sıcaklık ve tuzak yüksekliğine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, çevresel faktörlerin zararlı popülasyon dinamikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca çevresel veriler ile popülasyon yoğunluğu verilerinin birlikte değerlendirilmesinin, zararlı popülasyonlarının tahminlenmesine yönelik çalışmalara katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın, sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında biyoteknik mücadele stratejilerinin geliştirilmesine, pestisit kullanımının azaltılmasına ve kiraz üretiminde verim ile kalite kayıplarının önlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## Acknowledgements

We would like to thank the TÜBİTAK 1001 project numbered 123O399 and FÜBAP Project numbered MF.24.115 for supporting the study.

**REFERENCES**

1. Daniel, C. and J. Grunder, *Integrated management of European cherry fruit fly Rhagoletis cerasi (L.): Situation in Switzerland and Europe.* Insects, 2012. **3**(4): p. 956-988.
2. Kaplan, M., *Diyarbakır ili kiraz ağaçlarında bulunan zararlı ve faydalı böcek türleri ile bazı önemli zararlı türlerin doğada görülme zamanı.* Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019(17): p. 283-289.
3. Dias, N.P., P. Montoya, and D.E. Nava, *A 30-year systematic review reveals success in tephritid fruit fly biological control research.* Entomologia experimentalis et Applicata, 2022. **170**(5): p. 370-384.
4. Būda, V., et al., *Electroantennographic and behavioural responses of European cherry fruit fly, Rhagoletis cerasi, to the volatile organic compounds from sour cherry, Prunus cerasus, fruit.* Insects, 2022. **13**(2): p. 114.
5. Maxwell, S., H. Thistlewood, and N. Keyghobadi, *Population genetic structure of the western cherry fruit fly Rhagoletis indifferens (Diptera: Tephritidae) in British Columbia, Canada.* Agricultural and Forest Entomology, 2013. **16**.
6. ELEKÇIOĞLU, N.Z., *Fruit flies of economic importance in Turkey, with special reference to Mediterranean fruit fly, Ceratitis capitata (Wied.).* Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 2013. **6**(2): p. 33-37.
7. Çatal, B.Ö. and M.R. Ulusoy, *Investigation into control of cherry fruit fly, Rhagoletis cerasi (L., 1758)(Diptera: Tephritidae), in organic cherry production.* Turkish Journal of Entomology, 2018. **42**(1): p. 33-42.
8. Louzeiro, L.R.F., et al., *Incidence of frugivorous flies (Tephritidae and Lonchaeidae), fruit losses and the dispersal of flies through the transportation of fresh fruit.* Journal of Asia-Pacific Entomology, 2021. **24**(1): p. 50-60.
9. Daniel, C. and E. Wyss, *Field applications of Beauveria bassiana to control the European cherry fruit fly Rhagoletis cerasi.* Journal of Applied Entomology, 2010. **134**(9-10): p. 675-681.
10. Güneş, U., *Aydın ili kiraz üretim alanlarında kiraz sineği (Rhagoletis cerasi L.)(Diptera: Tephritidae)'nin çıkış zamanı, popülasyon takibi ve farklı tip tuzakların yakalama etkinliği*. 2014, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. Carroll, J. and T. Herrmann, *European Cherry Fruit Fly.* 2020.
12. González-Núñez, M., et al., *Development of a Disease and Pest Management Program to Reduce the Use of Pesticides in Sweet-Cherry Orchards.* Agronomy, 2022. **12**(9): p. 1986.
13. BAYDOĞAN, G., İ. ÖZGEN, and A. TOPDEMİR, *BÖLÜM 30.*
14. Kepenekci, I., S. Hazir, and A. ÖZDEM, *Evaluation of native entomopathogenic nematodes for the control of the European cherry fruit fly Rhagoletis cerasi L.(Diptera: Tephritidae) larvae in soil.* Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2015. **39**(1): p. 74-79.
15. Daniel, C., S. Mathis, and G. Feichtinger, *A new visual trap for Rhagoletis cerasi (L.)(Diptera: Tephritidae).* Insects, 2014. **5**(3): p. 564-576.

# TOKAT İLİ MERKEZ İLÇESİ BUĞDAY ÜRETİMİNDE İKLİM FAKTÖRLERİNİN VERİM ÜZERİNE ETKİSİ

**Emre BAÇ**

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi,

emre.bac@gop.edu.tr -0009-0006-4661-8967

**Prof.Dr. Bilge GÖZENER**

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi,

bilge.gozener@gop.edu.tr- 0000-0001-9988-7120

**Aysun IŞIK**

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi

aysun.isik0224@gop.edu.tr-0009-0005-7140-6512

## ÖZET

Buğday, insan beslenmesinde temel bir yere sahip olan ve Türkiye'de stratejik öneme sahip tahıl ürünlerinden biridir. Bu çalışmada, Tokat ili Merkez ilçesinde buğday üretim miktarı ve veriminde yıllara göre meydana gelen değişimler ile iklimsel faktörlerin olası etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen uzun yıllara ait sıcaklık ve yağış verileri ile buğday üretim ve verim istatistikleri birlikte ele alınmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde kuadratik trend analizi kullanılmış; üretim miktarı ve verime ilişkin 2025–2029 dönemi öngörüleri oluşturulmuştur. Bulgular, üretim miktarında geçmiş yıllarda görülen düşüş eğiliminin son dönemde toparlanmaya başladığını, verimde ise uzun dönemli artış eğiliminin bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte yıllık dalgalanmaların özellikle yağış, sıcaklık ve kuraklık gibi iklim değişkenleriyle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Çalışma sonuçlarının, Tokat Merkez ilçesinde buğday üretimine yönelik tarımsal planlama, risk yönetimi ve sürdürülebilir üretim kararlarına katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Buğday, iklim verileri, verim, Tokat.

## 1. GİRİŞ

Tarım, iklim koşullarına doğrudan bağımlı bir üretim faaliyeti olması nedeniyle çevresel değişkenlikten en fazla etkilenen sektörlerden biridir (Neset vd., 2019). Dünya genelinde nüfus artışı gıda talebini yükseltirken, iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale gelmesi tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirlik konularını stratejik açıdan daha önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda buğday, insan beslenmesindeki temel rolü ve geniş ekim alanlarına sahip olması nedeniyle tahıl ürünleri arasında özel bir öneme sahiptir. Buğday

üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması ve verimliliğin artırılması ise büyük ölçüde iklim faktörlerinin doğru değerlendirilmesine bağlıdır.

Bitkisel üretimde verimi belirleyen unsurlar genel olarak toprak özellikleri, bitki genetiği, tarımsal uygulamalar ve iklim faktörleri şeklinde sınıflandırılabilir. Bu unsurlar içerisinde iklim, hem doğrudan bitki gelişimini etkilemesi hem de diğer üretim faktörleri üzerinde belirleyici rol oynaması nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir. Sıcaklık, yağış, nem, güneşlenme süresi ve rüzgâr gibi iklim elemanları bitkilerin gelişim evrelerini etkileyerek verim ve kalite üzerinde belirleyici olmaktadır. Buğday bitkisi açısından değerlendirildiğinde çimlenme, kardeşlenme, sapa kalkma, başaklanma ve tane dolum dönemlerinde uygun iklim koşullarının sağlanması yüksek verim elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu dönemlerde meydana gelen aşırı sıcaklıklar, yetersiz ya da düzensiz yağışlar, kuraklık ve don olayları bitki gelişimini olumsuz etkileyerek verim kayıplarına yol açabilmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle farklı iklim tiplerinin bir arada görüldüğü ülkelerden biridir. Bu durum tarımsal üretimde ürün çeşitliliğini artırmakla birlikte, bölgesel ölçekte üretim desenlerinin ve verimlilik düzeylerinin farklılaşmasına da neden olmaktadır. Karadeniz iklimi ile İç Anadolu karasal iklimi arasında geçiş özelliği gösteren Tokat ili, bu çeşitliliğin belirgin biçimde gözlemlendiği önemli tarım bölgelerinden biridir (Ağdağ vd., 1997). Tokat ili Merkez ilçesi, özellikle Kazova başta olmak üzere verimli toprakları, sulama olanakları ve uygun topoğrafik yapısı sayesinde buğday üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Sakin vd., 2017). Bununla birlikte, bölgenin geçiş iklimi özelliği yıllar arasında önemli iklimsel dalgalanmaların yaşanmasına neden olmakta ve bu durum buğday veriminde istikrarsızlıklara yol açabilmektedir.

Buğday üretiminde sıcaklık ve yağış, verimi etkileyen temel iklim faktörleri arasında yer almaktadır (Shah ve Paulsen, 2003). Özellikle ilkbahar aylarında, yani Mart-Mayıs döneminde gerçekleşen yağışlar, buğdayın gelişim süreci açısından kritik öneme sahiptir. Bu dönemde yeterli ve dengeli yağışın gerçekleşmesi bitki gelişimini destekleyerek verimi artırırken, yağışın yetersiz olduğu yıllarda kuraklık stresi ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak verim kayıpları meydana gelebilmektedir. Diğer yandan aşırı yağışlar, bitkide yatma, hastalık gelişimi ve kalite kayıpları gibi olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir (Naneli vd., 2015).

Sıcaklık da buğday üretiminde verim ve kaliteyi etkileyen önemli iklim elemanlarından biridir. Özellikle başaklanma ve tane dolum dönemlerinde görülen yüksek sıcaklıklar, fotosentez süresini kısaltmakta ve tane dolum sürecini hızlandırarak tane ağırlığında azalmaya neden olabilmektedir (Wardlaw ve Wrigley, 1994). Benzer şekilde, kış aylarında ve erken ilkbaharda meydana gelen don olayları, bitkinin hassas gelişim evrelerinde zarara yol açarak verimi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Amien, 2006).

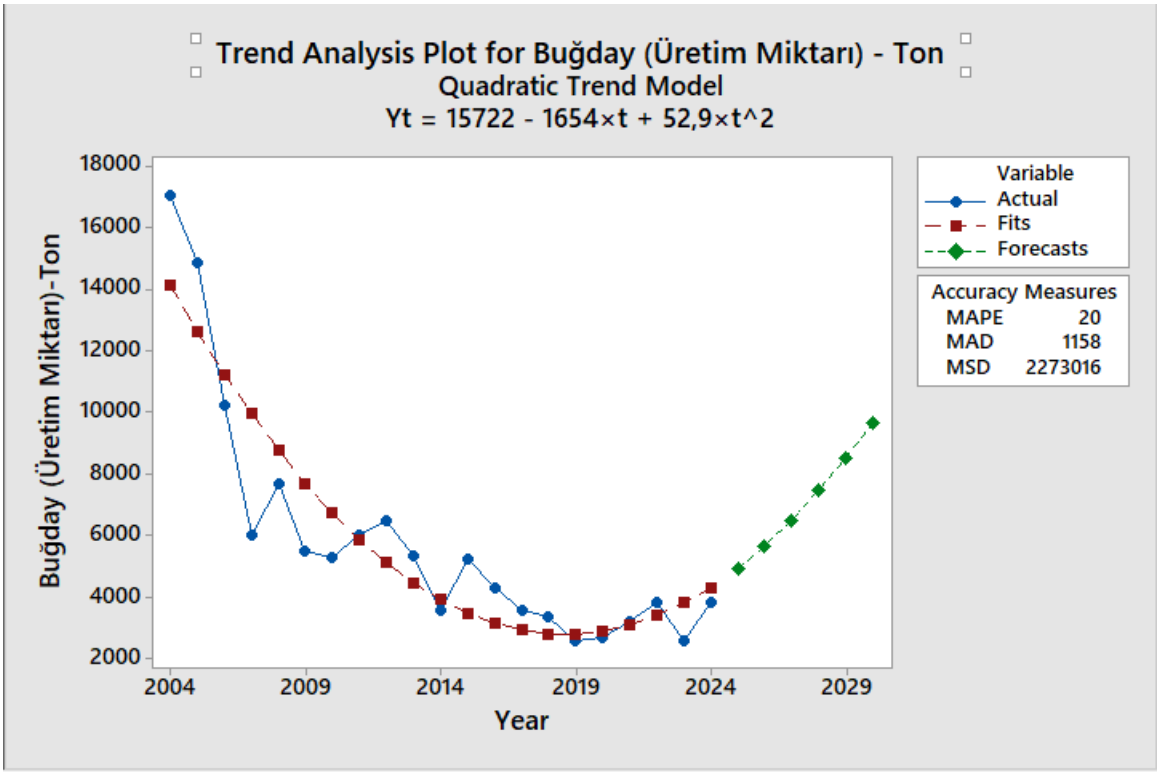
İklim faktörlerinin yanı sıra, bölgedeki topoğrafik farklılıklar ve mikroklimatik koşullar da buğday üretimi üzerinde etkili olabilmektedir. Tokat Merkez ilçesinde ova alanları ile yüksek kesimler arasında gözlemlenen sıcaklık ve nem farklılıkları, bitki gelişimi ve verim üzerinde farklı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir (Ünal, 2006). Bu nedenle, aynı ilçe sınırları içerisinde dahi farklı verim değerleri görülebilmektedir. Dolayısıyla buğday üretiminde iklim

faktörlerinin etkisinin doğru biçimde analiz edilebilmesi için değerlendirmelerin bölgesel ve yerel ölçekte yapılması büyük önem taşımaktadır.

İklim-verim ilişkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi, geleceğe yönelik tarımsal planlama, üretim risklerinin azaltılması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Deveci (2015), yağışın verim üzerindeki etkisinin sıcaklığa kıyasla daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde Kapur vd. (2007), yağışın toprak neminin temel kaynağı olduğunu ve özellikle kurak bölgelerde bitki verimini etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak öne çıktığını belirtmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Tokat ili Merkez ilçesinde buğday üretimini etkileyen iklim faktörlerini belirlemek ve bu faktörlerin verim üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, bölgeye ait uzun yıllar iklim verileri ile buğday verim değerleri analiz edilerek iklim elemanları ile verim arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların, bölgedeki üreticiler, araştırmacılar ve karar vericiler için yol gösterici olması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR




**Görsel 1.** Trend Analizi Buğday Üretimi

Bu çalışmada buğday üretim miktarının yıllara göre değişimini incelemek amacıyla kuadratik trend modeli kullanılmıştır. Grafikte yer alan model denklemi şu şekildedir:

$$Y_t = 15722 - 1654t + 52{,}9t^2$$

Model denklemi incelendiğinde, birinci dereceden katsayının negatif, ikinci dereceden katsayının ise pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum, buğday üretim miktarının incelenen dönemin başlangıcında azalış eğilimi gösterdiğini; ancak zaman ilerledikçe bu azalış hızının

yavaşladığını ve belirli bir noktadan sonra eğilimin yeniden artış yönüne döndüğünü göstermektedir. Başka bir ifadeyle seri, doğrusal bir azalış ya da artıştan ziyade U biçimli, doğrusal olmayan bir trend yapısı sergilemektedir.

Grafikte 2004 yılından itibaren buğday üretim miktarında belirgin bir düşüş olduğu görülmektedir. Üretim miktarı dönem başında oldukça yüksek seviyelerdeyken, 2010'lu yıllara doğru keskin biçimde azalmış ve 2017–2020 döneminde en düşük seviyelerine yaklaşmıştır. Bu azalış eğilimi; ekim alanlarındaki daralma, iklimsel olumsuzluklar, kuraklık, üretim maliyetlerindeki artış, girdi kullanımındaki değişimler, sulama imkânları ve üretici tercihleri gibi faktörlerle ilişkilendirilebilir.

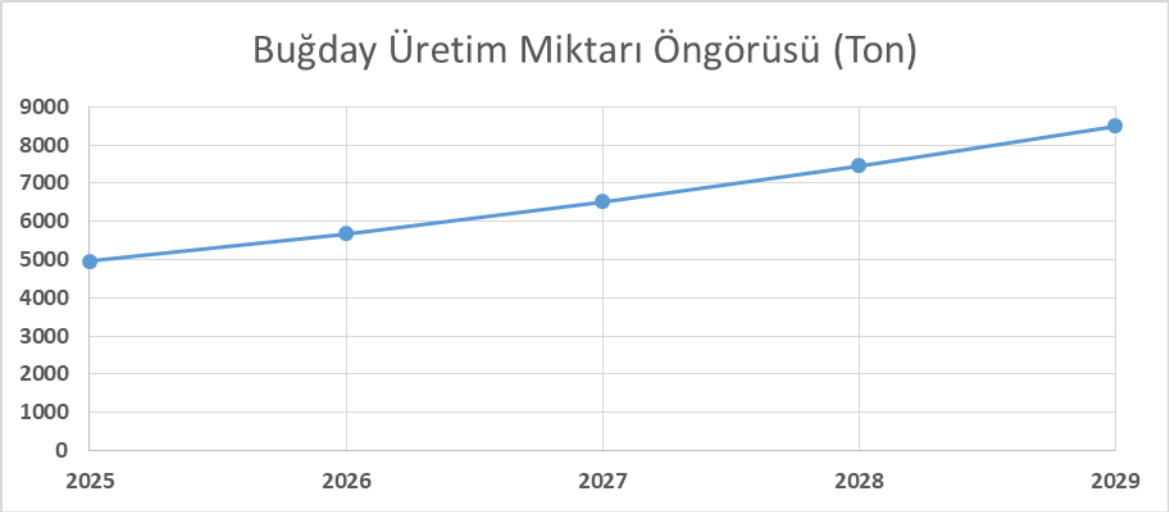
2019 sonrası dönemde ise üretim miktarında toparlanma eğilimi gözlenmektedir. Kuadratik trend çizgisinin bu dönemden itibaren yukarı yönlü hareket etmesi, üretim miktarında önceki yıllara kıyasla artış eğiliminin başladığını göstermektedir. 2021–2024 yılları arasında gözlenen dalgalanmalar, üretim miktarının yıllık koşullardan önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Özellikle tarımsal üretimde yağış miktarı, sıcaklık koşulları, kuraklık stresi, hastalık ve zararlı yoğunluğu, girdi fiyatları ve destekleme politikaları gibi faktörler yıllar arasında önemli değişkenliklere neden olabilmektedir.

Modelin tahmin başarısını değerlendirmek amacıyla MAPE, MAD ve MSD ölçütleri kullanılmıştır. Grafikte kuadratik trend modeli için MAPE = 20, MAD = 1158 ve MSD = 2.273.016 olarak verilmiştir.

MAPE değerinin 20 olması, modelin tahminlerinin gerçekleşen üretim miktarlarından ortalama olarak yaklaşık %20 oranında saptığını göstermektedir. MAPE, tahmin hatalarının gerçekleşen değerlere oranla yüzde cinsinden büyüklüğünü verdiği için model performansının yorumlanmasında sık kullanılan bir ölçüttür. Genel olarak daha düşük MAPE değeri daha yüksek tahmin doğruluğunu ifade eder. Bu çalışmada elde edilen %20'lik MAPE değeri, modelin buğday üretim miktarındaki genel eğilimi açıklamada kabul edilebilir düzeyde başarılı olduğunu göstermektedir.

MAD değerinin 1158 olması, kuadratik trend modelinde tahmin edilen üretim miktarları ile gerçekleşen değerler arasında ortalama 1158 tonluk mutlak sapma bulunduğunu göstermektedir. Bu hata düzeyi, buğday üretim miktarının yıllar itibarıyla geniş bir aralıkta değişmesi ve özellikle dönem başındaki yüksek üretim değerleri ile sonraki yıllardaki keskin düşüşlerin model uyumunu zorlaştırmasıyla ilişkilendirilebilir.

MSD değerinin 2.273.016 olması ise tahmin hatalarının karelerinin ortalamasını ifade etmektedir. Bu ölçüt, büyük sapmalara daha fazla ağırlık verdiğinden, trend çizgisinden belirgin şekilde ayrılan yılların model hata düzeyini artırdığını göstermektedir. Dolayısıyla MSD değeri, kuadratik modelin genel eğilimi yakalamakla birlikte, üretim miktarındaki ani yıllık dalgalanmaları açıklamada sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.



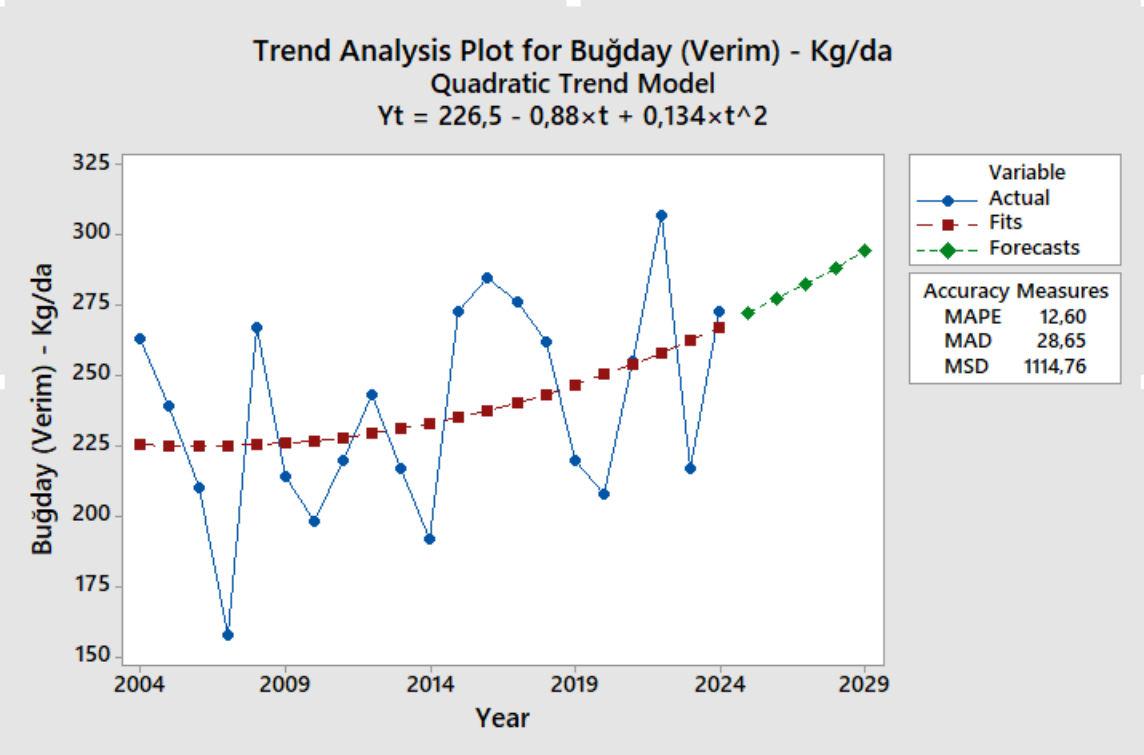

**Görsel 2.** Buğday Üretim Miktarı Öngörüsü

Grafikte yer alan buğday üretim miktarı öngörüleri, 2025–2029 döneminde üretimin düzenli ve artan bir eğilim göstereceğini ortaya koymaktadır. Tahmin değerleri incelendiğinde, üretim miktarının 2025 yılında yaklaşık 5.000 ton düzeyinde olacağı, 2026 yılında yaklaşık 5.700 ton, 2027 yılında 6.500 ton, 2028 yılında 7.500 ton ve 2029 yılında yaklaşık 8.500 ton seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, buğday üretiminde geleceğe yönelik artış beklentisini desteklemektedir. Benzer şekilde, Çiftçi (2024), "Türkiye'de Buğday Üretim Miktarının Geleceğini Tahmin Etmede Veri Madenciliği Yöntemlerinin Etkinliğinin Karşılaştırılması" adlı çalışmasında, Yapay Sinir Ağları modeli kullanılarak Türkiye'nin buğday üretiminin 2022 yılındaki 19,75 milyon ton seviyesinden 2032 yılında yaklaşık 22,96 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmiştir. Her iki çalışmanın bulguları, farklı yöntemler kullanılmasına rağmen buğday üretiminde geleceğe yönelik artış eğiliminin devam edeceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar, buğday üretim miktarında orta vadede kademeli bir toparlanma ve artış eğiliminin beklendiğini göstermektedir. Özellikle 2025 sonrası dönemde tahmin değerlerinin her yıl bir önceki yıla göre yükselmesi, üretimde pozitif yönlü bir trendin devam edeceğine işaret etmektedir. Bu artış eğilimi, kullanılan kuadratik trend modelinin geçmiş dönem verilerinde gözlenen düşüşten sonra üretimde yeniden yükseliş eğilimi yakaladığını göstermesi bakımından önemlidir.

Bununla birlikte, söz konusu öngörülerin yalnızca geçmiş yıllardaki zaman eğilimine dayalı olduğu dikkate alınmalıdır. Buğday üretim miktarı; dekara verim, ekim alanı, yağış miktarı ve dağılımı, kuraklık riski, sıcaklık koşulları, girdi maliyetleri, destekleme politikaları ve üretici kararları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle tahminler, kesin üretim değerleri olarak değil, mevcut eğilimin devam etmesi durumunda ortaya çıkabilecek olası üretim düzeyleri olarak değerlendirilmelidir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 2025–2029 dönemi için elde edilen öngörüler, buğday üretim miktarında düzenli bir artış beklentisini ortaya koymaktadır. Ancak tarımsal üretimin doğası gereği iklimsel ve ekonomik koşullara duyarlı olması nedeniyle, gerçekleşen üretim miktarlarının model tahminlerinden sapma gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.




**Görsel 3.** Trend Analizi Buğday Verimi

Bu çalışmada buğday verimine ilişkin yıllara bağlı değişim, kuadratik trend modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen model denklemi aşağıdaki gibidir:

$$Y_t = 226{,}5 - 0{,}88t + 0{,}134t^2$$

Modelde yer alan ikinci dereceden terimin pozitif katsayıya sahip olması, buğday veriminde zaman içinde doğrusal olmayan ve artan yönde bir eğilimin bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, buğday üretiminde zamanla çeşit geliştirme, mekanizasyon, gübreleme, bitki koruma uygulamaları ve yetiştirme tekniklerindeki ilerlemeler gibi faktörlerin verim artışına katkı sağlamış olabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, grafikte gözlenen gerçek verim değerlerinin trend çizgisi etrafında önemli dalgalanmalar gösterdiği görülmektedir. Özellikle bazı yıllarda gerçekleşen verim değerleri model tarafından tahmin edilen değerlerin oldukça altında veya üzerinde seyretmiştir. Bu durum, tarımsal üretimde verimin yalnızca zamana bağlı teknolojik gelişmelerle açıklanamayacağını; iklim koşulları, yağış miktarı ve dağılımı, sıcaklık stresi, kuraklık, hastalık ve zararlı yoğunluğu, toprak özellikleri, sulama imkânları ve üretici uygulamaları gibi çok sayıda faktörün yıllık verim değişkenliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

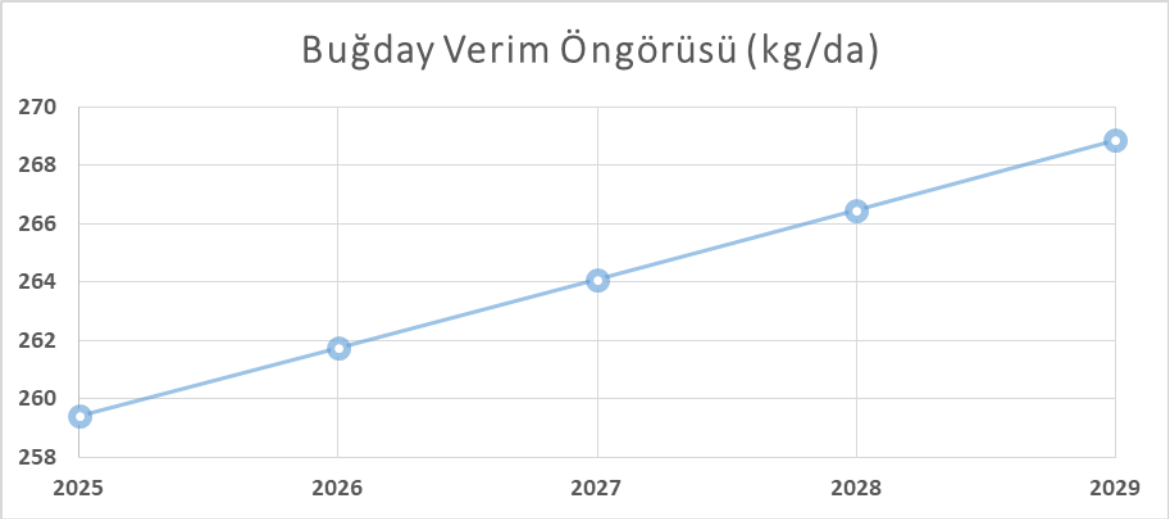
Modelin tahmin başarısı MAPE, MAD ve MSD ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen MAPE değeri 12,60 olarak hesaplanmıştır. MAPE, tahmin hatasının gerçekleşen değerlere oranla ortalama yüzde büyüklüğünü göstermektedir. Bu bağlamda %12,60'lık MAPE değeri, modelin genel olarak kabul edilebilir ve iyi düzeyde bir tahmin performansı sunduğunu göstermektedir. Özellikle tarımsal verilerde yıllık dalgalanmaların yüksek olduğu dikkate

alındığında, bu düzeyde bir hata oranı modelin genel eğilimi açıklamada yeterli olduğunu göstermektedir.

MAD değeri 28,65 olarak bulunmuştur. Bu değer, model tahminlerinin gerçekleşen buğday verimi değerlerinden ortalama olarak yaklaşık 28,65 kg/da sapma gösterdiğini ifade etmektedir. Bu hata büyüklüğü, veri setindeki yüksek yıllık değişkenlik göz önünde bulundurulduğunda orta düzeyde kabul edilebilir bir sapmaya işaret etmektedir. Bununla birlikte, daha düşük MAD değerleri daha yüksek tahmin doğruluğunu ifade ettiğinden, alternatif modellerle karşılaştırmalı analiz yapılması model seçiminin güvenilirliğini artıracaktır.

MSD değeri ise 1114,76 olarak hesaplanmıştır. Grafikte bazı yıllarda gözlenen ani verim düşüşleri veya yüksek verim artışları, modelin hata kareleri üzerinde belirgin etki yaratmış olabilir. Bu sonuç, kuadratik trend modelinin uzun dönemli eğilimi belirlemede yararlı olduğunu, ancak olağandışı yıllık dalgalanmaları açıklamada sınırlı kaldığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kuadratik trend modeli buğday veriminde uzun dönemli artış eğilimini ortaya koymaktadır. Modelin MAPE değerinin %20'nin altında olması, tahmin performansının iyi düzeyde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte MAD ve MSD değerleri, buğday veriminde yıllar itibarıyla önemli sapmalar bulunduğunu ve yalnızca zamana dayalı bir modelin tüm değişkenliği açıklamada yetersiz kalabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle buğday verimi üzerine yapılacak ileri çalışmalarda yağış, sıcaklık, kuraklık indeksi, gübre kullanımı, sulama durumu, çeşit özellikleri ve üretim teknolojileri gibi açıklayıcı değişkenlerin modele dâhil edilmesi önerilmektedir. Böylece hem trendin yönü daha sağlıklı değerlendirilebilecek hem de geleceğe yönelik verim tahminlerinin güvenilirliği artırılabilecektir.




**Görsel 4.** Buğday Verimi Öngörüsü

Modelin 2025–2029 dönemi için ürettiği öngörüler, buğday veriminde kademeli bir artış olacağını göstermektedir. Mevcut eğilimin devam etmesi durumunda buğday veriminde orta vadede pozitif bir gelişme öngörüldüğünü ortaya koymaktadır. Ancak söz konusu tahminlerin yalnızca zaman değişkenine dayalı olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle iklimsel dalgalanmalar, kuraklık riski, girdi fiyatları, sulama olanakları ve üretim politikalarındaki değişimler gibi dışsal faktörler, gelecekte gerçekleşecek verim değerlerinin model

tahminlerinden sapmasına neden olabilir. Bu sonuçlar, literatürde yer alan benzer çalışmalarla da desteklenmektedir. İrdem (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 2004–2020 döneminde Türkiye'de buğday veriminin genel olarak artış eğiliminde olduğu belirlenmiş; bu artışın yalnızca sıcaklık ve yağış gibi iklim faktörlerinden değil, aynı zamanda sulama olanaklarının gelişmesi, kaliteli tohum kullanımı ve modern tarımsal uygulamalardan da kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bu durum, bu çalışmada elde edilen verim artışı öngörülerinin yalnızca zamana bağlı değişimlerle değil, tarımsal teknolojilerdeki gelişmelerle de ilişkilendirilebileceğini göstermektedir.

Benzer şekilde Doğar ve Çiçek (2025) tarafından yapılan araştırmada, sıcaklık ve yağış başta olmak üzere iklim değişkenlerinin buğday verimi üzerinde önemli etkileri olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada, buğday verimindeki değişimin %55,4'ünün sıcaklık ve %18,8'inin yağış değişkeni tarafından açıklandığı belirlenmiş, ayrıca sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısından buğday verimine doğru anlamlı nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir.

Yaman (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kuraklık şiddetinin arttığı dönemlerde buğday veriminde önemli kayıplar meydana geldiği belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, kuraklık koşulları ile buğday verimi arasındaki ilişkinin zaman içerisinde değişkenlik gösterdiğini ve özellikle şiddetli kuraklık dönemlerinde verim düşüşlerinin belirginleştiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, model tahminleri olumlu bir verim artışına işaret etse de kuraklık riski ve diğer iklimsel dalgalanmalar gelecekteki gerçekleşen verim değerlerinin tahminlerden farklılaşmasına neden olabilecektir.

Öngörü değerlerinin yıllar itibarıyla düzenli biçimde yükselmesi, kuadratik modelde yer alan pozitif ikinci derece katsayının etkisiyle açıklanabilir. Başka bir ifadeyle model, buğday verimindeki artışın yalnızca doğrusal değil, zaman içinde ivmelenen bir yapıya sahip olduğunu varsaymaktadır. Bu nedenle 2025–2029 dönemine ilişkin tahminlerde artış eğiliminin devam ettiği ve tahmin edilen verim düzeylerinin her yıl bir önceki yıla göre daha yüksek gerçekleştiği görülmektedir.

## 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tokat Merkez ilçesinde buğday üretim miktarı ve verimindeki değişimler kuadratik trend analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar, üretim miktarında geçmiş yıllardaki düşüş eğiliminin son dönemde yerini artışa bıraktığını, verimde ise uzun dönemli bir yükseliş eğilimi bulunduğunu göstermiştir.

Model performans değerleri, özellikle verim tahminlerinde kabul edilebilir düzeyde doğruluk sağlandığını ortaya koymuştur. Ancak üretim ve verimde gözlenen yıllık dalgalanmalar, iklim koşulları, kuraklık, yağış miktarı, sıcaklık değişimleri ve tarımsal uygulamaların önemli etkileri bulunduğunu göstermektedir.

2025–2029 dönemi için yapılan öngörüler, buğday üretimi ve veriminde kademeli bir artış eğiliminin devam edeceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, tahminlerin yalnızca geçmiş eğilimlere dayandığı ve gelecekteki iklimsel ve ekonomik koşullardan etkilenebileceği unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, Tokat Merkez ilçesinde buğday üretimi ve verimi açısından olumlu bir eğilim görülmekle birlikte, daha güvenilir tahminler için gelecekte yapılacak çalışmalarda yağış, sıcaklık, nem ve kuraklık gibi iklim değişkenlerinin de modele dâhil edilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

Neset, A., Gobin, A., Lutzeyer, H., Iglesias, A., Bernardi, M., Bodis, K., ... & Mereu, V. (2019). Climate impacts on agriculture in Europe. European Commission Report, 1–120.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). Bitkisel üretim istatistikleri. Ankara: TÜİK.

Ağdağ, M., Soyadı, A., & Soyadı, B. (1997). Makale başlığı. Dergi Adı, Cilt(Sayı), sayfa aralığı.

Sakin, M. A., Naneli, İ., Kıral, A. S., & Akcura, M. (2017). Yield and quality characteristics of bread wheat genotypes under Kazova conditions. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), 34(Özel Sayı).

Kapur, B., Ünlü, M., Tekin, S., & Koç, L. (2007). A new approach to evaluation of climatic change effect on agricultural production system: ICCAP Project. TMMOB Türkiye'de Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, 83–94.

Shah, N. H., & Paulsen, G. M. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. Plant and Soil, 257(1), 219–226.

Naneli, İ., Sakin, M. A., Kıral, A. S., vd. (2015). Makale başlığı. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), cilt(sayı), sayfa aralığı.

Wardlaw, I. F., & Wrigley, C. W. (1994). Heat tolerance in temperate cereals: An overview. Australian Journal of Plant Physiology, 21(6), 695–703.

Ünal, Ç. (2006). Makale başlığı. Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 2, 171–197.

Yaman, F. (2024). Meteorolojik kuraklığın buğday verimindeki etkisinin değerlendirilmesi: Kızılırmak Havzası örneği.

Çiftci, F. (2024). Türkiye'de buğday üretim miktarının geleceğini tahmin etmede veri madenciliği yöntemlerinin etkinliğinin karşılaştırılması. Wheat Studies, 13(1), 1–11.

İrdem, C. (2022). Türkiye buğday verimindeki değişimlerin sıcaklık ve yağış koşulları ile ilişkileri. Coğrafi Bilimler Dergisi, 20(2), 357–378.

Doğar, D., & Çiçek, A. (2025). Türkiye’de iklim verileri ile buğday ve arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisinin Toda-Yamamoto testi ile belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2), 411–427.

Deveci, H. (2015). Trakya Bölgesi'nde iklim değişikliğinin buğday ve ayçiçeği verimi ile toprak nemine etkilerinin modellenmesi (Yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

# BAHÇE ÜRÜNLERİNİN MUHAFAZASI VE PAZARLAMASINDA KULLANILAN GÜNCEL PAKETLEME TEKNOLOJİLERİ

**Yüksek Lisans Öğrencisi Cafer ÖZKAN**
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
ozkancafer50@gmail.com- 0009-0004-9248-5232

**Dr. Öğr. Üyesi Burak Erdem ALGÜL**
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi /Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü
burakerdem@adu.edu.tr- 0000-0001-7252-1065

## ÖZET

Bahçe ürünlerinde hasat sonrası kayıpların azaltılması, ürün kalitesinin korunması ve tüketiciye güvenli gıda sunulması açısından uygun paketleme teknolojilerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Meyve ve sebzelerin depolama ve pazarlama sürecinde maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler, ürünlerin raf ömrünü ve ticari değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle son yıllarda geleneksel ambalajlama yöntemlerinin yanı sıra yenilebilir kaplamalar, modifiye atmosfer paketleme (MAP), vakum paketleme ve akıllı ambalaj sistemleri gibi yenilikçi teknolojilere olan ilgi artmıştır. Yenilebilir kaplamalar, ürün yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak nem kaybını azaltmakta ve kalite özelliklerinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Modifiye atmosfer paketleme (MAP), ambalaj içerisindeki gaz bileşimini düzenleyerek solunum hızını yavaşlatmakta ve raf ömrünü uzatmaktadır. Vakum paketleme, ortam oksijenini uzaklaştırarak oksidatif bozulmayı ve mikrobiyal gelişimi sınırlandırmaktadır. Akıllı ambalaj sistemleri ise sıcaklık, gaz bileşimi ve ürün tazeliği gibi parametrelerin izlenmesine olanak sağlayarak gıda güvenliği ve izlenebilirliği desteklemektedir. Bu özet kapsamında, bahçe ürünlerinin hasat sonrası muhafazasında kullanılan modern paketleme teknolojileri ele alınmakta; söz konusu uygulamaların ürün kalitesi, raf ömrü, gıda güvenliği ve tüketici memnuniyeti üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Ayrıca çevresel sürdürülebilirlik ve izlenebilirlik açısından sağladıkları avantajlar incelenmektedir. Gelecekte meyve ve sebze ambalajlama teknolojileri, sadece ürünün korunmasını sağlamakla kalmayıp aynı zamanda gıda güvenliğinin artırılması, sürdürülebilirliğin desteklenmesi, tedarik zincirinin daha iyi takip edilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi alanlarda da önemli gelişmeler gösterecektir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan plastik bazlı ambalajların yerini, büyük oranda biyobozunur, yenilenebilir kaynaklardan üretilen, akıllı ve çevre dostu ambalajlar alacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Paketleme teknolojileri, Modifiye atmosfer paketleme, vakum paketleme, akıllı ambalaj, yenilebilir kaplamalar.

# EXPRESSION PROFILING OF UTP14A AND MYL5 GENES IN IMATINIB-RESISTANT CHRONIC MYELOID LEUKEMIA

**TIN NILA SOE**

Altinbas University

240270378@ogr.altinbas.edu.tr - https://orcid.org/0009-0009-3967-9472

***YALDA HEKMATSHOAR**

Altinbas University

yalda.hekmatshoar@altinbas.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-4683-074X

## ABSTRACT

Chronic myeloid leukemia (CML) is a neoplasm disorder associated with white blood cell proliferation and is marked by abnormal Philadelphia chromosome (Ph) gene, which appears after a translocation between chromosomes 9 and 22 by fusion of the BCR- ABL components. The first line oral medication for CML is Imatinib Mesylate (IMA), first generation of Tyrosine Kinase Inhibitors (TKIs), with tremendous success. However, its resistance occurred and next generation of TKIs are introduced. There are several pathways and genes that play roles in imatinib resistance in CML. In this study, we investigated the involvement of UTP14A and MYL5 genes in CML imatinib resistance. UTP14A is a gene involved in ribosome biogenesis and the regulation of cell growth and proliferation. Moreover, MYL5 has an important role in cell division. Our study employs a methodology that includes cell culture of K562S (imatinib-sensitive) and K562R (5μM imatinib-resistant) cells, RNA isolation using Trizol regent, cDNA synthesis and real-time PCR gene expression using SYBR green method. The results showed that both UTP14A and MYL5 genes were downregulated in K562R cells compared to parent K562S cells. Previous studies have linked altered expression of these genes to several cancers, suggesting their potential involvement in cancer progression and drug resistance. In conclusion, the reduced expression of UTP14A and MYL5 may contribute to imatinib resistance in CML and could serve as potential biomarkers for therapeutic response.

**Keywords:** CML, Imatinib resistance, UTP14A, MYL5 and gene expression.

# DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ VÜCUT KİTLE İNDEKSİ TAHMİNİ VE TOPLUM SAĞLIĞI TAKİBİ

**Sümeyye Beyza YILDIZ**
Hitit Üniversitesi,
sbeyza.yldz@gmail.com.tr - ORCID: 0009-0009-3121-8559

**Rümeysa GÜRAY**
Hitit Üniversitesi,
rumeysaguray2005@gmail.com.tr - ORCID: 0009-0002-2040-4670

## ÖZET

Obezite; hipertansiyon, tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere pek çok kronik hastalıkla doğrudan ilişkili olması nedeniyle günümüzün en önemli küresel halk sağlığı sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir. Vücut Kitle İndeksi (VKİ), obezite değerlendirmesinde yaygın biçimde kullanılan temel bir gösterge olmakla birlikte geleneksel ölçüm yöntemleri kalibre ekipman gerektirmekte ve büyük ölçekli taramalarda çeşitli kısıtlar barındırmaktadır. Bu çalışmada, bireylerin 8 farklı açıdan elde edilen tam vücut görüntülerini kullanarak VKİ sınıfını temassız biçimde tahmin edebilen çok modlu (multi-modal) derin öğrenme tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Sistem; normalize edilmiş silüet görüntülerini, kontur-merkez uzaklık dönüşümüne dayalı topolojik yoğunluk haritalarını ve YOLOv11 tabanlı poz tahminiyle elde edilen antropometrik özellik vektörlerini paralel işleyen üç girişli bir mimari üzerine inşa edilmiştir. Türk toplumunun antropometrik özelliklerini yansıtmak amacıyla 208 gönüllü katılımcıdan 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° ve 315° açılarında toplam 1.664 görüntü elde edilerek özgün bir veri seti oluşturulmuştur. Dört sınıflı yapıda (Zayıf, Normal, Fazla Kilolu, Obez) %55,95 doğruluk elde eden model, Sorunsuz–Sorunlu ikili sınıflandırma mimarisine dönüştürüldüğünde %74,21 doğruluk ve %71,90 dengelenmiş doğruluk değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen bulgular; geliştirilen çok modlu mimarinin çok açılı ve gerçekçi koşullar altında anlamlı bir sınıflandırma başarısı sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu sistem, temassız sağlık izleme istasyonları, video tabanlı izleme ve mobil sağlık uygulamaları gibi alanlarda sürdürülebilir ve yenilikçi bir teknolojik altyapı sunma potansiyeli taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Vücut Kitle İndeksi, Derin Öğrenme, Çok Modlu Mimari, Silüet Analizi, Obezite Tespiti, Poz Tahmini

# GERÇEK ZAMANLI EPİLEPTİK NÖBET TESPİTİ İÇİN ZAMAN BÖLGESİ ÖZNİTELİKLERİ VE TOPLULUK ÖĞRENMESİ

**Dr. Öğretim Üyesi Güneş EKİM**
Karadeniz Teknik Üniversitesi/Trabzon Meslek Yüksekokulu
gunesekim@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4867-3100

## ÖZET

Epileptik nöbetlerin otomatik olarak tespit edilmesi, epilepsinin tanı ve yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan birçok yöntem, dalgacık veya frekans tabanlı dönüşümler ile derin öğrenme yaklaşımlarına dayanmakta; ancak bu yöntemler yüksek hesaplama maliyeti nedeniyle gerçek zamanlı uygulamalarda sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada, yalnızca zaman bölgesi özniteliklerine dayanan, düşük hesaplama karmaşıklığına sahip ve yorumlanabilir bir epileptik nöbet tespit yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yöntemde herhangi bir dönüşüm, karmaşık ön işleme veya derin öğrenme mimarisi kullanılmadan, yalnızca düşük maliyetli zaman bölgesi öznitelikleri ile yüksek sınıflandırma başarımı elde edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar, Bonn Üniversitesi EEG veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiş; EEG sinyallerinden Hjorth parametreleri, sıfır geçiş oranı, eğim değişimi, enerji ve tepe-tepe genliği dâhil toplam 17 istatistiksel ve karmaşıklık tabanlı öznitelik çıkarılmıştır. Özniteliklerin ayırt ediciliği Bilgi Kazanımı yöntemi ile değerlendirilmiş ve standart sapma, enerji ile tepe-tepe genliğinin en etkili öznitelikler olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırma aşamasında Rastgele Orman, k-En Yakın Komşu ve Topluluk Öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, bazı ikili sınıflandırma görevlerinde %100 doğruluk elde edildiğini ve tüm görevler genelinde ortalama %93,95 doğruluk sağlandığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, önerilen yaklaşımın düşük maliyetli, hızlı ve gerçek zamanlı giyilebilir EEG sistemleri ile klinik karar destek uygulamaları için uygun bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** EEG sinyal sınıflandırması, topluluk öğrenmesi, epileptik nöbet tespiti, Hjorth parametreleri, rastgele orman.

## 1. GİRİŞ

Epilepsi, beynin normal elektriksel aktivitesindeki geçici bozulmalar sonucu ortaya çıkan ve tekrarlayan nöbetlerle seyreden kronik bir nörolojik hastalıktır. Dünya genelinde 50 milyondan fazla insanın epilepsiden etkilendiği tahmin edilmekte olup, bu durum epilepsiyi en yaygın nörolojik hastalıklardan biri hâline getirmektedir. Epileptik nöbetlerin doğru ve erken şekilde tespit edilmesi; hastalığın tanısı, tedavi planlaması, ilaç düzenlemeleri ve hasta güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle uzun süreli Elektroensefalografi (EEG) kayıtlarının manuel olarak incelenmesi oldukça zaman alıcı ve uzmanlık gerektiren bir süreç olduğundan, otomatik epileptik nöbet tespit sistemlerine olan ilgi son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu sistemler, tanı sürecini hızlandırmakta ve insan kaynaklı hata riskini azaltarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [1].

EEG tabanlı epileptik nöbet tespiti çalışmalarında geleneksel olarak zaman-frekans dönüşümleri, dalgacık dönüşümü, ampirik kip ayrışımı, Fourier tabanlı yöntemler ve derin öğrenme yaklaşımları yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu yöntemler çoğu zaman yüksek sınıflandırma başarısı sağlasa da yüksek hesaplama maliyeti, karmaşık işlem adımları, yüksek bellek gereksinimi ve yorumlanabilirlik eksikliği gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir. Özellikle gerçek zamanlı sistemlerde ve giyilebilir EEG cihazlarında kullanılacak algoritmalar açısından düşük hesaplama maliyeti ve enerji verimliliği büyük önem taşımaktadır [2]. Bu kapsamda, Alickovic vd. [3] Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanarak %99,20, Wang vd. [4] Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) tabanlı öznitelikler ve Rastgele Orman (RO) sınıflandırıcısı ile %96,7, Sharma vd. [5] Yinelemeli Filtreleme (YF) ve RO yöntemiyle %99,5 doğruluk elde etmiştir.

Literatürde epileptik nöbet tespiti için çoğunlukla dalgacık dönüşümü, entropi veya zaman-frekans tabanlı yöntemler kullanılmıştır. Bununla birlikte, son yıllarda yapılan çalışmalar, yalnızca zaman bölgesi özelliklerinin kullanılmasıyla da epileptik EEG sinyallerinin başarılı şekilde sınıflandırılabileceğini göstermektedir. Ortalama, standart sapma, enerji, sıfır geçiş oranı ve Hjorth parametreleri gibi istatistiksel ve dinamik zaman bölgesi özellikleri; epileptik aktivitenin oluşturduğu ani genlik değişimlerini, düzensizlikleri ve sinyal karmaşıklığını etkili biçimde temsil edebilmektedir. Bunun yanında bu özellikler, doğrudan ham EEG sinyalinden elde edilebildiği için ek dönüşüm adımlarına ihtiyaç duymaz ve böylece işlem süresi önemli ölçüde azaltılmış olur. Ghayab vd. [6] zaman bölgesinden elde edilen örnekleme tabanlı özellikler kullanarak %99,9 doğruluk elde etmiştir. Sharmila vd. [7] yalnızca zaman bölgesi özellikleri kullanarak Bonn EEG veri seti üzerinde epileptik nöbet tespiti gerçekleştirmiş ve filtrelenmiş EEG sinyalleri ile %100 doğruluk bildirmiştir.

Bu çalışmada, Bonn Üniversitesi EEG veri seti kullanılarak epileptik nöbet tespiti için yalnızca zaman bölgesi özniteliklerine dayanan düşük maliyetli ve yüksek doğruluklu bir yaklaşım önerilmiştir. EEG sinyallerinden toplam 17 adet zaman bölgesi özniteliği çıkarılmış ve bu öznitelikler Rastgele Orman (RO), k-En Yakın Komşu (k-EYK) ve Topluluk Öğrenmesi (TÖ) yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Ayrıca özniteliklerin ayırt edicilik düzeyleri Bilgi Kazanımı (BK) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın özellikle ikili sınıflandırma problemlerinde %100'e varan doğruluk sağladığını ve tüm sınıflandırma görevleri genelinde yüksek performans sunduğunu göstermektedir. Bunun yanında düşük hesaplama karmaşıklığına sahip olması nedeniyle önerilen yöntemin gerçek zamanlı epileptik nöbet tespit sistemleri, giyilebilir EEG cihazları ve klinik karar destek uygulamaları için uygun bir alternatif olduğu değerlendirilmektedir.

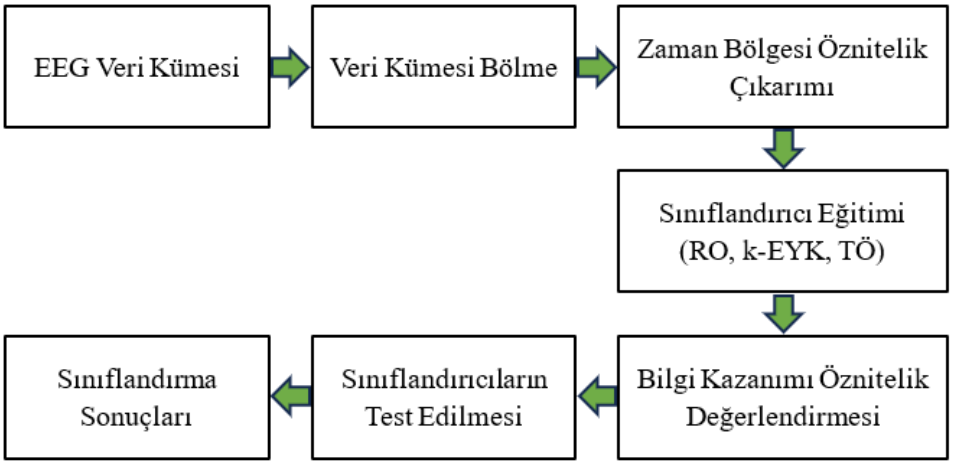
## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. EEG Veri Kümesi

Görsel 1'de blok diyagramı verilen önerilen bu çalışmada, epileptik nöbet tespiti için Bonn Üniversitesi Epileptoloji Bölümü tarafından sağlanan ve literatürde yaygın olarak kullanılan EEG veri kümesi kullanılmıştır [8]. Veri kümesi, beş farklı alt kümeden (A, B, C, D, E) oluşmaktadır. Her sınıfta 100 adet tek kanallı EEG kaydı bulunmakta olup, her kayıt 4096 örnek içermektedir. EEG sinyalleri 173,61 Hz örnekleme frekansı ile elde edilmiş ve yaklaşık 23,6 saniyelik kayıt süresine sahiptir. Veri kümesinde göz hareketi ve kas artefaktları giderilmiş olup kayıtlar uluslararası 10–20 elektrot yerleşim sistemine göre alınmıştır.

Veri setindeki sınıflar farklı fizyolojik durumları temsil etmektedir. A ve B sınıfları sağlıklı bireylerden alınan yüzey EEG kayıtlarını içerirken, C ve D sınıfları epilepsi hastalarının nöbet dışı (interiktal) dönem kayıtlarını, E sınıfı ise nöbet anı (iktal) EEG sinyallerini içermektedir.

Bu çalışmada veri miktarını artırmak ve daha kısa zaman pencerelerinde epileptik aktiviteyi inceleyebilmek amacıyla her 4096 örnekten oluşan EEG kaydı iki eşit parçaya bölünmüştür. Böylece her biri 2048 örnekten oluşan toplam 1000 EEG segmenti elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda her sınıf için 200 segment kullanılmıştır. Segmentasyon yaklaşımı, sınıflandırıcıların daha fazla örnek ile eğitilmesine olanak sağlamış ve sistemin genellenebilirliğini artırmıştır [9].




**Görsel 1. Önerilen sistemin blok diyagramı**

### 2.2. Zaman Bölgesi Öznitelik Çıkarımı

Bu çalışmada EEG sinyallerinden yalnızca zaman bölgesine ait öznitelikler çıkarılmıştır. Zaman bölgesi öznitelikleri; düşük hesaplama maliyeti, kolay uygulanabilirlik ve gerçek

zamanlı sistemlere uygunluk gibi avantajlar sunmaktadır. Ayrıca epileptik nöbetler sırasında oluşan ani genlik değişimleri, düzensizlikler ve sinyal karmaşıklıkları bu öznitelikler ile etkili biçimde temsil edilebilmektedir.

Çalışmada toplam 17 adet zaman bölgesi özniteliği kullanılmıştır. Bu öznitelikler; ortalama, standart sapma, medyan, çarpıklık, basıklık, maksimum değer, minimum değer, tepe-tepe genliği, mutlak ortalama, sıfır geçiş oranı, eğim değişimi, Hjorth hareketlilik, Hjorth karmaşıklık, sinyal karmaşıklığı, enerji, tepe sayısı ve doğrusal eğim parametrelerinden oluşmaktadır. Ayrıca bu özniteliklerin matematiksel ifadeleri ve kısa açıklamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Öznitelikler**

| Öznitelik | Matematiksel İfade | Açıklama |
|---|---|---|
| Ortalama | $\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$ | EEG sinyalinin merkezi eğilimini ölçer. Burada $x_i$, EEG sinyalinin i'inci örneği ve N, toplam örnek sayısıdır [10]. |
| Standart sapma | $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)^2}$ | EEG sinyal genliğindeki değişkenliği ölçerek, nöbet sırasında artan dalgalanmaları yansıtır [10]. |
| Medyan | $Medyan(x)$ | Sıralanmış sinyalin ortanca değeridir; aykırı değerlere karşı dayanıklıdır [10]. |
| Çarpıklık | $Ç = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)^3$ | Sinyal dağılımındaki asimetriyi gösterir, nöbet olayları sırasında sıklıkla bozulur [10]. |
| Basıklık | $B = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)^4$ | Sinyal dağılımının sivriliğini gösterir [10]. |
| Maksimum değer | $x_{max} = max(x_i)$ | Segmentteki en yüksek genlik değerini ifade eder [10]. |
| Minimum değer | $x_{min} = min(x_i)$ | Segmentteki en düşük genlik değerini temsil eder [10]. |
| Tepe-tepe genliği | $P-P = max(x_i) - min(x_i)$ | Sinyal aralığını temsil eder [11]. |
| Mutlak ortalama | $\mu_{abs} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\lvert x_i\rvert$ | Sinyalin genel genlik düzeyini, işaret yönünden bağımsız olarak temsil eder [12]. |
| Sıfır geçiş oranı | $SGO = \frac{1}{2}\sum_{i=2}^{N}\lvert sign(x_i) - sign(x_{i-1})\rvert$ | Sinyalin pozitif ve negatif genlikler arasında kaç kez işaret değiştirdiğini gösterir ve sinyalin frekans içeriğine dolaylı bilgi sağlar [13]. |
| Eğim değişimi | $ED = \sum_{i=2}^{N-1}[sign(x_{i+1}-x_i) - sign(x_i - x_{i-1}) \neq 0]$ | Sinyaldeki ani eğim değişimlerini (kırılma noktalarını) ifade eder [10]. |
| Hjorth hareketlilik | $H_H = \sqrt{\frac{var(\dot{x})}{var(x)}}$ | Zaman bölgesinde sinyalin ortalama frekans içeriğini ifade eder [14]. |
| Hjorth karmaşıklık | $H_K = \frac{H_H(\dot{x})}{H_H(x)}$ | Sinyaldeki frekans bileşenlerinin zamana bağlı değişim düzeyini yansıtır. Burada $H_H$, hareketliliktir [14]. |
| Sinyal karmaşıklığı | $SK = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-1}\lvert x_{i+1} - x_i\rvert$ | Sinyalin düzensizlik seviyesini ölçer [14]. |

| | | |
|---|---|---|
| Enerji | $E = \sum_{i=1}^{N} x_i^2$ | Sinyal segmentinin toplam gücünü temsil eder; iktal dönemde artış gösterir [15]. |
| Tepe sayısı | $\sum 1[x_i > x_{i+1}]$ | Sıfır genliği aşan yerel tepe sayısını ifade eder [16]. |
| Doğrusal eğim | $x_i \approx a \cdot i + b \rightarrow Eğim = a$ | Sinyalin genel eğilimini yansıtan doğrusal uyum eğimini ifade eder [16]. |

2.3. Sınıflandırıcılar, Değerlendirme Ölçütleri ve Öznitelik Seçimi

EEG sinyallerinden çıkarılan zaman bölgesi özniteliklerinin sınıflandırılmasında Rastgele Orman (RO), k-En Yakın Komşu (k-EYK (k=3)) ve Topluluk Öğrenmesi (TÖ) yöntemleri kullanılmıştır. TÖ yöntemi, RO ve k-EYK yöntemlerinin kararlarını çoğunluk oylaması ile birleştirir ve eşitlik durumlarında RO sınıflandırıcısının kararlarını esas alır. Seçilen sınıflandırıcılar; biyomedikal sinyal sınıflandırmasında yaygın olarak kullanılmaları, farklı veri yapılarına karşı tamamlayıcı özellikler sunmaları ve düşük hesaplama maliyetine sahip olmaları nedeniyle tercih edilmiştir.

RO yöntemi, karar ağaçlarından oluşan topluluk tabanlı bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Aşırı öğrenmeye karşı dayanıklılığı, doğrusal olmayan öznitelik ilişkilerini modelleyebilmesi ve öznitelik önemini doğal olarak değerlendirebilmesi sayesinde gürültülü EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında etkili bir yöntemdir [17].

k-EYK yöntemi, örnek tabanlı ve parametrik olmayan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Bu yapısı ile öznitelik vektörleri arasındaki yerel benzerliklere dayalı kararlar üretmekte ve karşılaştırma amaçlı güçlü bir referans model sunmaktadır [18]. Bu çalışmada k değeri 3 olarak seçilmiştir. k-EYK yöntemi özellikle benzer özellik vektörlerine sahip EEG segmentlerinin sınıflandırılmasında etkili sonuçlar vermektedir.

TÖ yöntemi ise RO ve k-EYK sınıflandırıcılarının çıktılarını çoğunluk oylaması ile birleştirmektedir. Bu yaklaşım sayesinde farklı sınıflandırıcıların avantajlarından birlikte yararlanılması hedeflenmiştir [19].

Sınıflandırma performanslarının değerlendirilmesinde doğruluk (%) ve F1-skoru ölçütleri kullanılmıştır. Doğruluk, doğru sınıflandırılan örnek sayısının toplam örnek sayısına oranını ifade ederken, F1-skoru kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Kesinlik, pozitif olarak sınıflandırılan örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu gösterirken; duyarlılık, gerçek pozitif örneklerin ne kadarının doğru şekilde tespit edildiğini göstermektedir. Bu ölçütler hem ikili hem de çok sınıflı senaryolarda sınıflandırıcıların genel başarımını dengeli biçimde yansıtmaktadır [20].

Ayrıca özniteliklerin sınıflandırmaya katkısını belirlemek amacıyla Bilgi Kazanımı (BK) tabanlı öznitelik değerlendirme yöntemi uygulanmıştır [21]. Bilgi kazanımı değerleri, WEKA yazılımında yer alan InfoGainAttributeEval algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bu filtre tabanlı yaklaşım, her bir özniteliğin sınıf etiketine sağladığı bilgi miktarını ölçerek, öznitelikleri ayırt ediciliklerine göre sıralamaktadır. Elde edilen sonuçlar, en bilgilendirici özniteliklerin belirlenmesine olanak sağlayarak modelin şeffaflığını artırmakta ve hesaplama verimliliğini iyileştirmektedir.

Sonuç olarak, yorumlanabilir ve düşük hesaplama karmaşıklığına sahip sınıflandırıcıların sistematik öznitelik seçme yöntemleri ile birlikte kullanılması, güvenilir ve hızlı EEG sinyal sınıflandırması için etkili bir yapı sunmaktadır. Önerilen yaklaşımın düşük işlem yükü ve yüksek performansı, özellikle gerçek zamanlı klinik karar destek sistemleri ile giyilebilir EEG uygulamalarında kullanım potansiyelini artırmaktadır.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada EEG sinyallerinden çıkarılan zaman bölgesi öznitelikleri kullanılarak epileptik nöbet tespiti gerçekleştirilmiştir. Sinyal işleme ve öznitelik çıkarma işlemleri MATLAB ortamında, sınıflandırma ve performans analizleri ise WEKA platformunda gerçekleştirilmiştir. Deneyler Intel Core i5 (12. Nesil) işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde yürütülmüştür. Kullanılan yöntemlerin düşük hesaplama maliyetine sahip olması, önerilen yaklaşımın yüksek işlem gücü gerektirmeden uygulanabildiğini göstermektedir. Bu durum özellikle gerçek zamanlı uygulamalar ve taşınabilir sistemler açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Çalışmada Bonn Üniversitesi Epileptoloji Bölümü tarafından sağlanan ve literatürde yaygın olarak kullanılan EEG veri kümesi tercih edilmiştir. Veri kümesi; sağlıklı bireylerden elde edilen göz açık ve göz kapalı EEG kayıtlarının yanı sıra (A ve B), hasta bireylerin interiktal (C ve D) ve iktal (E) dönemlerine ait sinyalleri içermektedir. Ayrıca veri setinde hem invaziv hem de non-invaziv yöntemlerle elde edilen EEG kayıtlarının bulunması, epileptik nöbet tespit yöntemlerinin değerlendirilmesi açısından zengin bir test ortamı sunmaktadır.

Önceki bölümde belirtilen segmentasyon işlemiyle elde edilen 1000 segment üzerindeki epileptik nöbet tespiti, yalnızca zaman bölgesi öznitelikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş; RO, k-EYK (k=3) ve bu iki yöntemin çoğunluk oylamasına dayalı TÖ sınıflandırıcı performansları karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma aşamasında, öznitelik vektörleri ile eğitilen modeller 10-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Kullanılan öznitelikler; sinyalin istatistiksel yapısını, genlik özelliklerini ve yapısal karmaşıklığını temsil etmektedir. Ortalama, standart sapma, enerji, tepe-tepe genliği, Hjorth parametreleri ve eğim değişimi gibi özniteliklerin epileptik EEG sinyallerini ayırt etmede yeterli bilgi taşıdığı görülmüştür.

Çizelge 2 ve Görsel 2 incelendiğinde, beş sınıflı (A–B–C–D–E) senaryoda RO ve TÖ yaklaşık %86 doğruluk sağlamıştır. Buna karşın, ikili sınıflandırmada (özellikle A–E, B–E ve C–E) %99'un üzerinde doğruluklar raporlanmış; A–E görevinde RO ve TÖ ile %100 doğruluk elde edilmiştir. Bu sonuçlar, epileptik nöbet sırasında oluşan EEG sinyallerinin zaman bölgesinde belirgin genlik artışları, yüksek enerji ve düzensiz yapılar sergilemesiyle açıklanabilir. A-E görevinde standart sapma, enerji ve mutlak ortalama özniteliklerinin BK değerinin tam olarak 1,000 çıkması, bu iki sınıfın zaman bölgesinde doğrusal olarak dahi çok kolay ayrılabildiğini doğrulamaktadır.

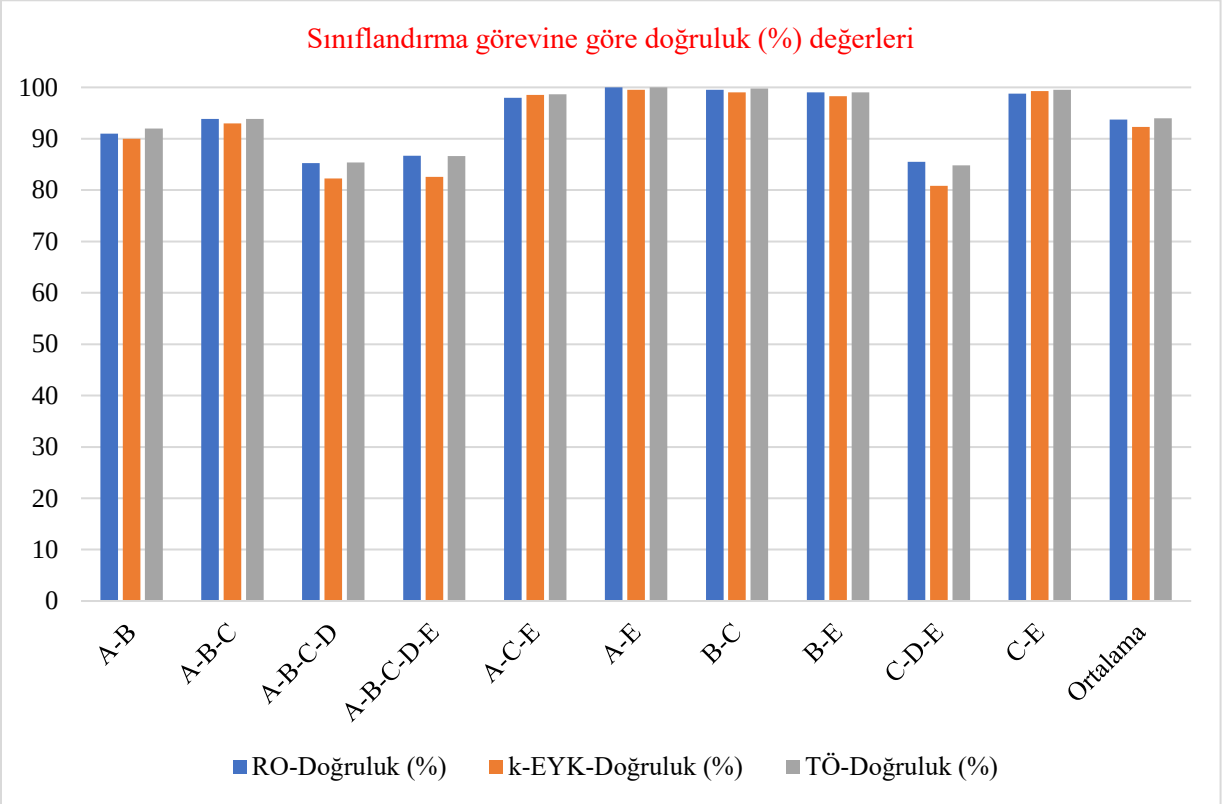
Tüm tablo birlikte değerlendirildiğinde ortalama doğruluk değerleri RO için %93,75, k-EYK için %92,31 ve TÖ için %93,95 olarak hesaplanmıştır. TÖ yöntemi her görevde en yüksek sonucu vermese de genel ortalama açısından en başarılı ve dengeli performansı göstermiştir.

Bu durum, farklı sınıflandırıcıların birlikte kullanılmasının model genellenebilirliğini artırdığını göstermektedir.

Özniteliklerin sınıflandırma başarımına katkıları BK analizi ile incelenmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde standart sapma, enerji, mutlak ortalama, tepe-tepe genliği, maksimum ve minimum değerler gibi genlik tabanlı özniteliklerin, özellikle iktal içeren görevlerde yüksek bilgi kazanımı sağladığı; ortalama ve medyan gibi bazı istatistiksel özniteliklerin ise benzer sınıfların ayrımında daha sınırlı katkı sunduğu belirlenmiştir. Hjorth parametreleri, sinyal karmaşıklığı ve eğim değişimleri gibi dinamik yapısal öznitelikler özellikle çok sınıflı senaryolarda ayırt ediciliği artırmıştır. Ayrıca sıfır geçiş oranı ve eğim değişimi gibi parametrelerin epileptik sinyallerin düzensiz osilasyon yapısını temsil ederek sınıflandırma başarısına katkı sağladığı görülmüştür.

**Çizelge 2. RO, k-EYK (k=3) ve TÖ için 10 Adet Sınıflandırma Görevine ait Doğruluk (%) ve F1-Skorları**

| Sınıflandırma Görevi | RO | | k-EYK (k=3) | | TÖ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Doğruluk (%) | F1-Skor | Doğruluk (%) | F1-Skor | Doğruluk (%) | F1-Skor |
| A-B | 91,00 | 0,910 | 90,00 | 0,900 | 92,00 | 0,920 |
| A-B-C | 93,83 | 0,938 | 93,00 | 0,930 | 93,83 | 0,938 |
| A-B-C-D | 85,25 | 0,852 | 82,25 | 0,821 | 85,37 | 0,853 |
| A-B-C-D-E | 86,70 | 0,867 | 82,60 | 0,825 | 86,60 | 0,865 |
| A-C-E | 98,00 | 0,980 | 98,50 | 0,985 | 98,66 | 0,987 |
| A-E | 100,0 | 1,000 | 99,50 | 0,995 | 100,0 | 1,000 |
| B-C | 99,50 | 0,995 | 99,00 | 0,990 | 99,75 | 0,997 |
| B-E | 99,00 | 0,990 | 98,25 | 0,982 | 99,00 | 0,990 |
| C-D-E | 85,50 | 0,854 | 80,83 | 0,809 | 84,83 | 0,848 |
| C-E | 98,75 | 0,987 | 99,25 | 0,992 | 99,50 | 0,995 |
| Ortalama | 93,75 | 0,937 | 92,31 | 0,922 | 93,95 | 0,939 |




**Görsel 2. Önerilen Yönteme Dayalı İki ve Çok Sınıflı EEG Sınıflandırma Görevleri için Doğruluk (%) Karşılaştırması**

**Çizelge 3. Sınıflandırma Görevlerine Göre BK Yöntemine Dayalı Öznitelik Sıralaması**

| Öznitelik | AB | ABC | ABCD | AE | BC | BE | CDE | CE | ACE | ABCDE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ortalama | 0,000 | 0,343 | 0,350 | 0,198 | 0,344 | 0,206 | 0,029 | 0,041 | 0,189 | 0,333 |
| Standart sapma | 0,362 | 0,276 | 0,248 | 1,000 | 0,091 | 0,911 | 0,762 | 0,921 | 1,032 | 0,806 |
| Medyan | 0,000 | 0,280 | 0,235 | 0,425 | 0,077 | 0,389 | 0,266 | 0,331 | 0,461 | 0,418 |
| Çarpıklık | 0,040 | 0,136 | 0,136 | 0,517 | 0,177 | 0,550 | 0,234 | 0,249 | 0,377 | 0,389 |
| Basıklık | 0,000 | 0,110 | 0,113 | 0,327 | 0,087 | 0,300 | 0,167 | 0,095 | 0,225 | 0,242 |
| Maksimum değer | 0,275 | 0,191 | 0,213 | 0,974 | 0,105 | 0,817 | 0,631 | 0,835 | 0,847 | 0,672 |
| Minimum değer | 0,227 | 0,128 | 0,165 | 0,923 | 0,040 | 0,792 | 0,663 | 0,788 | 0,852 | 0,638 |
| Tepe-tepe genliği | 0,344 | 0,254 | 0,248 | 0,977 | 0,090 | 0,874 | 0,663 | 0,879 | 0,910 | 0,763 |
| Mutlak ortalama | 0,261 | 0,213 | 0,174 | 1,000 | 0,131 | 0,882 | 0,766 | 0,942 | 0,970 | 0,769 |
| Sıfır geçiş oranı | 0,033 | 0,464 | 0,481 | 0,325 | 0,473 | 0,273 | 0,150 | 0,161 | 0,414 | 0,513 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eğim değişimi | 0,371 | 0,373 | 0,275 | 0,866 | 0,324 | 0,380 | 0,738 | 0,845 | 0,823 | 0,663 |
| Hjorth hareketlilik | 0,148 | 0,809 | 0,873 | 0,132 | 0,834 | 0,325 | 0,442 | 0,514 | 0,629 | 0,804 |
| Hjorth karmaşıklık | 0,456 | 1,108 | 1,089 | 0,319 | 0,959 | 0,038 | 0,800 | 0,838 | 0,956 | 1,022 |
| Sinyal karmaşıklığı | 0,432 | 0,681 | 0,593 | 0,862 | 0,596 | 0,625 | 0,807 | 0,846 | 1,052 | 1,020 |
| Enerji | 0,321 | 0,267 | 0,223 | 1,000 | 0,131 | 0,931 | 0,758 | 0,937 | 0,970 | 0,773 |
| Tepe sayısı | 0,044 | 0,052 | 0,061 | 0,497 | 0,000 | 0,248 | 0,146 | 0,200 | 0,329 | 0,216 |
| Doğrusal eğim | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,113 | 0,000 | 0,164 | 0,099 | 0,132 | 0,135 | 0,089 |

Elde edilen bulgular, özniteliklerin ayırt ediciliğinin sınıflandırma senaryosuna bağlı olduğunu ve görev-odaklı öznitelik seçiminin önemini ortaya koymaktadır. Bilgi kazanımına dayalı değerlendirme, modelin yorumlanabilirliğini ve hesaplama verimliliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma yalnızca zaman bölgesi öznitelikleri kullanılarak epileptik nöbetlerin yüksek doğruluk oranları ile tespit edilebileceğini göstermektedir. Önerilen yaklaşım; düşük hesaplama maliyeti, yüksek yorumlanabilirlik ve kararlı sınıflandırma performansı sayesinde özellikle gerçek zamanlı EEG analiz sistemleri, giyilebilir sağlık teknolojileri ve klinik karar destek uygulamaları için uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, EEG sinyallerinden elde edilen zaman bölgesi özniteliklerine dayalı bir epileptik nöbet tespit yaklaşımı geliştirilmiş ve farklı sınıflandırma senaryoları altında performansı değerlendirilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan zaman-frekans dönüşümlerine ihtiyaç duyulmaksızın, ham EEG sinyallerinden çıkarılan istatistiksel ve dinamik özellikler kullanılarak, düşük hesaplama maliyeti ile yüksek sınıflandırma başarıları elde edilmiştir. Ayrıca, 4096 örnekli EEG kayıtlarının iki eşit segmente ayrılmasıyla veri sayısı artırılmış ve nöbetle ilişkili örüntülerin daha ayrıntılı incelenmesi sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, yalnızca zaman bölgesi özniteliklerinin epileptik EEG sinyallerini ayırt etmede yeterli bilgi içerdiğini göstermiştir. Özellikle A–E sınıflandırma probleminde (sağlıklı–iktal ayrımında) %100 doğruluk elde edilmesi, önerilen yaklaşımın etkinliğini ortaya koymaktadır. Bilgi Kazanımı analizi sonucunda standart sapma, enerji, mutlak ortalama ve tepe-tepe genliği gibi özniteliklerin sınıflandırmaya önemli katkı sağladığı belirlenmiştir. Düşük hesaplama maliyeti, yüksek yorumlanabilirlik ve başarılı sınıflandırma performansı sayesinde önerilen yöntemin gerçek zamanlı EEG analiz sistemleri, klinik karar destek uygulamaları ve giyilebilir sağlık teknolojileri için uygulanabilir bir alternatif sunduğu değerlendirilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, önerilen zaman bölgesi tabanlı yapının çok kanallı EEG kayıtları üzerinde test edilmesi, adaptif pencereleme yaklaşımlarıyla desteklenmesi ve derin öğrenme

tabanlı yöntemlerle birlikte değerlendirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca yöntemin gömülü sistemler üzerinde gerçek zamanlı olarak uygulanması ve klinik ortamlarda doğrulanması, çalışmanın pratik kullanıma aktarılması açısından önemli bir araştırma konusu olarak görülmektedir.

## KAYNAKÇA

**1.** Supriya, S., Siuly, S., Wang, H., Zhang, Y. Epilepsy Detection from EEG Using Complex Network Techniques: A Review, IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 16, 292-306, 2021.

**2.** Farooq, M. S., Zulfiqar, A., Riaz, S. Epileptic Seizure Detection Using Machine Learning: Taxonomy, Opportunities, and Challenges, Diagnostics, 13(6), 1058, 2023.

**3.** Alickovic, E., Kevric, J., Subasi, A. Performance Evaluation of Empirical Mode Decomposition, Discrete Wavelet Transform, and Wavelet Packed Decomposition for Automated Epileptic Seizure Detection and Prediction, Biomedical Signal Processing and Control, 39, 94-102, 2018.

**4.** Wang, X., Gong, G., Li, N., Qiu, S. Detection Analysis of Epileptic EEG Using a Novel Random Forest Model Combined with Grid Search Optimization, Frontiers in Human Neuroscience, 13, 52, 2019.

**5.** Sharma, R. R., Varshney, P., Pachori, R. B., Vishvakarma, S. K. Automated System for Epileptic EEG Detection Using Iterative Filtering, IEEE Sensors Letters, 2(4), 1-4, 2018.

**6.** Ghayab, H. R. A., Li, Y., Abdulla, S., Diykh, M., Wan, X. Classification of Epileptic EEG Signals Based on Simple Random Sampling and Sequential Feature Selection, Brain Informatics, 3(2), 85-91, 2016.

**7.** Sharmila, A., Geethanjali, P. Effect of Filtering with Time Domain Features for the Detection of Epileptic Seizure from EEG Signals, Journal of Medical Engineering & Technology, 42(3), 217-227, 2018.

**8.** Andrzejak, R. G., Lehnertz, K., Mormann, F., Rieke, C., David, P., Elger, C. Indications of Nonlinear Deterministic and Finite Dimensional Structures in the Time Series of Brain Electrical Activity: Dependence on Recording Region and Brain State, Physical Review E, 64, 061907, 2001.

**9.** Ikizler, N., Ekim, G. High-Resolution Power Spectral Density Approaches for Epileptic Seizure Detection, Journal of Polytechnic, 1(1), 2025.

**10.** Singh, U. ve Ahirwal, M. K., *Mental Workload Classification for Multitasking Test Using Electroencephalogram Signal*, IEEE International Conference on Technology, Research, and Innovation for Betterment of Society (TRIBES), 1-6, 2021.

**11.** Boonyakitanont, P., Lek-Uthai, A., Chomtho, K., Songsiri, J. A review of feature extraction and performance evaluation in epileptic seizure detection using EEG, Biomedical Signal Processing and Control, 57, 101702, 2020.

**12.** Singh, A. K. Krishnan, S. Trends in EEG signal feature extraction applications, Frontiers in Artificial Intelligence, 5, 1072801, 2023.

**13.** Pamungkas, Y., Data analytics on EEG signal features to distinguish familiar and unfamiliar information in human brain memory, in 2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE), 369–374, IEEE, 2023.

**14.** Rizal, A., Hadiyoso, S., Aulia, S., Wijayanto, I., Triwiyanto, Said, Z. Multiscale Hjorth descriptor on epileptic EEG classification, Journal of Electrical and Computer Engineering, 2023, 4961637.

**15.** Sethy, P. K., Panigrahi, M., Vijayakumar, K., Behera, S. K. Machine learning based classification of EEG signal for detection of child epileptic seizure without snipping, International Journal of Speech Technology, 26(3), 559–570, 2023.

**16.** Hong, K. S., Khan, M. J., Hong, M. J. Feature extraction and classification methods for hybrid fNIRS-EEG brain-computer interfaces, Frontiers in Human Neuroscience, 12, 246, 2018.

**17.** Basri, A., Arif, M. Classification of Seizure Types Using Random Forest Classifier, Advances in Science and Technology Research Journal, 15(3), 2021.

**18.** Na, J., Wang, Z., Lv, S., Xu, Z. An Extended k-Nearest Neighbors-Based Classifier for Epilepsy Diagnosis, IEEE Access, 9, 73910-73923, 2021.

**19.** Jana, R. ve Mukherjee, I., *Patient-Specific and Patient-Independent Seizure Prediction Using Ensemble Learning Technique*, International Conference on Data Science and Network Engineering, Springer Nature Singapore, 2024.

**20.** Vujović, Ž. Classification Model Evaluation Metrics, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 12(3), 599-606, 2021.

**21.** Goshvarpour, A., Goshvarpour, A. An Innovative Information-Based Strategy for Epileptic EEG Classification, Neural Processing Letters, 55(6), 7113-7133, 2023.

# ÇOCUK BESLENMESİNDE EBEVEYN EĞİTİM DÜZEYİNİN ETKİSİ: LİTERATÜR DERLEMESİ

**Ebru YILMAZ**

Nişantaşı Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü

**Dr Öğr. Üyesi Wida SİMZARİ**

Okul Mail Adresi: info@nisantasi.edu.tr genel.sekreterlik@nisantasi.edu.tr

**Amaç :** Bu derlemenin amacı, ebeveyn eğitim düzeyinin çocukların beslenme durumu ve enerji alımı üzerindeki etkisini literatür ışığında değerlendirmektir.

**Yöntem :** Bu çalışma, çocuk beslenmesinde ebeveyn eğitim düzeyinin etkisini değerlendirmek amacıyla hazırlanmış anlatımsal bir literatür derlemesidir. Çalışma kapsamında ulusal ve uluslararası literatür taranmıştır. Literatür taraması, PubMed ve YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taramada "çocuk beslenmesi", "ebeveyn eğitimi", "enerji alımı", "beslenme alışkanlıkları" ve "çocuklarda beslenme durumu" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Son yıllarda yayımlanan araştırma makaleleri, derlemeler ve tez çalışmaları incelenmiş; konu ile ilişkili çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda ebeveyn eğitim düzeyinin çocukların beslenme alışkanlıkları ve enerji alımları üzerindeki etkileri literatür bulguları ışığında değerlendirilmiştir.

**Bulgular ve Tartışma :** İncelenen çalışmalar, ebeveyn eğitim düzeyinin çocukların beslenme alışkanlıkları ve günlük enerji alımları üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Literatürde, eğitim düzeyi yüksek ebeveynlerin çocuklarında düzenli öğün tüketimi, sebze-meyve tüketimi ve dengeli beslenme alışkanlıklarının daha yaygın olduğu bildirilmiştir. Buna karşın, düşük eğitim düzeyine sahip ebeveynlerin çocuklarında fast food ve yüksek enerjili besin tüketiminin daha sık görüldüğü belirtilmektedir. Bazı çalışmalarda ebeveyn eğitim düzeyi ile çocukların enerji alımları arasında anlamlı ilişki saptanırken, bazı çalışmalarda ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı ifade edilmiştir. Bu durumun sosyoekonomik durum, yaşam tarzı, fiziksel aktivite düzeyi ve çevresel faktörler gibi farklı değişkenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

**Sonuç:** Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde, ebeveyn eğitim düzeyinin çocuk beslenmesi üzerinde önemli bir belirleyici olabileceği görülmektedir. Ancak çocukların beslenme durumunun yalnızca ebeveyn eğitim düzeyi ile açıklanamayacağı; sosyoekonomik, çevresel ve davranışsal faktörlerin de etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çocuklarda sağlıklı beslenme alışkanlıklarının geliştirilmesine yönelik müdahalelerde aile eğitiminin dikkate alınmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Konuyla ilgili daha geniş örneklem gruplarıyla yapılacak çalışmaların literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çocuk beslenmesi, ebeveyn eğitimi, enerji alımı, beslenme alışkanlıkları, beslenme durumu

## The Effect of Parental Education Level on Child Nutrition: A Literature Review

**Objective:** The aim of this review is to evaluate the effect of parental education level on children’s nutritional status and energy intake in light of the literature.

**Methods:** This study is a narrative literature review prepared to evaluate the effect of parental education level on child nutrition. Within the scope of the study, national and international literature was reviewed. The literature search was conducted using the PubMed and National Thesis Center of the Council of Higher Education (YÖK) databases. The keywords “child nutrition,” “parental education,” “energy intake,” “dietary habits,” and “nutritional status in children” were used during the search process. Research articles, review articles, and theses published in recent years were examined, and studies related to the subject were included in the evaluation. In line with the obtained data, the effects of parental education level on children’s dietary habits and energy intake were evaluated based on the findings in the literature.

**Results and Discussion:** The reviewed studies indicate that parental education level may have an effect on children’s dietary habits and daily energy intake. In the literature, it has been reported that regular meal consumption, fruit and vegetable intake, and balanced dietary habits are more common among children of parents with higher education levels. In contrast, fast food consumption and intake of high-energy foods are reported to be more frequent among children of parents with lower education levels. While some studies found a significant relationship between parental education level and children’s energy intake, others reported no

statistically significant difference. This inconsistency may be associated with various factors such as socioeconomic status, lifestyle, physical activity level, and environmental factors.

**Conclusion:** Evaluation of the literature suggests that parental education level may be an important determinant of child nutrition. However, children's nutritional status cannot be explained solely by parental education level, as socioeconomic, environmental, and behavioral factors also play significant roles. Considering family education in interventions aimed at improving healthy dietary habits in children is thought to be important. Further studies with larger sample groups are recommended to contribute to the literature.

**Keywords:** Child nutrition, parental education, energy intake, dietary habits, nutritional status

# THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PREGNANCY

**Elif Nursen AY [1*], Ebru GÖZÜYEŞİL [2**]**

* Msc, Student., *Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ebelik, Adana, TÜRKİYE, ayelifnursen@gmail.com*

** *Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik, Adana, TÜRKİYE, ebrugozuyesil@hotmail.com*

## ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is increasingly finding its place in healthcare due to its capacity to process large amounts of data, identify patterns, and support decision-making processes. The reproductive period, which is critically important for protecting maternal and infant health, is one of the areas attracting attention for AI applications. This review is a traditional review and aims to provide up-to-date information on the use of artificial intelligence during pregnancy. Today, AI-based technologies have a wide range of uses, from digital platforms that empower pregnant women to risk prediction models and decision support for imaging systems. The use of AI in care offers significant opportunities in terms of individualized work changes, early detection of potential problems, and growth potential in healthcare. However, various debates continue regarding the diversity of these technologies, efficiency, data freedom, ethical principles, and their integration into clinical applications. AI data should be considered not as a replacement for healthcare professionals, but as tools that enable their clinical assessments. In conclusion, AI is among the important technologies that can shape pregnancy care. However, in this area that mothers and babies can directly benefit from, AI applications need to be developed and used with safe, ethical, and evidence-based treatment.

**Keywords:** Pregnancy, Artificial Intelligence, Maternal Health, Mother-Infant Health

# GEBELİKTE YAPAY ZEKA KULLANIMI

**Elif Nursen AY [1*], Ebru GÖZÜYEŞİL [2**]**

* Yüksek Lisans Öğrenci., *Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ebelik, Adana, TÜRKİYE, ayelifnursen@gmail.com*

*** Prof.Dr., Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik, Adana, TÜRKİYE, ebrugozuyesil@hotmail.com*

## Özet

Yapay zeka, büyük miktardaki veriyi işleyebilme, örüntüleri tanımlayabilme ve karar verme süreçlerini destekleyebilme kapasitesi sayesinde sağlık hizmetlerinde giderek daha fazla yer bulmaktadır. Anne ve bebek sağlığının korunması açısından kritik öneme sahip olan gebelik dönemi de yapay zeka uygulamalarının dikkat çektiği alanlardan biridir. Bu derleme, geleneksel derleme türünde olup gebelik dönemde yapay zeka uygulamaları hakkında güncel bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Günümüzde yapay zeka tabanlı teknolojiler; gebelerin bilgiye erişimini destekleyen dijital platformlardan risk öngörü modellerine, görüntüleme sistemlerinden karar destek mekanizmalarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Gebelik bakımında yapay zekanın kullanımı, bireyselleştirilmiş bakım sunulması, olası komplikasyonların erken dönemde fark edilmesi ve sağlık hizmetlerinin etkinliğinin artırılması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte bu teknolojilerin doğruluğu, güvenilirliği, veri gizliliği, etik ilkeler ve klinik uygulamalara entegre edilebilmesi konusunda çeşitli tartışmalar devam etmektedir. Yapay zeka sistemlerinin sağlık profesyonellerinin yerini alan değil, onların klinik değerlendirmelerini destekleyen araçlar olarak ele alınması önem taşımaktadır. Sonuç olarak yapay zeka, gebelik bakımının geleceğini şekillendirebilecek önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Ancak anne ve bebek sağlığını doğrudan etkileyen bu alanda yapay zeka uygulamalarının güvenli, etik ve kanıta dayalı bir yaklaşımla geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gebelik, Yapay Zeka, Maternal Sağlık, , Anne-Bebek Sağlığı

## 1.Giriş

Teknolojik gelişmelerin sağlık alanına yansımasıyla birlikte dijital sağlık uygulamaları ve yapay zeka destekli sistemlerin kullanımı son yıllarda belirgin şekilde artmıştır (WHO, 2024). Yapay zeka, özellikle büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi temelli algoritmalar aracılığıyla sağlık hizmetlerinde karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir (Due et al., 2023). Dünya Sağlık Örgütü, yapay zeka uygulamalarının sağlık hizmetlerine erişimi artırma potansiyeline sahip olduğunu, ancak güvenlik, etik ve doğruluk açısından dikkatli şekilde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir (WHO, 2024).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, gebelik bakımında yapay zeka ve dijital sağlık uygulamalarının giderek daha fazla kullanıldığını göstermektedir. Mobil sağlık uygulamaları; gebelik takibi, semptom izleme ve bilgilendirme süreçlerinde anne adaylarına destek sağlayan yaygın araçlar haline gelmiştir (Mazaheri, 2024). Ayrıca bu uygulamaların kullanılabilirliği ve kalitesi üzerine yapılan sistematik incelemeler, gebelik döneminde dijital araçların önemli bir sağlık destek sistemi haline geldiğini ortaya koymaktadır (van et al., 2023).

Bunun yanında yapay zeka tabanlı sistemlerin tıbbi görüntüleme alanında kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle ultrason görüntülerinin analizi, fetal değerlendirme ve riskli gebeliklerin erken tespiti gibi alanlarda yapay zeka algoritmalarının klinik süreçleri destekleyebildiği gösterilmektedir (Lin et al., 2024). Yapay zeka destekli modellerin gebelik komplikasyonlarını öngörmede yüksek doğruluk oranlarına ulaşabildiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Horgan et al., 2023; Bertini et al., 2022). Bu gelişmeler, yapay zekanın gebelik bakımında yalnızca bilgiye erişimi kolaylaştıran bir araç değil, aynı zamanda klinik karar süreçlerini destekleyen bir teknoloji olarak da değerlendirildiğini göstermektedir (Due et al., 2023). Ancak bu sistemlerin sağlık profesyonellerinin yerini almaması ve klinik değerlendirmelerle birlikte kullanılması ve bu alanda yapılacak daha fazla çalışmanın yapay zekaya yönelik önyargıların azalmasına katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (WHO, 2024; Lin et al., 2024).

## 2. Yapay Zeka Kavramı

Yapay zeka, insan benzeri öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme yeteneklerini taklit edebilen bilgisayar sistemlerini ifade etmektedir (TÜBİTAK, 2023). Bu sistemler, verilerden öğrenerek belirli görevleri yerine getirebilmekte ve zaman içinde performanslarını geliştirebilmektedir. Yapay zeka, temel olarak veriler üzerinden çalışan ve bu verilerdeki örüntüleri analiz ederek tahmin veya sınıflandırma yapabilen algoritmalara dayanmaktadır. Bu yaklaşım, geleneksel programlamadan farklı olarak sabit kurallar yerine veri temelli öğrenme prensibi ile çalışmaktadır (Janiesch et al., 2021).

Yapay zekanın önemli alt alanlarından biri makine öğrenmesidir. Makine öğrenmesi, sistemlerin açık bir şekilde programlanmadan verilerden öğrenmesini sağlayan yöntemleri kapsamaktadır. Derin öğrenme ise makine öğrenmesinin bir alt dalı olup, çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla daha karmaşık veri yapılarını analiz edebilmektedir (Taye, 2023). Doğal

dil işleme (NLP), yapay zekanın bir diğer önemli alanıdır ve bilgisayarların insan dilini anlayabilmesini, yorumlayabilmesini ve üretebilmesini sağlamaktadır. Bu teknoloji, özellikle metin tabanlı veri analizi ve insan-bilgisayar etkileşiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Janiesch et al., 2021).

Bunun yanı sıra yapay zeka sistemleri farklı kategorilere ayrılmaktadır. Dar yapay zeka (narrow AI), belirli bir görevi yerine getirmek üzere tasarlanmış sistemleri ifade ederken; genel yapay zeka (general AI), insan benzeri geniş bilişsel yeteneklere sahip teorik sistemleri tanımlamaktadır (Greif, 2022). Günümüzde kullanılan yapay zeka uygulamalarının büyük çoğunluğu dar yapay zeka sınıfında yer almaktadır. Yapay zeka, büyük veri setlerinin işlenmesi ve hesaplama kapasitesinin artmasıyla birlikte sağlık, mühendislik ve günlük yaşam gibi birçok alanda giderek daha yaygın hale gelmiştir (Nabi et al., 2023).

## 3. Yapay Zeka Tabanlı Teknolojilerin Gebelikte Kullanımı

Uluslararası literatürde yapay zeka teknolojilerinin sağlık alanındaki kullanımı, özellikle dijital sağlık sistemlerinin gelişimi ile birlikte hızla artış göstermektedir. Yapay zeka teknolojileri, gebelerin gebelik sürecine ilişkin bilgiye erişim, semptom takibi, sağlık izlemi ve kişiselleştirilmiş destek hizmetlerinden yararlanmasında giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle yapay zeka destekli mobil sağlık uygulamaları, gebelik haftasına uygun bilgilendirmeler sunmakta, anne adaylarının yaşadığı belirtileri değerlendirmekte ve gebelik sürecinin takibini kolaylaştırmaktadır. Güncel araştırmalar, gebelerin yarısından fazlasının gebelikle ilgili bilgi edinmek ve gebeliklerini takip etmek amacıyla yapay zekadan yararlandığını göstermektedir (Nissen ve ark., 2024; Lin et al,. 2023).

Bu kapsamda gebelikte kullanılan yapay zeka temelli sistemler; yapay zeka destekli chatbotlar, üretken yapay zeka (generative AI) tabanlı sistemler, mobil gebelik uygulamaları, antenatal eğitim chatbotları, sanal asistanlar, risk değerlendirme modelleri ve yapay zeka destekli ultrason analiz sistemleri gibi farklı kategorilere ayrılmaktadır (Due el al., 2023; Correria et al., 2025). Son yıllarda yapay zeka ile desteklenen giyilebilir teknolojiler de gebelik izlemi alanında önem kazanmıştır. Bu sistemler; fetal hareketler, uterin kontraksiyonlar, kalp hızı ve diğer fizyolojik verileri analiz ederek anne adaylarının sağlık durumunu ev ortamında takip etmelerine olanak sağlamaktadır. Yapay zeka algoritmaları sayesinde elde edilen veriler değerlendirilmekte ve olası risk durumlarına ilişkin erken uyarılar oluşturulabilmektedir (Liu ve ark., 2024).

Tüm bu sistemler, özellikle kullanıcıların gebelikle ilgili sorularına hızlı yanıt verebilmesi, semptomları yorumlamaya yardımcı olması ve gebelik sürecine ilişkin genel bilgilendirme sağlaması açısından yaygın olarak tercih edilmektedir.

Mobil sağlık uygulamalarına yönelik uluslararası çalışmalar, gebelik sürecinde kullanılan dijital araçların anne adaylarının sağlık davranışlarını olumlu yönde etkileyebildiğini ve sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırabildiğini ortaya koymaktadır (Mazaheri, 2024). Ancak aynı zamanda bu uygulamaların içerik kalitesi, bilimsel doğruluk düzeyi ve düzenleyici standartlar

açısından ülkeler arasında farklılık gösterdiği de vurgulanmaktadır (Mazaheri, 2024). Bunun yanında yapay zeka destekli görüntüleme sistemlerinin obstetrik ultrason gibi alanlarda kullanımının arttığı ve bu sistemlerin özellikle anomali tespiti ve görüntü yorumlama süreçlerinde klinik kararları destekleyebildiği bildirilmektedir (van et al., 2023; Litjens et al., 2017). Ancak literatürde, bu sistemlerin klinik uzman değerlendirmesinin yerini almaması gerektiği ve yalnızca yardımcı araç olarak kullanılmasının önerildiği ifade edilmektedir (WHO, 2024). Genel olarak uluslararası çalışmalar, yapay zeka teknolojilerinin gebelik bakımında önemli fırsatlar sunduğunu, ancak güvenilirlik, veri gizliliği, algoritmik şeffaflık ve klinik doğrulama süreçlerinin geliştirilmesine ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Yapay zeka sistemlerinin kullanımında avantajlar ile birlikte bazı sınırlılıklar ve dezavantajlar da bulunmaktadır. Literatürde, bu dijital araçların en önemli avantajları arasında bilgiye hızlı erişim sağlaması, bireyselleştirilmiş takip imkanı sunması ve sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırması yer almaktadır (Due el al., 2023). Ayrıca mobil uygulamaların gebelik sürecinde yaşam tarzı değişikliklerini destekleme, semptom takibi yapma ve kullanıcıyı bilinçlendirme açısından faydalı olabileceği bildirilmektedir (Mazaheri, 2024).

Yapay zeka sistemlerinin kullanımındaki bazı sınırlılıklar ve dezavantajlar ise özellikle mobil uygulamalarda yer alan bilgilerin doğruluğu, güncelliği ve bilimsel temele dayanma düzeyi değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca yapay zeka tabanlı sistemlerin yanlış veya eksik bilgi üretme riski, kullanıcıların sağlık kararlarını olumsuz etkileyebilme potansiyeli taşımaktadır (Lin et al., 2024). Yapay zeka sistemleri, özellikle büyük dil modelleri, zaman zaman ‘halüsinasyon’ olarak adlandırılan biçimde gerçeğe aykırı ancak ikna edici bilgiler üretebilmektedir (Kung et al., 2023). Sağlık alanında bu tür yanlış bilgiler klinik karar destek süreçlerinde hatalı yönlendirmelere neden olabileceğinden ciddi bir risk oluşturabilmektedir (Harrison et al., 2022). Yapay zeka sistemlerine aşırı güven duyulması, sağlık profesyonellerine danışmadan ve doğrulama yapmadan önerileri kabul etme eğilimi oluşturabilir (Oscar et al., 2023). Ayrıca mobil sağlık uygulamaları ve yapay zeka tabanlı danışman sistemler, güncel olmayan veya eksik veriyle çalıştığında yanlış yönlendirme yapabilir. Her ne kadar yapay zekanın kullanımı avantajlar sağlasa da, dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Chatbotlar ve üretken yapay zeka sistemleri, kullanıcı etkileşimini artırsa da klinik değerlendirme yerine geçmemeleri gerektiği vurgulanmaktadır. Bu sistemlerin tıbbi tanı koyma amacıyla kullanılmasının sakıncalar yaratacağı ve hastanın değerlendirilmesinde sağlık profesyonellerinin yerini alması noktasında pek çok önemli sınırlılıklar içerdiği belirtilmektedir (Due et al., 2023).

Benzer şekilde yapay zeka destekli ultrason ve risk değerlendirme sistemleri, klinik karar süreçlerine yardımcı olsa da nihai kararın sağlık profesyonelleri tarafından verilmesi gerektiği bildirilmektedir (Lin et al., 2024). Genel olarak literatür, yapay zeka tabanlı uygulamaların gebelik bakımında önemli fırsatlar sunduğunu ancak güvenilirlik, doğruluk, veri gizliliği ve klinik entegrasyon açısından daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (WHO, 2024).

## 4.Sonuç

Yapay zeka teknolojileri gebelik sürecinde bilgiye erişim, izlem ve karar destek süreçlerinde giderek daha fazla kullanılan araçlar haline gelmiştir. Mobil uygulamalar, chatbotlar, sanal asistanlar ve görüntüleme destekli sistemler bu alanda öne çıkan başlıca uygulamalardır. Mevcut literatür, bu sistemlerin anne adaylarına hızlı bilgi sunma ve gebelik sürecini destekleme açısından önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, üretilen bilginin doğruluğu, veri güvenliği ve klinik güvenilirlik gibi konular hala önemli bir tartışma alanıdır. Yapay zeka uygulamalarının klinik kararların yerine geçmemesi, yalnızca sağlık profesyonellerini destekleyici araçlar olarak kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır

Sonuç olarak yapay zeka, gebelik bakımında önemli bir potansiyel taşımakta; ancak güvenli, etik ve etkili kullanım için daha fazla klinik araştırmaya ve standartlaştırılmış yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra, anne adaylarının ve toplumun dijital sağlık okuryazarlığının artırılması, bu teknolojilerin doğru ve bilinçli kullanımını destekleyerek olası risklerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

## KAYNAKLAR

1. World Health Organization. (2024). Ethics and governance of artificial intelligence for health.
2. Du, Y., McNestry, C., Wei, L., Antoniadi, A. M., McAuliffe, F. M., & Mooney, C. (2023). Machine learning-based clinical decision support systems for pregnancy care: A systematic review. International Journal of Medical Informatics, 173, 105040.
3. Mazaheri Habibi, M. R., Moghbeli, F., & Langarizadeh, M. (2024). Mobile health apps for pregnant women usability and quality rating scales: A systematic review. BMC Pregnancy and Childbirth, 24, 34.
4. van den Heuvel, J. F. M., Groenhof, T. K. J., Veerbeek, J. H. W., van Solinge, W. W., Lely, A. T., & Franx, A. (2023). eHealth as the next-generation perinatal care: An overview of the literature. BMC Pregnancy and Childbirth, 23(1), 112–119.
5. Lin, X., Liang, C., Liu, J., et al. (2024). Artificial intelligence-augmented clinical decision support systems for pregnancy care: Systematic review. Journal of Medical Internet Research, 26, e54737.
6. Horgan, R., Nehme, L., & Abuhamad, A. (2023). Artificial intelligence in obstetric ultrasound: A scoping review. Prenatal Diagnosis, 43(9), 1176–1219.
7. TÜBİTAK. (2023). Yapay zeka ve makine öğrenmesi.
8. Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. Electronic Markets, 31, 685–695.
9. Taye, M. M. (2023). Understanding of machine learning with deep learning: Architectures, workflow, applications and future directions. Computers, 12(5), 91.
10. Greif, H., & colleagues. (2022). The Switch, the Ladder, and the Matrix: Models for classifying AI systems. Minds and Machines, 32, 111–133.
11. Nabi, J., et al. (2023). Artificial intelligence in healthcare: A review. Artificial Intelligence Review / ScienceDirect review literature.
12. Correia, V., Mascarenhas, T., & Mascarenhas, M. (2025). Smart Pregnancy: AI-Driven Approaches to Personalised Maternal and Foetal Health-A Scoping Review. Journal of clinical medicine, 14(19), 6974.
13. Kung, T. H., Cheatham, M., Medenilla, A., Sillos, C., De Leon, L., Elepano, C., Madriaga, M., Aggabao, R., Diaz-Candido, G., Maningo, J., & Tseng, V. (2023).

Performance of ChatGPT on USMLE: Potential for AI-assisted medical education using large language models. PLOS Digital Health, 2(2), e0000198.

14. Harrison, S., Despotou, G., & Arvanitis, T. N. (2022). Hazards for the Implementation and Use of Artificial Intelligence Enabled Digital Health Interventions, a UK Perspective. Studies in health technology and informatics, 289, 14–17.
15. Litjens, G., et al. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis, 42, 60–88.
16. van Schie, M., et al. (2023). AI in obstetric ultrasound imaging: A systematic review. Diagnostics, 13(4), 712.
17. Carrandi, A., Brall, C., Schuermans, J., Gutierrez-Ibarluzea, I., & Kristensen, F. B. (2023). Artificial intelligence and digital technologies in maternal healthcare: Opportunities and challenges. Digital Health, 9, 1–12.
18. Liu, L., Pu, Y., Fan, J., Yan, Y., Liu, W., Luo, K., et al. (2024). Wearable sensors, data processing, and artificial intelligence in pregnancy monitoring: A review. Sensors, 24(19), 6426.
19. Nissen, K., Lindhardt, C. L., Rubak, S., Mogensen, O., & Lamont, R. F. (2024). Pregnant women’s use of mobile applications and digital technologies during pregnancy: A systematic review. BMC Pregnancy and Childbirth, 24, 703.
20. Bertini et al., 2022 – Using Machine Learning to Predict Complications in Pregnancy: A Systematic Review.

# SOSYAL MEDYA VE "MÜKEMMEL ANNELİK BASKISI": GÜNCEL LİTERATÜR DERLEMESİ

**Selver ÖZGÜL**

Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Sivas/ Türkiye

ozgulselver60@gmail.com

**Dr. Öğr. Üyesi Nuriye ERBAŞ**

Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi,Hemşirelik Bölümü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Sivas/ Türkiye

nerbas2006@gmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0001-9141-2382

## ÖZET

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte annelerin sosyal medyada zaman geçirme sıklıkları artmakta olduğu görülmektedir. Özellikle kısa video paylaşım platformları İnstagram, TikTok ve Facebook gibi sitelerde kusursuz beden, mutlu çocuklar, organize ev ve iş hayatı temsilleri kadınlar üzerinde ideal annelik kavramının tanımını yeniden üretmektedir. Toplum tarafından öne sürülen mükemmel annelik baskısı annelerde stres, kaygı, yetersizlik ve suçluluk hissi ve yoğun depresyona neden olmaktadır. Bu durum ebeveyn öz yeterliliğinin azalmasıyla sorunlu aile ilişkilerini de beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda dijital platformların etkin kullanılmasıyla bilgilere kolay erişilebilir olması ve annelerin sosyal medyada paylaşım yaparak destek ağı oluşturmaları gibi olumlu etkileri de vardır. Bu derlemenin amacı sosyal medya ve mükemmel annelik baskısı arasındaki ilişkiyi incelemek için son beş yılda yayımlanan yirmi makale taranmıştır.

## ABSTRACT

With the rapid acceleration of digitalization, it is observed that mothers spend an increasing amount of time on social media. Representations of perfect bodies, happy children, and organized home and work lives especially on short-form video and sharing platforms such as Instagram, TikTok, and Facebook reproduce the definition of ideal motherhood for women. The pressure of 'perfect motherhood' imposed by society causes stress, anxiety, feelings of inadequacy and guilt, and severe depression in mothers. This situation leads to troubled family relationships along with a decrease in parental self-efficacy. Conversely, the effective use of digital platforms also has positive effects, such as providing easy access to information and

allowing mothers to build social support networks by sharing content. The purpose of this review is to examine the relationship between social media and the pressure of perfect motherhood; to this end, twenty articles published within the last five years were reviewed.

**Anahtar Kelimeler**: Sosyal medya, yoğun annelik, dijital platform postpartum depresyon ve anne mental sağlığı

## GİRİŞ

### SOSYAL MEDYA

Sosyal medya, bireylerin bilgiye erişim, deneyim paylaşımı ve etkileşim kurma süreçlerini kolaylaştıran dijital platformlar olarak tanımlanmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte sosyal medya kullanım sıklığı artmış ve özellikle ebeveynlik süreçlerinde önemli bir bilgi kaynağı haline gelmiştir. Gebe ve postpartum dönemdeki kadınlar; gebelik, doğum, emzirme ve bebek bakımı ile ilgili bilgi edinmek amacıyla sıklıkla sosyal medya platformlarını kullanmaktadır. Bununla birlikte sosyal medyada yer alan içeriklerin doğruluğunun her zaman güvenilir olmaması bilgi kirliliği riskini de beraberinde getirmektedir (Özbey, 2022; Epstein ve ark., 2023; Conrad, 2024).

### MÜKEMMEL EBEVEYNLİK VE YOĞUN ANNELİK BASKISI

Mükemmel ebeveynlik, ebeveynlerin çocuklarının gelişimi için sürekli fedakârlık göstermesi ve ebeveynlik rollerini kusursuz biçimde yerine getirmesi gerektiğini savunan toplumsal bir ideolojidir. Literatürde bu baskının özellikle anneler üzerinde daha yoğun hissedildiği bildirilmektedir. Toplum tarafından idealize edilen annelik anlayışı, kadınlarda yetersizlik, suçluluk, stres ve kaygı duygularının gelişmesine neden olabilmektedir (Venard ve ark., 2024).

Yoğun annelik kavramı ise annelerin çocuklarının ihtiyaçlarını kendi ihtiyaçlarının önünde tutmasını, çocuk bakımına yoğun zaman ve emek ayırmasını öngören bir yaklaşımı ifade etmektedir. Geleneksel toplumsal cinsiyet rolleri ve bakım sorumluluğunun büyük ölçüde anneye yüklenmesi, kadınların annelik rollerini sorgulamalarına ve kimlik çatışmaları yaşamalarına neden olabilmektedir (Williamson ve ark., 2023).

## SOSYAL MEDYA VE MÜKEMMEL ANNELİK BASKISINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Literatürde sosyal medya kullanımının annelerde ve gebe kadınlarda kaygı, yetersizlik hissi, sosyal karşılaştırma ve mükemmel annelik baskısını artırdığı yönünde paralel sonuçlar bildiren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar sıralandığında; Delgado-Pérez ve ark. (2021), Lazard (2022), Lankes (2022), Barbero-Mauri ve ark. (2023), Tate (2023), Williamson ve ark. (2023), Bozan ve Cangöl (2023), Chee ve ark. (2023), Venard ve ark. (2024), Muskens ve ark. (2024), Conrad (2024), Henrich ve ark. (2024), Kahraman ve Özbaşaran (2024), Tosun ve Özkan (2025), Aftab (2025) ve Iacona ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sosyal

medya ve toplumsal annelik ideallerinin kadınlarda psikolojik baskı oluşturduğunu göstermektedir. Bu araştırmalarda sosyal karşılaştırmanın artması, yoğun annelik standartlarının yeniden üretilmesi, annelerin yetersizlik ve suçluluk hissetmeleri, kaygı düzeylerinin yükselmesi ve ebeveyn öz yeterliliğinin olumsuz etkilenmesi ortak sonuçlar olarak öne çıkmaktadır.

Ancak literatürde sosyal medyanın yalnızca olumsuz etkiler oluşturmadığını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Rosenbaum ve ark. (2024), sosyal medya kullanımının türü ve süresinin önemli olduğunu, hedefe yönelik ve sınırlı kullanımın beden algısı üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Sobowale ve ark. (2025) ise postpartum depresyon yaşayan annelerin sosyal medya aracılığıyla deneyimlerini paylaşarak yalnız olmadıklarını hissettiklerini ve sosyal destek elde ettiklerini göstermiştir. Benzer şekilde Kahraman ve Özbaşaran (2024), Conrad (2024), Henrich ve ark. (2024) ve Chee ve ark. (2023) sosyal medyanın bilgiye erişim, deneyim paylaşımı ve destek ağı oluşturma açısından yararlı yönlerine dikkat çekmiştir.

Buna karşılık Epstein ve ark. (2023) sosyal medya ortamının bireylerin doğru bilgi ile yanlış bilgiyi ayırt etmesini zorlaştırabildiğini belirtirken, Aftab (2025) sosyal medya kullanımının aşırı olması durumunda sosyal karşılaştırma ve kaygı düzeylerinde artış görülebileceğini vurgulamıştır. Bu bulgular sosyal medyanın etkilerinin kullanım biçimine, içeriğin niteliğine ve bireysel özelliklere göre değişebileceğini göstermektedir.

## SONUÇ

İnternetin yaygınlaşmasıyla sosyal medya ve diğer dijital platformların kullanımı hız kazanmaktadır. Ancak dijital platformlarda sunulan ideal annelik betimlemeleri anneler üzerinde yoğun baskıya neden olmaktadır. Literatürde mükemmel annelik baskısının sonucunda annelerde, kaygı, stres yetersizlik ve suçluluk hissinin meydana gelebilmektedir. Bunun yanı sıra annelerin doğru kaynaklardan aldıkları bilgilerin kolay erişilebilir olması ve sosyal medyada paylaşım yaparak diğer benzer sorunları yaşayan kadınlar ile birbirlerine destek olmaları anne ruh sağlığı açısından olumlu etki olarak da görülmektedir. Burada sağlık profesyonellerine büyük sorumluluk düşmektedir. Bakım verdikleri bireylerin sosyal medyadaki bilgi kirliliğine karşı eleştirel biçimde değerlendirmeleri gerektiği vurgulanmalıdır. Ayrıca doğru kaynaklara nereden erişebilecekleri gösterilmelidir. Sağlık okuryazarlığı günümüzde yaygınlaşan bilgi kirliliğine karşı çok önemli bir savunma sistemidir. Annelerin dijital platformlarda farkındalık becerilerinin gelişmesi sağlıklı bir ebeveynlik için oldukça önemlidir.

## KAYNAKÇA

1. `Aftab N. (2025). Social Media Use During Pregnancy: Risks and Benefits for Women's Health. Cureus, 17(8), e90410. https://doi.org/10.7759/cureus.90410`
2. `Bağrici Bozan, M., & Cangöl, E. (2023). Prevalence and causes of social media usage and addiction status of pregnant women. BMC women's health, 23(1), 655. https://doi.org/10.1186/s12905-023-02787-1`
3. `Epstein, Z., Sirlin, N., Arechar, A., Pennycook, G., & Rand, D. (2023). The social media context interferes with truth discernment. Science advances, 9(9), eabo6169. https://doi.org/10.1126/sciadv.abo6169`
4. `Rosenbaum, D. L., Gillen, M. M., & Hutson, D. J. (2024). The relationship between social media use and pregnancy-related body image. Women's health (London, England), 20, 17455057241309496. https://doi.org/10.1177/17455057241309496`
5. Barbero-Mauri, G., Hernández-Cordero, A. L., & López-del Hoyo, Y. (2023). Breaks and continuities in intensive mothering on Facebook. the case of Malasmadres and Pequefelicidad. Feminist Media Studies, 23(5), 2374–2390. https://doi.org/10.1080/14680777.2022.2053867
6. Beyaz Özbey, İ. (2022). DIJITALLEŞME, SOSYAL MEDYA VE RISK TOPLUMU. İmgelem, 6(10), 141-158. https://doi.org/10.53791/imgelem.1053815
7. Chee, R. M., Capper, T. S., & Muurlink, O. T. (2023). The impact of social media influencers on pregnancy, birth, and early parenting experiences: A systematic review. Midwifery, 120, 103623. https://doi.org/10.1016/j.midw.2023.103623
8. Conrad M. (2024). Health information-seeking internet behaviours among pregnant women: a narrative literature review. Journal of reproductive and infant psychology, 42(2), 194–208. https://doi.org/10.1080/02646838.2022.2088711
9. Delgado-Pérez, E., Yuste-Sánchez, M. J., Pérez-Martín, Y., Abuín-Porras, V., & Rodríguez-Costa, I. (2021). New Motherhood Concepts, Implications for Healthcare. A Qualitative Study. International journal of environmental research and public health, 18(24), 13118. https://doi.org/10.3390/ijerph182413118
10. Henrich, N., Brinson, A., Arnold, A., & Jahnke, H. R. (2024). Digital Health Needs and Preferences During Pregnancy and the Postpartum Period: Mixed Methods Study. JMIR formative research, 8, e48960. https://doi.org/10.2196/48960
11. Iacona, E., Masina, M., & Testoni, I. (2025). Maternal Regret and the Myth of the Good Mother: A Psychosocial Thematic Analysis of Italian Women in a Patriarchal Culture. Behavioral sciences (Basel, Switzerland), 15(11), 1433. https://doi.org/10.3390/bs15111433
12. Kahraman, A., & Özbaşaran, F. (2024). SOSYAL MEDYADA ANNELİK. Çekmece Sosyal Bilimler Dergisi, 11(23), 92-103. https://doi.org/10.55483/cekmece.1346548
13. Lankes, Jane. (2022). Negotiating “Impossible” Ideals: Latent Classes of Intensive Mothering in the United States. Gender & Society. 36. 089124322211148. 10.1177/08912432221114873.
14. Lazard, L. (2022). Digital mothering: Sharenting, family selfies and online affective-discursive practices. Feminism & Psychology, 32(4), 540-558.
15. Muskens, L., Boekhorst, M. G. B. M., Pop, V. J. M., & van den Heuvel, M. I. (2024). Browsing throughout pregnancy: The longitudinal course of social media use during pregnancy. Midwifery, 129, 103905. https://doi.org/10.1016/j.midw.2023.103905

16. Sobowale, K., Castleman, J. S., & Zhao, S. Y. (2025). Postpartum Depression and Maternal-Infant Bonding Experiences in Social Media Videos: Qualitative Content Analysis. JMIR infodemiology, 5, e59125. https://doi.org/10.2196/59125
17. Tate M. K. (2023). The Impact of Social Comparison via Social Media on Maternal Mental Health, within the Context of the Intensive Mothering Ideology: A Scoping Review of the Literature. Issues in mental health nursing, 44(9), 854–870. https://doi.org/10.1080/01612840.2023.2238813
18. Tosun, H., & Özkan, H. (2025). Sosyal Medya Anadili Olan Annelerde Sorunlu Sosyal Medya Kullanımı ve Emzirme Davranışları ve Kaygı ile İlişkisi: Karma Yöntemli Bir Çalışma. *Sağlık Hizmetleri , 13* (17), 2216. https://doi.org/10.3390/healthcare13172216
19. Venard, G., Zimmermann, G., Antonietti, J. P., Nunes, C. E., & Van Petegem, S. (2024). Parenting Under Pressure: Associations between Perceived Social Pressure and Parental Involvement among Mothers and Fathers. Journal of child and family studies, 33(12), 3813–3825. https://doi.org/10.1007/s10826-024-02945-5
20. Williamson, T., Wagstaff, D. L., Goodwin, J., & Smith, N. (2023). Mothering Ideology: A Qualitative Exploration of Mothers' Perceptions of Navigating Motherhood Pressures and Partner Relationships. Sex roles, 88(1-2), 101–117. https://doi.org/10.1007/s11199-022-01345-7

# ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ OKURYAZARLIĞI

**Mehmet Nur İMTAN**

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi**

**(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)**

**mehmetnur.imtan@gmail.com ORCID ID: 0009-0001-8390-8721**

**Ahmet Remzi BAYIR**

**(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)**

**ahmetbayir69@gmail.com ORCID ID: 0009-0004-7985-0784**

**Prof. Dr. Nuran GÜLER**

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik İş Sağlığı ve Güvenliği, Sivas, Türkiye**

**nuranguler@yahoo.com.tr ORCID ID: 0000-0001-8703-3494**

## Özet

İş sağlığı okuryazarlığı, bireylerin çalışma ortamında karşılaşabilecekleri riskleri tanıyabilmesi, güvenli davranış geliştirebilmesi ve iş sağlığı ile ilgili bilgileri doğru şekilde kullanabilmesi açısından önemli bir kavramdır. Özellikle üniversite öğrencileri geleceğin çalışanlarını oluşturduğu için bu grubun iş sağlığı konusunda bilinçli olması büyük önem taşır. Üniversite döneminde kazanılan bilgi ve farkındalık, bireylerin ilerleyen çalışma yaşamındaki davranışlarını doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle iş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi hem bireysel sağlık hem de toplumsal güvenlik açısından önemli bir gereklilik olarak görülmektedir.

Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin iş sağlığı okuryazarlığı düzeyi ele alınmıştır. Çalışmada öncelikle iş sağlığı ve güvenliği kavramı ile iş sağlığı okuryazarlığı açıklanmıştır. Ardından öğrencilerin iş sağlığı okuryazarlığını etkileyen faktörler değerlendirilmiş, risk farkındalığı ve güvenlik kültürü üzerindeki etkiler incelenmiştir. Eğitim düzeyi, bölüm farklılıkları, dijital

medya kullanımı ve çalışma deneyimlerinin öğrencilerin iş sağlığı bilinci üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanında iş sağlığı okuryazarlığının bireysel ve mesleki yaşam üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmada iş sağlığı konusunda bilinçli bireylerin riskleri daha kolay fark ettiği, güvenlik kurallarına daha fazla dikkat ettiği ve koruyucu davranış geliştirme konusunda daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca üniversitelerde verilen iş sağlığı eğitimleri, seminerler ve uygulamalı çalışmaların öğrencilerin güvenlik kültürünün gelişmesine katkı sağladığı belirlenmiştir. İş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi sayesinde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının azaltılmasına katkı sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İş sağlığı, iş sağlığı okuryazarlığı, üniversite öğrencileri, risk farkındalığı, güvenlik kültürü

## Abstract

Occupational health literacy is an important concept that enables individuals to recognize risks encountered in working environments, develop safe behaviors, and use occupational health information correctly. University students represent the future workforce; therefore, their awareness of occupational health issues is highly important. Knowledge and awareness gained during university education can directly influence individuals' future professional behaviors. For this reason, improving occupational health literacy is considered an important necessity for both individual well-being and social safety.

This study discusses the occupational health literacy levels of university students. First, the concepts of occupational health and safety and occupational health literacy are explained. Then, the factors affecting occupational health literacy, risk awareness, and safety culture among students are evaluated. Educational level, department differences, digital media use, and work experiences were found to influence students' occupational health awareness. In addition, the individual and professional effects of occupational health literacy were examined.

The study concluded that individuals with higher occupational health awareness recognize risks more easily, pay greater attention to safety rules, and show more sensitivity toward developing

protective behaviors. Furthermore, occupational health courses, seminars, and practical training activities at universities contribute positively to the development of students' safety culture. Improving occupational health literacy may help reduce occupational accidents and occupational diseases.

**Keywords:** Occupational health, occupational health literacy, university students, risk awareness, safety culture

## 1.Giriş

İş sağlığı ve güvenliği, çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan korunmasını amaçlayan önemli çalışma alanlarından biridir. Çalışma yaşamında ortaya çıkan iş kazaları ve meslek hastalıkları yalnızca çalışanların sağlığını değil, aynı zamanda iş verimliliğini ve toplum sağlığını da olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle bireylerin çalışma hayatına başlamadan önce iş sağlığı konusunda yeterli bilgi ve farkındalığa sahip olması büyük önem taşır. Özellikle genç bireylerin erken yaşta güvenli çalışma davranışları kazanması, ilerleyen meslek yaşamlarında karşılaşabilecekleri risklerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Orhan ve ark., 2020).

Son yıllarda sağlık okuryazarlığı kavramı, bireylerin sağlıkla ilgili bilgiye ulaşabilmesi, bu bilgiyi anlayabilmesi ve doğru şekilde kullanabilmesi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. İş sağlığı okuryazarlığı ise bireyin çalışma ortamındaki tehlikeleri tanıyabilmesi, riskleri değerlendirebilmesi ve güvenli davranış geliştirebilmesi ile ilişkilidir. İş sağlığı konusunda yeterli bilgiye sahip olmayan bireylerde risk algısının düşük olduğu ve koruyucu önlemlere daha az dikkat edildiği görülür. Bu durum iş kazaları ve meslek hastalıklarının artmasına neden olabilmektedir (Çelik ve ark., 2021).

Üniversite öğrencileri, geleceğin çalışanları ve meslek gruplarını oluşturduğu için iş sağlığı okuryazarlığı açısından önemli bir gruptur. Özellikle staj yapan, laboratuvar ortamında çalışan veya yarı zamanlı işlerde görev alan öğrenciler çeşitli iş sağlığı riskleri ile karşı karşıya kalabilir. Üniversite döneminde kazanılan bilgi ve alışkanlıklar bireylerin ileriki çalışma yaşamını doğrudan etkiler. Bu nedenle öğrencilerin iş sağlığı konusunda bilinçli hale gelmesi hem bireysel hem de toplumsal açıdan önem taşır. Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin iş sağlığı okuryazarlığı düzeyi ele alınmıştır. Çalışmada iş sağlığı okuryazarlığı kavramı açıklanmış, öğrencilerin risk farkındalığı ve güvenli davranış düzeyleri değerlendirilmiş, ayrıca iş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesine yönelik öneriler verilmektedir (Akgül ve ark., 2023).

## 2. İş Sağlığı Okuryazarlığı

### 2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği

İş sağlığı ve güvenliği, çalışanların iş ortamında karşılaşabileceği tehlikelerden korunmasını amaçlayan önemli bir çalışma alanıdır. Çalışma hayatında meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları yalnızca çalışan bireyi değil, ailesini, iş yerini ve toplumu da etkileyen ciddi sonuçlar ortaya çıkarır. Bu nedenle güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması hem çalışan sağlığı hem de iş verimliliği açısından büyük önem taşır. İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları sayesinde çalışanların bedensel ve ruhsal açıdan korunması hedeflenmektedir (Çetin ve Kayatürk, 2025).

Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte çalışma alanları çeşitlenmiş, buna bağlı olarak iş ortamlarında karşılaşılan riskler de artmıştır. Özellikle kimyasal maddeler, ağır makineler, yüksek gürültü, radyasyon, ergonomik sorunlar ve psikososyal baskılar çalışan sağlığını tehdit eden unsurlar arasında yer alır. Bu risklerin kontrol altına alınmaması durumunda iş kazaları, sakatlanmalar ve uzun süreli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Bu nedenle iş yerlerinde risklerin önceden belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır (Mahan ve Balkan, 2023).

İş sağlığı ve güvenliğinin temel amaçlarından biri iş kazalarını önlemektir. Bunun yanında çalışanların meslek hastalıklarından korunması, güvenli çalışma alışkanlıklarının geliştirilmesi ve sağlıklı çalışma ortamlarının oluşturulması da önemli hedefler arasında bulunur. Güvenlik kültürünün geliştiği iş yerlerinde çalışanların kurallara daha fazla dikkat ettiği ve risklere karşı daha bilinçli hareket ettiği görülür. Eğitim faaliyetleri, koruyucu ekipman kullanımı ve düzenli denetimler güvenli çalışma ortamının oluşmasına katkı sağlar. İş sağlığı ve güvenliği yalnızca çalışan bireyler için değil, üniversite öğrencileri açısından da önemli bir konudur. Özellikle laboratuvar çalışmaları, teknik uygulamalar, staj süreçleri ve yarı zamanlı işler sırasında öğrenciler çeşitli risklerle karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle öğrencilerin çalışma hayatına başlamadan önce iş sağlığı konusunda bilgi sahibi olması gerekir. Üniversite döneminde kazanılan güvenli davranış alışkanlıkları bireylerin gelecekteki çalışma yaşamını olumlu yönde etkiler. Bu durum iş sağlığı okuryazarlığının önemini artırmaktadır (Canbaş ve ark., 2018).

## 2.2. İş Sağlığı Okuryazarlığı Kavramı

İş sağlığı okuryazarlığı, bireylerin çalışma yaşamında karşılaşabilecekleri riskleri tanıyabilmesi, iş sağlığı ile ilgili bilgiye ulaşabilmesi ve bu bilgileri doğru şekilde

kullanabilmesi ile ilgili bir kavramdır. Son yıllarda çalışma hayatında yaşanan değişimler, teknolojik gelişmeler ve iş kazalarının artışı iş sağlığı konusunda bilinçli bireylere duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bu nedenle yalnızca iş yerlerinde alınan önlemler değil, bireylerin güvenli davranış geliştirmesi de önemli hale gelmiştir. İş sağlığı okuryazarlığı bu noktada çalışanların riskleri fark etmesine ve koruyucu önlemleri günlük yaşamın bir parçası haline getirmesine katkı sağlar. İş sağlığı okuryazarlığı yalnızca bilgi sahibi olmak anlamına gelmez. Aynı zamanda bireyin karşılaştığı riskleri değerlendirebilmesi, güvenli kararlar verebilmesi ve iş ortamında sorumluluk bilinciyle hareket edebilmesi ile ilişkilidir. Çalışma ortamında kullanılan makineler, kimyasal maddeler, koruyucu ekipmanlar ve güvenlik kuralları hakkında bilgi sahibi olmak iş sağlığı okuryazarlığının önemli parçaları arasında yer alır. Bu bilinç düzeyi yüksek olan bireylerin iş kazalarına karşı daha dikkatli davrandığı ve güvenlik kurallarına daha fazla uyduğu görülmektedir (Gümüştekin, 2024).

İş sağlığı okuryazarlığı bireyin yalnızca kendi güvenliğini değil, çalışma arkadaşlarının güvenliğini de etkiler. Güvenli çalışma kültürünün oluşabilmesi için bireylerin ortak bir bilinç geliştirmesi gerekir. Özellikle ekip çalışmasının yoğun olduğu alanlarda çalışanların birbirini uyarması ve riskli durumlara karşı dikkatli olması büyük önem taşır. Bu durum iş yerlerinde güvenli davranış alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkı sağlar. Üniversite öğrencileri açısından iş sağlığı okuryazarlığı önemli bir gelişim alanıdır. Öğrenciler staj süreçlerinde, laboratuvar uygulamalarında veya yarı zamanlı işlerde çeşitli risklerle karşılaşabilir. Bu nedenle öğrencilerin eğitim sürecinde iş sağlığı konusunda bilinç kazanması gerekir. Üniversite döneminde edinilen bilgi ve farkındalık ilerleyen yıllarda çalışma yaşamına olumlu katkı sağlar. Güvenli davranış alışkanlıklarının erken yaşta kazanılması hem bireysel sağlığın korunmasına hem de iş kazalarının azaltılmasına sağlamaktadır (Palabıyık, 2024).

## 3. Üniversite Öğrencilerinde İş Sağlığı Okuryazarlığı

### 3.1. Etkileyen Faktörler

Üniversite öğrencilerinin iş sağlığı okuryazarlığı düzeyini etkileyen birçok bireysel ve çevresel faktör bulunur. Bu faktörler öğrencilerin iş sağlığı konusunda bilgi edinmesini, riskleri fark etmesini ve güvenli davranış geliştirmesini doğrudan etkiler. Özellikle eğitim düzeyi, bölüm farklılıkları, sosyal çevre, dijital medya kullanımı ve kişisel deneyimler iş sağlığı

okuryazarlığının gelişiminde önemli rol oynar. Öğrencilerin öğrenim gördüğü bölüm iş sağlığı okuryazarlığı üzerinde belirleyici unsurlardan biridir. Sağlık bilimleri, mühendislik veya teknik bölümlerde eğitim alan öğrenciler iş güvenliği ile ilgili konularla daha sık karşılaşır. Laboratuvar uygulamaları, teknik çalışmalar ve staj süreçleri sayesinde riskler konusunda daha fazla bilgi sahibi olabilirler. Buna karşılık iş sağlığı ile ilgili ders almayan öğrencilerde farkındalık düzeyinin daha düşük olduğu görülebilir. Eğitim programlarında iş sağlığına yönelik içeriklerin yer alması öğrencilerin bilinç kazanmasına katkı sağlamaktadır (Dolu ve Durmuş, 2023).

Aile yapısı ve sosyoekonomik durum da iş sağlığı okuryazarlığını etkileyen önemli faktörler arasında yer alır. Bilgiye erişim imkânı yüksek olan öğrenciler sağlık ve güvenlik konularında daha fazla araştırma yapabilir. Aynı zamanda aile içinde güvenlik bilincinin bulunması bireyin davranışlarını olumlu yönde etkileyebilir. Çalışan aile bireylerinin iş kazaları veya meslek hastalıkları ile ilgili deneyimleri öğrencilerin risk algısını artırabilir. Dijital medya ve sosyal medya kullanımı günümüzde önemli bilgi kaynakları arasında bulunur. Öğrenciler internet aracılığıyla sağlık ve güvenlik konularında çok sayıda bilgiye ulaşabilir. Ancak yanlış veya eksik bilgiler bireylerde hatalı davranışlara neden olabilir. Bu nedenle güvenilir bilgi kaynaklarının kullanılması büyük önem taşır. Üniversitelerin dijital eğitim materyalleri ve çevrim içi seminerleri öğrencilerin bilinç düzeyinin gelişmesine katkı sağlar. Staj ve yarı zamanlı çalışma deneyimleri de iş sağlığı okuryazarlığını etkiler. Gerçek çalışma ortamını deneyimleyen öğrenciler riskleri daha yakından gözlemleme fırsatı bulur. Özellikle güvenli çalışma kurallarının uygulandığı ortamlarda bulunan öğrencilerin iş sağlığı bilincinin daha güçlü olduğu görülür. Bu deneyimler öğrencilerin gelecekteki meslek yaşamına daha bilinçli hazırlanmasına katkı sağlamaktadır (Arslantaş ve ark., 2026).

### 3.2. Risk Farkındalığı ve Güvenlik Kültürü

Risk farkındalığı, bireylerin çalışma ortamında karşılaşabilecekleri tehlikeleri önceden fark edebilmesi ve bu risklere karşı gerekli önlemleri alabilmesi ile ilgili önemli bir kavramdır. İş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde risk farkındalığı yüksek olan bireylerin daha dikkatli davrandığı ve güvenlik kurallarına daha fazla uyduğu görülür. Özellikle üniversite öğrencileri açısından bu farkındalığın erken yaşta kazanılması gelecekteki çalışma yaşamı için

önemli bir temel oluşturur. Çünkü öğrenciler staj, laboratuvar uygulamaları ve yarı zamanlı çalışma süreçlerinde çeşitli risklerle karşı karşıya kalabilir. Üniversite öğrencilerinde risk farkındalığını etkileyen en önemli unsurlardan biri eğitimdir. İş sağlığı ve güvenliği konusunda bilgi sahibi olan öğrenciler tehlikeli durumları daha kolay fark edebilir. Özellikle uygulamalı eğitimler, seminerler ve saha çalışmaları öğrencilerin güvenlik bilincinin gelişmesine katkı sağlar. Güvenlik kurallarının neden gerekli olduğunun anlaşılması bireylerin koruyucu davranış geliştirmesini kolaylaştırır. Bu durum yalnızca bireysel güvenliği değil, çevredeki insanların güvenliğini de olumlu yönde görülmektedir (Çay, 2019).

Güvenlik kültürü ise bireylerin güvenli davranışları günlük yaşamın bir parçası haline getirmesi ile ilişkilidir. Güvenlik kültürünün geliştiği ortamlarda bireyler risklere karşı daha duyarlı davranır ve güvenlik kurallarına daha fazla dikkat eder. Aynı zamanda kişiler birbirlerini güvenlik konusunda uyarır ve ortak bir bilinç oluşur. Üniversite ortamlarında oluşturulan güvenlik kültürü öğrencilerin gelecekteki meslek yaşamına olumlu katkı sağlar. Özellikle sağlık, mühendislik ve teknik alanlarda eğitim alan öğrenciler için güvenlik kültürü büyük önem taşır. Dijital medya ve sosyal medya da risk farkındalığının oluşmasında etkili araçlar arasında yer alır. İş kazaları, güvenlik ihlalleri ve sağlık riskleri ile ilgili paylaşımlar öğrencilerin bilinç düzeyini artırabilir. Ancak yanlış bilgilerin yayılması risk algısını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle güvenilir kaynaklardan bilgi edinilmesi önem taşır. Üniversitelerde verilen eğitimler ve farkındalık çalışmaları sayesinde öğrencilerin riskleri doğru değerlendirmesi ve güvenli davranış alışkanlıkları kazanması desteklenmektedir (Aytaç, 2011).

## 4. İş Sağlığı Okuryazarlığının Etkileri

### 4.1. Bireysel Etkiler

İş sağlığı okuryazarlığı bireylerin sağlık davranışları ve güvenlik bilinci üzerinde önemli etkiler oluşturur. İş sağlığı konusunda yeterli bilgiye sahip olan bireyler çalışma ortamındaki riskleri daha kolay fark eder ve bu risklere karşı daha dikkatli davranır. Özellikle üniversite öğrencilerinde gelişen iş sağlığı bilinci, güvenli davranış alışkanlıklarının oluşmasına katkı sağlar. Bu durum hem eğitim hayatında hem de ilerleyen çalışma yaşamında bireyin kendisini koruyabilmesine yardımcı olur. İş sağlığı okuryazarlığı yüksek olan bireylerin koruyucu önlemleri daha bilinçli kullandığı görülür. Maske, eldiven, gözlük veya diğer koruyucu

ekipmanların doğru kullanımı konusunda bilgi sahibi olan bireyler riskli durumlarda daha kontrollü hareket eder. Aynı zamanda güvenlik kurallarına uyma konusunda daha hassas davranırlar. Bu bilinç düzeyi iş kazalarının ve yaralanmaların azalmasına katkı sağlar. Özellikle laboratuvar, teknik uygulama alanı ve staj ortamlarında bu farkındalık büyük önem taşımaktadır (Şen ve ark., 2025).

Bireysel etkiler yalnızca fiziksel sağlık ile sınırlı değildir. İş sağlığı okuryazarlığı bireylerin psikolojik güvenlik algısını da olumlu yönde etkiler. Güvenli çalışma ortamında bulunan bireyler kendilerini daha rahat hisseder ve stres düzeyleri azalır. Risklerin farkında olmak ve gerekli önlemleri bilmek bireylerde özgüven oluşmasına katkı sağlar. Bu durum akademik başarı ve çalışma performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilir. İş sağlığı konusunda bilinçli bireyler sağlıklı yaşam davranışlarına da daha fazla önem verir. Düzenli uyku, dengeli beslenme, hijyen kurallarına dikkat etme ve fiziksel sağlığı koruma gibi davranışlar güvenlik bilinci ile ilişkilidir. Aynı zamanda bireylerin çevresindeki insanlara karşı daha duyarlı hale geldiği görülür. Güvenli olmayan durumlarda arkadaşlarını uyarmaları veya riskleri paylaşmaları toplumsal güvenlik bilincinin gelişmesine katkı sağlar. Üniversite döneminde kazanılan iş sağlığı okuryazarlığı bireyin gelecekteki meslek yaşamını da etkiler. Erken yaşta edinilen güvenli davranış alışkanlıkları çalışma hayatında daha dikkatli ve bilinçli hareket edilmesini sağlar. Bu durum hem bireysel sağlığın korunmasına hem de iş yaşamında güvenlik kültürünün güçlenmesine katkı sunmaktadır (Bilgin ve ark., 2019).

### 4.2. Mesleki Etkiler

İş sağlığı okuryazarlığı bireylerin meslek yaşamı üzerinde önemli etkiler oluşturur. İş sağlığı konusunda yeterli bilgiye sahip olan bireyler çalışma ortamındaki riskleri daha kolay tanıyabilir ve güvenli davranış geliştirebilir. Bu durum iş kazalarının önlenmesine ve meslek hastalıklarının azaltılmasına katkı sağlar. Özellikle çalışma hayatına yeni başlayan bireylerde güvenlik bilincinin yüksek olması iş ortamına uyum sürecini olumlu yönde etkiler. Üniversite döneminde kazanılan iş sağlığı bilgisi gelecekteki mesleki yaşamın daha güvenli şekilde sürdürülmesine yardımcı olur. İş sağlığı okuryazarlığının en önemli mesleki etkilerinden biri iş kazalarının azalmasına katkı sağlamasıdır. Risklerin farkında olan bireyler tehlikeli durumlarda daha dikkatli davranır ve güvenlik kurallarına daha fazla önem verir. Koruyucu ekipman

kullanımı, güvenli çalışma teknikleri ve acil durum davranışları konusunda bilgi sahibi olmak çalışanların kendisini korumasına yardımcı olur. Özellikle sağlık, mühendislik, laboratuvar ve teknik alanlarda çalışan bireyler için bu bilinç büyük önem taşımaktadır (Gedikli ve Yeginoğlu, 2026).

Meslek hastalıklarından korunma açısından da iş sağlığı okuryazarlığı önemli bir rol oynar. Kimyasal maddeler, gürültü, radyasyon, ağır kaldırma veya uzun süre aynı pozisyonda çalışma gibi durumlar zamanla sağlık sorunlarına yol açabilir. İş sağlığı konusunda bilinçli bireyler bu riskleri azaltmak için gerekli önlemleri alma konusunda daha hassas davranır. Düzenli sağlık kontrollerine katılmak, ergonomik kurallara dikkat etmek ve kişisel koruyucu ekipman kullanmak meslek hastalıklarının önlenmesine katkı sağlar. İş sağlığı okuryazarlığı çalışanların mesleki performansını da etkiler. Güvenli çalışma ortamında bulunan bireyler işlerini daha rahat ve kontrollü şekilde yapabilir. Bu durum iş verimliliğinin artmasına katkı sağlar. Aynı zamanda çalışanların psikolojik açıdan kendilerini daha güvende hissetmesi iş ortamındaki motivasyonu olumlu yönde etkiler. Güvenlik kültürünün geliştiği iş yerlerinde ekip çalışmasının daha güçlü olduğu görülür. Üniversite öğrencileri açısından değerlendirildiğinde iş sağlığı okuryazarlığı gelecekteki çalışma hayatına hazırlık sürecinin önemli bir parçasıdır. Öğrencilerin eğitim sürecinde kazandığı bilgi ve farkındalık ilerleyen yıllarda daha bilinçli çalışanlar olmalarına katkı sağlar. Bu durum hem bireysel sağlığın korunmasına hem de iş yerlerinde güvenli çalışma kültürünün güçlenmesine destek olmaktadır (Kale ve ark., 2025).

## 5. İş Sağlığı Okuryazarlığının Geliştirilmesi

İş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi, bireylerin çalışma hayatında karşılaşabilecekleri risklere karşı daha bilinçli hareket etmesini sağlar. Özellikle üniversite öğrencilerinin eğitim sürecinde iş sağlığı konusunda bilgi sahibi olması gelecekteki çalışma yaşamı açısından büyük önem taşır. Bu nedenle üniversitelerde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili farkındalık çalışmalarının artırılması gerekir. Öğrencilerin yalnızca teorik bilgi edinmesi değil, aynı zamanda güvenli davranış alışkanlıkları kazanması da önemlidir. İş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesinde eğitimin önemli bir yeri bulunur. Üniversitelerde verilen iş sağlığı ve güvenliği dersleri öğrencilerin riskleri tanımasına katkı sağlar. Özellikle uygulamalı eğitimler, laboratuvar çalışmaları ve saha uygulamaları öğrencilerin güvenlik kurallarını daha iyi anlamasına yardımcı

olur. Seminerler, konferanslar ve farkındalık etkinlikleri sayesinde öğrencilerin güvenlik bilinci güçlenebilir. Aynı zamanda öğrencilerin gerçek çalışma ortamları ile erken dönemde tanışması iş sağlığı konusunda deneyim kazanmasına katkı sağlamaktadır (Aydoğan, 2021).

Dijital teknolojiler de iş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesinde önemli araçlar arasında yer alır. Çevrim içi eğitimler, mobil uygulamalar ve dijital bilgilendirme içerikleri sayesinde öğrenciler iş sağlığı konusunda hızlı şekilde bilgiye ulaşabilir. Özellikle genç bireylerin dijital medya kullanımının yaygın olması bu araçların etkisini artırır. Ancak dijital ortamda yer alan bilgilerin güvenilir kaynaklardan alınması gerekir. Üniversitelerin hazırladığı dijital eğitim materyalleri öğrencilerin doğru bilgiye ulaşmasına katkı sağlayabilir. Güvenlik kültürünün geliştirilmesi de iş sağlığı okuryazarlığının önemli parçalarından biridir. Üniversite ortamında güvenlik kurallarına dikkat edilmesi, öğrencilerin birbirini bilinçlendirmesi ve ortak bir sorumluluk anlayışının oluşması güvenlik kültürünü güçlendirir. Özellikle staj yapan veya laboratuvar ortamında çalışan öğrenciler için bu bilinç büyük önem taşır. Güvenlik kültürü gelişen bireyler çalışma yaşamında daha dikkatli ve sorumluluk sahibi davranır. İş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi yalnızca bireysel güvenliği değil, toplumsal güvenliği de olumlu yönde etkiler. Bilinçli bireylerin artması iş kazalarının ve meslek hastalıklarının azaltılmasına katkı sağlar. Bu nedenle üniversitelerde iş sağlığına yönelik eğitim ve farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması önemli bir gereklilik olarak görülür (Şahmaran ve ark., 2019).

## 6. Sonuç

İş sağlığı okuryazarlığı, bireylerin çalışma yaşamında karşılaşabilecekleri riskleri tanıyabilmesi ve güvenli davranış geliştirebilmesi açısından önemli bir konudur. Üniversite öğrencileri geleceğin çalışanlarını oluşturduğu için bu grubun iş sağlığı konusunda bilinçli olması büyük önem taşır. Üniversite döneminde kazanılan bilgi ve farkındalık bireylerin ilerleyen meslek yaşamını doğrudan etkileyebilir. Özellikle staj, laboratuvar uygulamaları ve yarı zamanlı çalışma süreçlerinde öğrencilerin çeşitli risklerle karşılaşması iş sağlığı okuryazarlığının önemini daha da artırır.

Çalışmada iş sağlığı ve güvenliği kavramı ile iş sağlığı okuryazarlığı arasındaki ilişki değerlendirilmiş, üniversite öğrencilerinin risk farkındalığı ve güvenlik kültürü açısından önemli bir gelişim sürecinde olduğu görülmüştür. İş sağlığı konusunda bilgi sahibi olan

bireylerin riskleri daha kolay fark ettiği, koruyucu önlemleri daha bilinçli kullandığı ve güvenli davranış geliştirmeye daha yatkın olduğu anlaşılmıştır. Bunun yanında güvenlik kültürünün gelişmesinin yalnızca bireysel güvenliği değil, toplumsal güvenliği de olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Üniversitelerde verilen eğitimlerin iş sağlığı okuryazarlığının gelişiminde önemli bir role sahip olduğu görülmektedir. Özellikle uygulamalı eğitimler, seminerler ve saha çalışmaları öğrencilerin güvenlik bilincinin güçlenmesine katkı sağlar. Dijital eğitim araçları ve çevrim içi bilgilendirme çalışmaları da öğrencilerin bilgiye daha hızlı ulaşmasına yardımcı olur. Ancak güvenilir bilgi kaynaklarının kullanılması büyük önem taşır. Yanlış veya eksik bilgiler öğrencilerin risk algısını olumsuz etkileyebilir.

İş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi amacıyla üniversitelerde iş sağlığı ve güvenliği derslerinin yaygınlaştırılması önerilebilir. Özellikle tüm bölümlerde temel iş sağlığı eğitimlerinin verilmesi öğrencilerin güvenlik bilincinin gelişmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanında staj süreçlerinde öğrencilere uygulamalı güvenlik eğitimleri verilmesi önem taşır. Üniversite kampüslerinde güvenlik kültürünü destekleyen etkinliklerin artırılması da öğrencilerin farkındalık düzeyini güçlendirebilir.

Sonuç olarak iş sağlığı okuryazarlığı bireylerin hem eğitim hem de çalışma yaşamında daha bilinçli ve güvenli hareket etmesine katkı sağlar. Bu nedenle üniversite öğrencilerinin iş sağlığı konusunda bilinçlendirilmesi gelecekte daha güvenli çalışma ortamlarının oluşmasına destek olacaktır.

## Kaynakça

1. Orhan, M., Sayar, B., & Biçer, E. B. (2020). Üniversite öğrencilerinin e-sağlık okuryazarlık düzeylerinin karşılaştırılması: sağlık bilimleri lisans ve lisansüstü öğrencileri üzerine bir araştırma. *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *2*(3), 141-157.
2. Çelik, S., İstek, Z., Kızkın, A., Yiğit, M. C., & Kaçan, H. (2021). Üniversite öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeylerinin incelenmesi: Bartın Üniversitesi örneği. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, (15), 593-605.
3. Akgül, E., Tanrıkulu, F., & Dikmen, Y. (2023). Sağlık bilimleri alanında öğrenim gören üniversite öğrencilerinin sağlık okuryazarlık düzeyleri ile COVID-19 farkındalıkları. *Etkili Hemşirelik Dergisi*, *16*(4), 536-548.
4. Çetin, T., & Kayatürk, N. (2025). Üniversite Öğrencilerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Farkındalık Düzeyinin Çeşitli Değişkenlerle İncelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (86), 541-562.

5. Mahan, H., & Balkan, B. (2023). MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BİLGİ DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI. *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, *4*(2), 23-46.
6. Canbaş, H., Kasap, S., & Cam, E. (2018). Sağlık yüksekokulu öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği farkındalıkları üzerine bir alan araştırması. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, *8*(1), 235-266.
7. Gümüştekin, M., Balatlı, A., Kantarcı, M. A., Tunç, Y. E., Aykır, M. E., Yozcu, A., ... & Birge, Y. (2024). Bir üniversite sağlık kampüsündeki bireylerin sağlık okuryazarlık düzeylerinin belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 32-45.
8. Palabıyık, A. A. (2024). Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin sağlık okuryazarlık ve genel öz yeterlilik düzeylerinin incelenmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, *22*(53), 897-917.
9. Dolu, İ., & Durmuş, S. Ç. (2023). The relationship of e-health literacy levels of university students studying other than health sciences with health literacy, digital literacy, media and television literacy. *Turkish Journal of Public Health*, *21*(1), 16-27.
10. Arslantaş, H., Karadeniz, C., & Yüksel, R. (2026). Siberkondria ile İlişkili Değişkenler: Türkiye Örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, *10*(1), 105-132.
11. Çay, E. (2019). ÖZEL EĞİTİM OKULU YÖNETİCİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ'NE YÖNELİK GÖRÜŞLERİ. *Education Sciences*, *14*(1), 1-16.
12. Aytaç, S. (2011). İş kazalarını önlemede güvenlik kültürünün önemi. *Türk Metal Dergisi*, *147*, 1-8.
13. Şen, M. A., Arslan, Ü., & Tanrıkulu, A. (2025). Üniversite öğrencilerinin sağlık okuryazarlık durumu ile sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının incelenmesi. *Akdeniz Tıp Dergisi*, *11*(2), 198-207.
14. Bilgin, N. Ç., Ak, B., Cerit, B., Ertem, M., & Tunç, G. Ç. (2019). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının belirlenmesi. *Health Academy Kastamonu*, *4*(3), 188-210.
15. Gedikli, M. S., & Yeginoğlu, G. (2026). İş Sağlığı Ve Güvenliği Öğrencilerinin Kariyer Farkındalıkları İle Gelecek Kaygıları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Eğitim Ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori Ve Uygulama*, *17*(33), 135-158.
16. Kale, Ö. A., Kayahan, S., Baş, S., Kuruca, A., Kahraman, D., & Çakır, S. (2025). İSG dersinin mühendislik fakültesi öğrencilerinin İSG farkındalığı üzerindeki etkisi: Devlet üniversitesi örneği. *International Journal of Engineering Approaches*, *2*(1), 7-16.
17. Aydoğan, Z. (2021). Meslek yüksekokulu öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ve bu eğitimin çevre sağlığı farkındalığına etkisi. *İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*(1), 261-284.
18. Şahmaran, T., Kar, H., & Arısal, İ. (2019). İş sağlığı ve güvenliği ön lisans programında verilen eğitim ve öğretimin iş sağlığı ve güvenliği algısı üzerine etkisi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, *11*(18), 1797-1827.

# VARDİYALI ÇALIŞMANIN HEMŞİRELERİN İŞ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ: KAMU HASTANESİ ÖRNEĞİ

**Yüksek Lisans Gizem KALENDER**
Üsküdar Üniversitesi
gizemkalenderr26@gmail.com - ORCID: 0009-0008-1903-6958

## ÖZET

Bu araştırmada, vardiyalı çalışma sisteminin hemşirelerin iş verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sağlık hizmetlerinin kesintisiz sunulması gerekliliği nedeniyle hemşirelerin önemli bir bölümünün vardiyalı çalışma düzeninde görev yaptığı, bu çalışma biçiminin bireylerin fizyolojik ve psikososyal durumlarını etkileyerek iş verimliliğinde değişimlere yol açtığı belirlenmiştir. Vardiyalı çalışmanın çalışma performansı üzerindeki etkileri, sağlık hizmetlerinin niteliği açısından önemli bir sorun alanı olarak değerlendirilmiştir.

Araştırma nicel araştırma yöntemine dayalı olarak tanımlayıcı ve ilişki arayıcı tasarımda yapılmıştır. Araştırmanın evrenini Yalova'da bir kamu hastanesinde görev yapan hemşireler oluşturmuş, örneklemini ise araştırmaya gönüllü olarak katılan 250 hemşire meydana getirmiştir. Verilerin toplanmasında hemşirelerin demografik özellikleri ve vardiya sistemine ilişkin bilgi formu ile Verimliliğe İlişkin Tutum Ölçeği kullanılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler, SPSS 25.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Araştırma sonucunda, vardiyalı çalışma sisteminin hemşirelerin iş verimliliği üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Gece ve dönüşümlü vardiyalarda çalışan hemşirelerde, artan iş yükü, stres düzeyi ve yetersiz dinlenme gibi etkenler aracılığıyla iş verimliliği algısının olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir**.** Ayrıca demografik değişkenler incelendiğinde, medeni durum, cinsiyet, yaş ve çalışma süresi gibi bazı değişkenler açısından verimliliğin belirli alt boyutlarında sınırlı düzeyde farklılaşmalar olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular doğrultusunda, hemşirelerin çalışma koşullarının iyileştirilmesine ve vardiya planlamalarının çalışan sağlığını gözeterek düzenlenmesine yönelik öneriler geliştirilmiştir. Bu araştırmanın amacı, vardiyalı çalışmanın hemşirelerin iş verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek ve bu etkiyle ilişkili faktörleri ortaya koymaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Vardiyalı çalışma, hemşire, iş verimliliği, çalışma düzeni, sağlık hizmetleri.

# DETERMINING THE OPTIMUM POWER–SPEED COMBINATION IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY BY SURFACE ROUGHNESS CHARACTERIZATION RELATIVE TO THE REFERENCE

**Res. Asst. Ender Can YAKAR**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ender.yakar@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9496-0138

**Prof. Sinan FİDAN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4385-4981

**Prof. Satılmış ÜRGÜN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3889-6909

**Prof. Mustafa Özgür BORA**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0921-418X

## ABSTRACT

Fiber laser surface treatment is increasingly applied to titanium aerospace alloys as a non-contact, chemically clean route for modifying surface topography. In this study, the Ti6Al4V alloy was processed with a 100 kHz pulsed fiber laser following an L18 experimental scheme in which laser power was varied between 15 and 20 W and scan speed between 1500 and 2000 mm/s. Areal surface topography of the eighteen treated conditions and of the as-received reference was quantified with a Nanovea PS-50 non-contact laser profilometer in accordance with ISO 25178, extracting the height parameters Sa, Sq, Sz, Sp, Sv, Ssk and Sku. The reference surface exhibited an Sa of 3.252 µm with a markedly positive skewness (Ssk = 0.705), indicating a peak-dominated topography. Laser processing produced two clearly distinct regimes: at low scan speeds (1500–1750 mm/s) the surface was largely re-melted and roughness was comparable to or slightly above the reference, whereas at the highest scan speed (2000 mm/s) every power level reduced Sa below the reference value. A two-way analysis of variance (ANOVA) showed that scan speed is the dominant and statistically significant factor for the average roughness parameters, contributing 81.7% of the variation in both Sa and Sq ($p < 0.001$), while laser power is the dominant factor for the maximum height Sz, contributing 61.0% of its variation ($p = 0.049$). Within the effective regime, the condition at 17 W and 2000 mm/s

offered the most favourable overall outcome, combining a 19.5% reduction in Sa, an 18.1% reduction in Sq and the lowest extreme-height parameter (Sz = 35.067 µm) together with a near-symmetric, near-Gaussian height distribution (Ssk = 0.055, Sku = 3.17). The 17 W / 2000 mm/s parameter set is therefore identified as the optimum fiber laser polishing condition for Ti6Al4V under the studied window.

**Keywords:** Ti6Al4V; fiber Laser Polishing; Surface Roughness; Areal Topography; ISO 25178; ANOVA; Non-Contact Profilometry

## 1. INTRODUCTION

Apart from numerous other materials such as metals and metal alloys used in aerospace engineering, the use of titanium and titanium alloys has also been quite prevalent, especially Ti-6Al-4V (Grade 5), due to its outstanding strength-to-weight ratio and excellent corrosion resistance [1,2]. Despite having many useful properties as a bulk material, mechanical reliability and longevity of the alloy in severe conditions depend significantly on its surface characteristics and topology [3]. In elements exposed to dynamic loads within the aerospace field, surface micro-roughness creates zones of stress concentration and forms a starting point for fatigue cracks. Therefore, an optimization of surface roughness is crucial for increasing fatigue resistance [4]. Surface roughness and topology have a decisive impact on tribological properties since they control the friction coefficient and wear resistance of the material [1,5]. Furthermore, reliable and long-lasting adhesion of coatings, including thermal barriers and environmental protection layers, applied to aerospace engines and outer fuselage, respectively, necessitates proper surface roughness ensuring good mechanical bonding between the substrate and coating [1,5]. Since traditional surface treatments suffer from some shortcomings, such as tool wear and creation of residual stresses, there is an increasing need to alter surface topology using novel approaches that provide precise results [2,6].

Traditionally, surface treatment of Ti6Al4V parts has been achieved through mechanical grinding and polishing, chemical or electrochemical etching [7]. Traditional methods, nonetheless, pose some shortcomings within the scope of the aerospace industry owing to high tolerances demanded. Mechanical polishing can cause stress in the treated material, contaminate the surface with abrasive particles, and is impractical to work on complex three-dimensional shapes and internal surfaces found in aerospace applications [8, 9]. Chemical and electrochemical treatments contradict sustainability concepts because of toxic waste production and harmful effects on the environment, besides difficulties of local control of the process [7, 10]. On this account, laser surface modification technologies can provide a noncontact, chemically clean, and extremely repeatable treatment process without tool wear [2,11]. The physics of laser polishing includes localized melting of the surface layer where forces of surface tension and capillarity induce the migration of melted material from peaks to adjacent valleys [9]. Over the last decades, the number of publications reporting the use of fiber lasers for surface topography optimization of titanium alloys has been increasing due to superior beam quality and feasibility of process automation and accurate heat input adjustment [11,12]. Several researchers have shown that controlled melting of the surface conducted using a fiber laser

reduces surface roughness characteristics without decreasing the overall mechanical properties of the alloy [12].

Quite a number of research works have been carried out in relation to the laser surface modifications of Ti6Al4V alloy; nevertheless, the effect of the operating range of laser power and scanning speed on surface topography is generally analyzed using limited analysis methodology [13]. Most studies have confined themselves to merely measuring the surface quality in terms of areal arithmetic mean roughness (Sa) or average roughness (Ra), which is calculated from profile data [14]. However, the detailed and thorough 3D (areal) surface characterization according to ISO 25178 goes beyond just surface height differences, involving many topographical characteristics responsible for functionality and mechanical longevity of the surface [15]. This means that parameters like skewness (Ssk), which describes the predominance of either peaks or valleys, and kurtosis (Sku), which quantifies the sharpness of surface irregularities, have critical roles to play in the fatigue life and tribology of aerospace materials [15,16]. Unfortunately, these parameters are often overlooked in current laser polishing research [13-15]. Another area of research that appears to be relatively underdeveloped is related to optimizing functional surface properties (i.e., minimal values of Sa/Sq, Sz, and a nearly Gaussian Ssk/Sku distribution in comparison to the untreated reference surface) through systematic statistical evaluation, for example using ANOVA [14,17]. There is quite a significant lack of information on how the interaction between parameters in the process of fiber laser polishing can be assessed relative to the reference surface.

Addressing the shortcomings noted in previous research, the main purpose of this research work will be to explore the most appropriate values of laser power and scanning speed for surface modification of Ti6Al4V with fiber lasers, along with an assessment of the topographical changes introduced through statistical analysis. An L18 orthogonal array design will be systematically applied, using a 100 kHz pulsed fiber laser to vary the laser power between 15 and 20 W while scanning the material between speeds of 1500 and 2000 mm/s. The characterisation technique involved in this study entails a change from standard 2D profile analysis to full 3D topography analysis, carried out in accordance with ISO 25178 requirements, with the help of a Nanovea PS-50 non-contact laser profiler. Height distribution parameters such as skewness (Ssk) and kurtosis (Sku) will be measured in relation to the topographies of all 18 samples produced and the untreated reference surface. Furthermore, by applying a two-way ANOVA analysis to the obtained 3D topographies, the influence of each laser parameter (i.e. laser power and scanning speed) on the areal surface roughness parameters (Sa, Sq, Sz etc.) will be separately determined.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Material and Specimen Preparation

The substrate material was the two-phase (α+β) titanium alloy Ti6Al4V, supplied in the form of flat plates. Specimens were sectioned to identical dimensions and cleaned ultrasonically in ethanol prior to laser processing to remove surface contaminants and ensure a consistent starting

condition. One untreated specimen was retained as the as-received reference against which all laser-processed conditions were evaluated.

### 2.2. Fiber Laser Surface Processing

Surface polishing was carried out using a pulsed fiber laser operating at a fixed pulse frequency of 100 kHz. Two processing parameters were varied according to an L18 experimental layout: laser power, at six levels between 15 and 20 W, and scan speed, at three levels of 1500, 1750 and 2000 mm/s, yielding eighteen distinct parameter combinations. The pulse frequency, beam path strategy and working distance were held constant throughout. The experimental parameter space is summarized in Table 1.

**Table 1. Fiber Laser Surface Polishing Parameters and Their Levels Used in the L18 Experimental Design**

| Parameter. | Unit | Levels |
|---|---|---|
| Laser Power | W | 15, 16, 17, 18, 19, 20 |
| Scan Speed | mm/s | 1500, 1750, 2000 |
| Pulse Frequency | kHz | 100 (fixed) |

### 2.3. Surface Topography Characterization

Areal surface topography of all eighteen laser-processed specimens and of the as-received reference was characterized using a Nanovea PS-50 non-contact optical profilometer equipped with a chromatic confocal sensor. Measurements were performed in line with ISO 25178 for areal surface texture. From each measured surface the following height (amplitude) parameters were extracted: arithmetical mean height (Sa), root-mean-square height (Sq), maximum height (Sz), maximum peak height (Sp), maximum pit height (Sv), skewness (Ssk) and kurtosis (Sku). Sa and Sq describe the average magnitude of the surface deviations; Sz, Sp and Sv describe the extreme topography; Ssk and Sku describe, respectively, the asymmetry and the peakedness of the height distribution. The non-contact nature of the technique avoids any mechanical interaction with the freshly laser-processed surfaces.

### 2.4. Evaluation Criteria for Polishing Performance

The polishing effectiveness of each parameter combination was assessed relative to the as-received reference rather than in absolute terms. A condition was considered to have a beneficial polishing effect when it reduced the average roughness parameters (Sa, Sq) below the reference values. In addition, the extreme-height parameter Sz and the distribution parameters Ssk and Sku were used as secondary criteria: a low Sz indicates the suppression of deep pits and high peaks, an Ssk close to zero indicates a symmetric height distribution, and an

Sku close to three indicates a near-Gaussian, well-behaved surface. The optimum condition was defined as the one offering the best compromise across these criteria.

### 2.5. Statistical Analysis

To quantify the relative influence of the two processing parameters on the measured surface roughness, a two-way analysis of variance (ANOVA) was performed on the L18 data set. Laser power (six levels) and scan speed (three levels) were treated as categorical factors, and a separate ANOVA model was constructed for each areal roughness response (Sa, Sq, Sz, Ssk and Sku). For every model the sum of squares attributable to each factor was used to compute its percent contribution to the total variation, while the F-ratio and the associated p-value were used to test the statistical significance of each factor at a 95% confidence level ($\alpha = 0.05$). The percent-contribution analysis identifies which laser parameter exerts the strongest effect on each aspect of the surface texture, and thereby supports the selection of the optimum polishing condition on a statistical basis.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Reference Surface and Overall Trends

The as-received Ti6Al4V reference surface exhibited an arithmetical mean height (Sa) of 3.252 µm and a root-mean-square height (Sq) of 4.033 µm. Its skewness was strongly positive (Ssk = 0.705) and its kurtosis was below three (Sku = 2.990), indicating a topography dominated by protruding peaks rather than valleys. The maximum height of the reference was Sz = 30.054 µm. These values define the baseline against which the laser-processed conditions are judged

The complete set of areal roughness parameters for all eighteen laser-processed conditions and for the reference is presented in Table 2. Across the parameter window two distinct behaviours emerged, governed primarily by scan speed. At the two lower scan speeds (1500 and 1750 mm/s) the measured Sa values were generally equal to or higher than the reference, indicating that the surface was extensively re-melted and that solidification features increased the average roughness. At the highest scan speed (2000 mm/s), in contrast, every power level produced an Sa below the reference value, identifying 2000 mm/s as the scan speed associated with an effective polishing action.

**Table 2. Areal Surface Roughness Parameters (ISO 25178) of the Eighteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions and of the As-Received Reference, Measured with the Nanovea PS-50 Non-Contact Laser Profilometer**

| Sample | Power (W) | Speed (mm/s) | Sa (µm) | Sq (µm) | Sz (µm) | Sp (µm) | Sv (µm) | Ssk | Sku |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 15 | 1500 | 3.372 | 4.159 | 38.844 | 21.419 | 17.426 | 0.232 | 2.788 |
| S2 | 15 | 1750 | 3.471 | 4.351 | 40.496 | 21.694 | 18.801 | 0.101 | 3.072 |
| S3 | 15 | 2000 | 2.570 | 3.275 | 36.693 | 23.161 | 13.532 | 0.213 | 3.569 |
| S4 | 16 | 1500 | 3.407 | 4.150 | 36.557 | 20.079 | 16.479 | -0.138 | 2.598 |
| S5 | 16 | 1750 | 3.100 | 3.944 | 45.297 | 28.649 | 16.648 | 0.006 | 3.510 |
| S6 | 16 | 2000 | 2.857 | 3.644 | 37.746 | 22.259 | 15.487 | 0.174 | 3.251 |
| S7 | 17 | 1500 | 3.261 | 4.002 | 35.165 | 17.037 | 18.128 | 0.080 | 2.682 |
| S8 | 17 | 1750 | 3.538 | 4.452 | 50.874 | 29.642 | 21.232 | -0.016 | 3.109 |
| S9 | 17 | 2000 | 2.617 | 3.303 | 35.067 | 18.332 | 16.736 | 0.055 | 3.174 |
| S10 | 18 | 1500 | 3.170 | 3.966 | 63.704 | 30.601 | 33.103 | -0.112 | 3.132 |
| S11 | 18 | 1750 | 3.095 | 3.930 | 56.907 | 21.089 | 35.818 | -0.041 | 3.217 |
| S12 | 18 | 2000 | 2.400 | 3.044 | 41.526 | 23.353 | 18.173 | -0.201 | 3.397 |
| S13 | 19 | 1500 | 3.091 | 3.831 | 43.120 | 20.559 | 22.560 | -0.267 | 2.847 |
| S14 | 19 | 1750 | 3.240 | 4.173 | 45.147 | 26.150 | 18.997 | 0.126 | 3.340 |
| S15 | 19 | 2000 | 2.743 | 3.524 | 62.407 | 27.655 | 34.752 | 0.271 | 3.591 |
| S16 | 20 | 1500 | 3.217 | 4.109 | 66.133 | 32.189 | 33.944 | 0.091 | 3.888 |
| S17 | 20 | 1750 | 3.468 | 4.357 | 61.271 | 31.432 | 29.838 | -0.106 | 3.258 |
| S18 | 20 | 2000 | 2.474 | 3.290 | 115.174 | 70.867 | 44.307 | 0.601 | 6.872 |
| Ref | – | – | 3.252 | 4.033 | 30.054 | 16.823 | 13.231 | 0.705 | 2.990 |

### 3.2. Average Roughness Parameters (Sa, Sq)

Figure 1 compares the Sa and Sq values of all conditions with the corresponding reference levels. The conditions processed at 2000 mm/s — samples S3, S6, S9, S12, S15 and S18 — consistently fell below both reference lines. The largest single reduction in Sa was obtained at 18 W / 2000 mm/s (S12), where Sa decreased to 2.400 µm, a 26.2% reduction relative to the reference, with a corresponding 24.5% reduction in Sq. The conditions at 15 W / 2000 mm/s (S3) and 17 W / 2000 mm/s (S9) followed closely, with Sa reductions of 21.0% and 19.5% respectively. At the lower scan speeds the picture was reversed: several conditions, such as S2

and S8, showed Sa values 6–9% higher than the reference, confirming that insufficient scan speed leads to a roughening rather than a polishing effect.

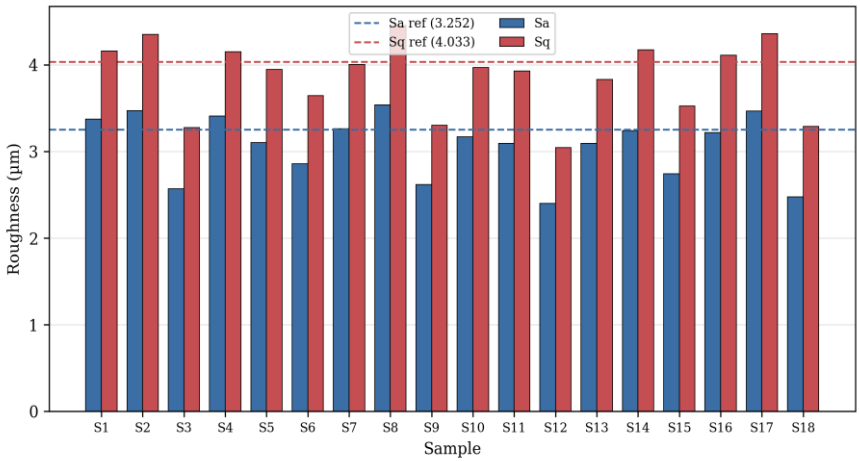



**Figure 1. Comparison of Arithmetical Mean Height (Sa) and Root-Mean-Square Height (Sq) of The Eighteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. Dashed Lines Indicate the As-Received Reference Levels**

The dependence of the Sa reduction on scan speed and laser power is shown more clearly in Figure 2, where the percentage change in Sa relative to the reference is plotted against scan speed for each power level. All six power curves converge towards a positive (beneficial) reduction at 2000 mm/s, while at 1500–1750 mm/s the curves scatter around or below the zero line. This confirms that, within the studied window, scan speed is the dominant factor controlling whether the laser treatment polishes or roughens the surface, with laser power exerting a secondary, modulating influence.

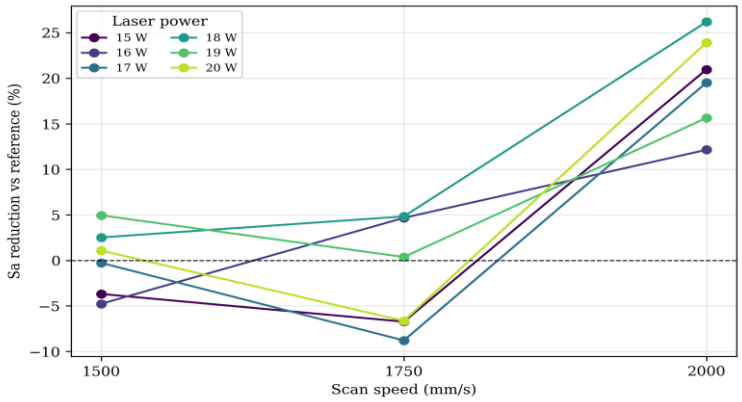



**Figure 2. Percentage Change in Sa Relative to the As-Received Reference as a Function of Scan Speed for Each Laser Power Level. Positive Values Denote a Reduction in Roughness (Beneficial Polishing Effect)**

3.3. Extreme-Height Parameters (Sz, Sp, Sv)

While the average parameters identify the effective regime, the extreme-height parameters reveal important differences within it. Figure 3 presents Sp, Sv and Sz for all conditions. Although S12 (18 W / 2000 mm/s) achieved the lowest Sa, its Sz reached 41.526 µm, appreciably higher than the reference value of 30.054 µm, indicating that localized deep features persisted on that surface. The most extreme case was S18 (20 W / 2000 mm/s), where Sz rose to 115.174 µm — almost four times the reference — together with an anomalously high kurtosis, signalling localized over-melting and spatter at the highest power. By contrast, S9 (17 W / 2000 mm/s) combined a low Sa with the lowest Sz of the entire matrix (35.067 µm), demonstrating that this condition suppressed not only the average roughness but also the extreme peaks and pits.

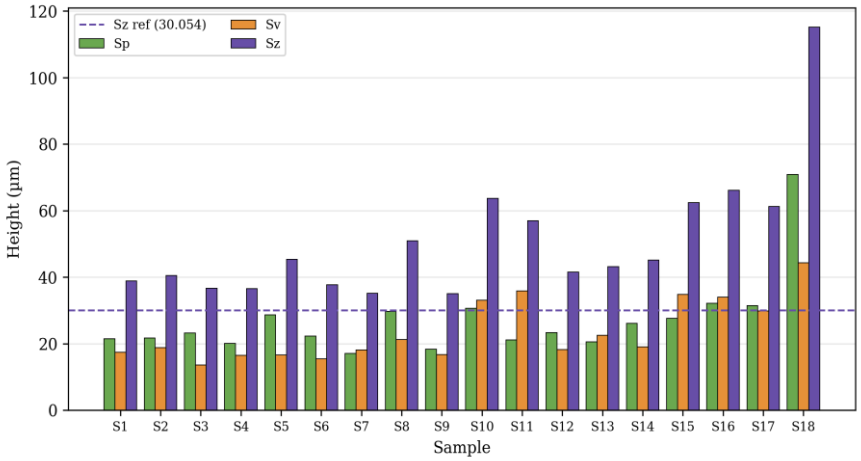



**Figure 3. Maximum Peak Height (Sp), Maximum Pit Height (Sv) and Maximum Height (Sz) of the Eighteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. The Dashed Line Indicates the As-Received Sz Reference Level**

### 3.4. Height Distribution Parameters (Ssk, Sku)

The skewness and kurtosis of the surfaces are compared in Figure 4. The reference surface had a strongly positive skewness (Ssk = 0.705), reflecting its peak-dominated nature. Most 2000 mm/s conditions shifted the skewness towards zero, indicating that the laser treatment redistributed material and produced a more symmetric height distribution. Among them, S9 (17 W / 2000 mm/s) reached a near-symmetric Ssk of 0.055 and a kurtosis of 3.174, very close to the Gaussian value of three. S18, in contrast, retained a high positive skewness (0.601) and an extremely high kurtosis (6.872), consistent with the isolated over-melted features observed in its extreme-height data. A surface with Ssk near zero and Sku near three is generally regarded as favourable for subsequent functional performance, such as uniform coating adhesion and predictable tribological contact.

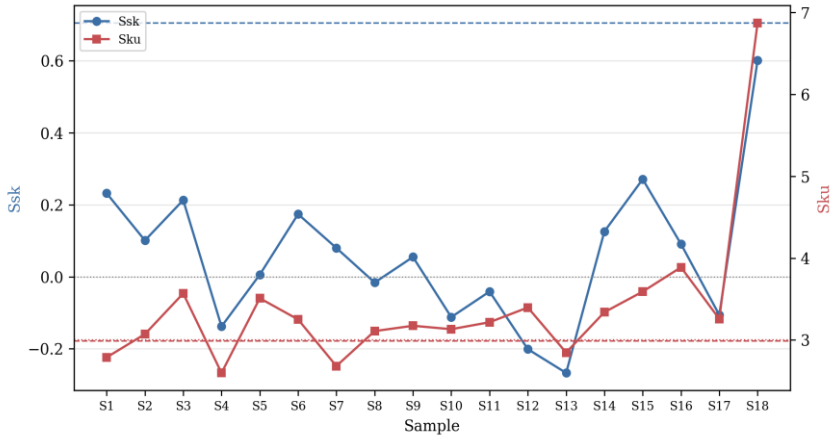



**Figure 4. Skewness (Ssk) and Kurtosis (Sku) of the Eighteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. Dashed Lines Indicate the As-Received Reference Levels; The Dotted Line Marks the Gaussian Kurtosis Value of Three**

### 3.5. Identification of the Optimum Polishing Parameter

The combined evidence of Sections 3.2–3.4 is summarized in the parameter map of Figure 5, which displays Sa as a function of laser power and scan speed. The map confirms that the lowest-roughness band lies entirely along the 2000 mm/s column. Selecting the optimum condition, however, requires balancing all criteria rather than minimizing Sa alone. The condition at 18 W / 2000 mm/s (S12) gave the single lowest Sa but an elevated Sz, while 20 W / 2000 mm/s (S18) was disqualified by its extreme Sz and kurtosis. The condition at 17 W / 2000 mm/s (S9) provided the most favourable overall compromise: a substantial 19.5% reduction in Sa and 18.1% reduction in Sq, the lowest Sz of the entire experimental matrix (35.067 µm), and a near-symmetric, near-Gaussian height distribution (Ssk = 0.055, Sku = 3.17). On this basis, 17 W laser power combined with a 2000 mm/s scan speed at 100 kHz is identified as the optimum fiber laser polishing parameter set for Ti6Al4V within the studied window.

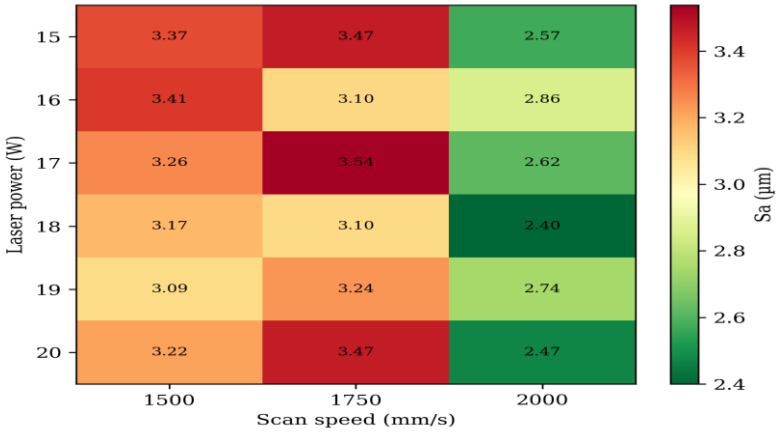



**Figure 5. Parameter Map of Sa as a Function of Laser Power and Scan Speed for Fiber Laser–Polished Ti6Al4V. Lower Values (Green) Indicate a Stronger Polishing Effect; The Lowest-Roughness Band Coincides with the 2000 mm/s Scan Speed**

### 3.6. Dimensional Surface Topography

To support the quantitative findings, the three-dimensional surface topographies reconstructed from the Nanovea PS-50 measurements are presented for the as-received reference, the identified optimum condition and representative non-optimum conditions. These maps visualize the transition from the peak-dominated reference surface to the smoother, more uniform topography obtained under the optimum parameter set, as well as the localized over-melted features associated with the highest-power condition. The corresponding figures and captions are arranged below; the topography images will be inserted in the indicated placeholders.

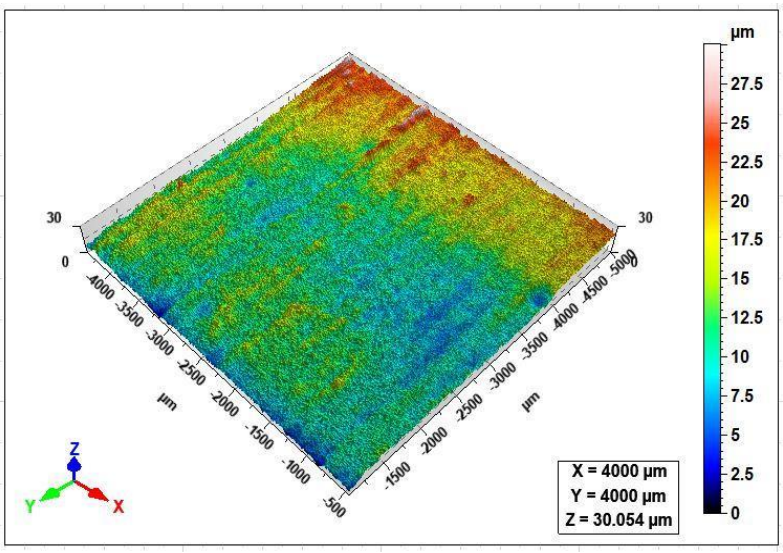



**Figure 6. Three-Dimensional Surface Topography of the As-Received Ti6Al4V Reference Surface, Showing the Peak-Dominated Baseline Texture (Sa = 3.252 µm, Ssk = 0.705)**

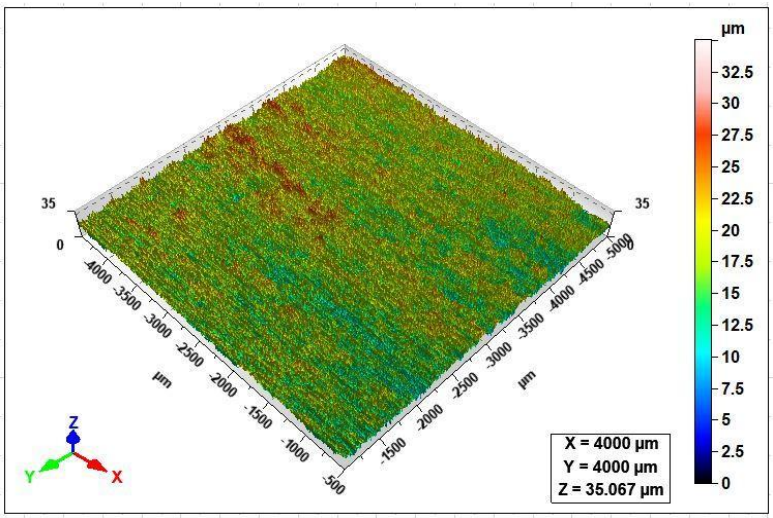



**Figure 7. Three-Dimensional Surface Topography of the Optimum Fiber Laser–Polished Condition, Sample S9 (17 W, 2000 mm/S, 100 kHz), Showing the Smoothed and Near-Symmetric Topography (Sa = 2.617 µm, Sz = 35.067 µm, Ssk = 0.055, Sku = 3.17)**

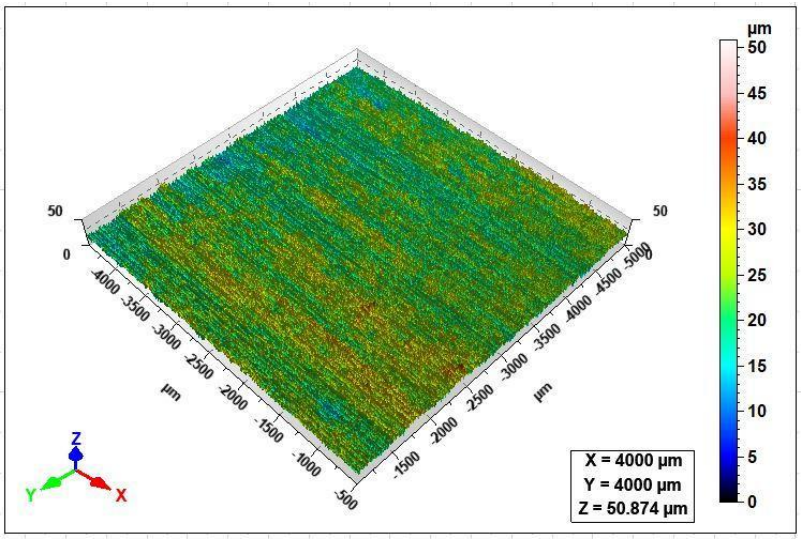



**Figure 8. Three-Dimensional Surface Topography of a Representative Low-Scan-Speed Condition, Sample S8 (17 W, 1750 Mm/S), Illustrating the Re-Melted Topography with Roughness Above the Reference Level (Sa = 3.538 µm, Sz = 50.874 µm)**

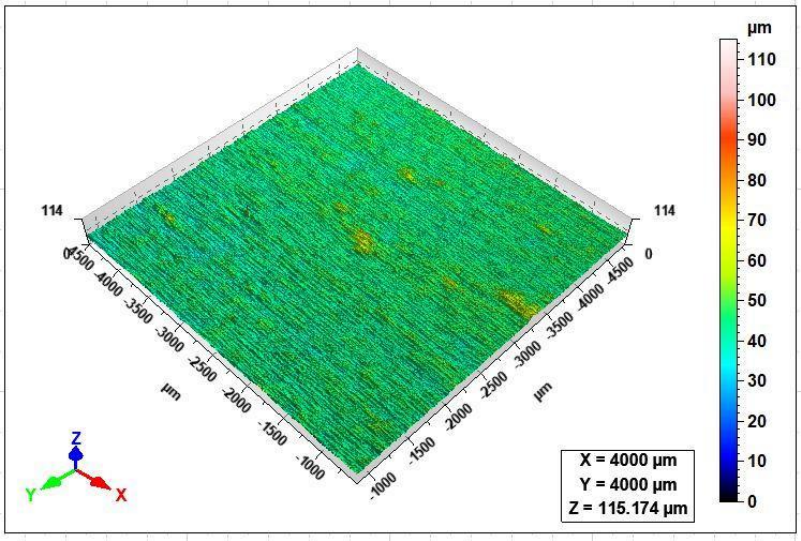



**Figure 9. Three-Dimensional Surface Topography of the Highest-Power Condition, Sample S18 (20 W, 2000 Mm/S), Showing Localized Over-Melting and Spatter That Produce an Extreme Maximum Height (Sz = 115.174 µm) And High Kurtosis (Sku = 6.872)**

### 3.7. Analysis of Variance (ANOVA)

To establish, on a statistical basis, which laser parameter most strongly governs each aspect of the surface texture, a two-way ANOVA was applied to the L18 data set with laser power and scan speed as categorical factors. The analysis was carried out separately for the five areal roughness responses; the resulting F-ratios, p-values and percent contributions are summarized in Table 3, and the percent contributions are shown graphically in Figure 10.

**Table 3. Two-Way ANOVA Results for The Areal Roughness Responses of Fiber Laser–Polished Ti6Al4V. Bold P-Values Denote Statistically Significant Factors at the 95% Confidence Level (P < 0.05). PC = Percent Contribution to Total Variation**

| Response | Source | DF | Sum of Squares | F-ratio | p-value | PC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sa | Laser power | 5 | 0.140 | 1.03 | 0.451 | 6.2 |
| | Scan speed | 2 | 1.839 | 33.72 | <0.001* | 81.7 |
| | Residual | 10 | 0.273 | – | – | 12.1 |
| Sq | Laser power | 5 | 0.181 | 0.97 | 0.481 | 6.0 |
| | Scan speed | 2 | 2.466 | 33.06 | <0.001* | 81.7 |
| | Residual | 10 | 0.373 | – | – | 12.4 |
| Sz | Laser power | 5 | 3868.90 | 3.36 | 0.049* | 61.0 |
| | Scan speed | 2 | 173.53 | 0.38 | 0.696 | 2.7 |
| | Residual | 10 | 2305.18 | – | – | 36.3 |
| Ssk | Laser power | 5 | 0.203 | 1.15 | 0.395 | 29.0 |
| | Scan speed | 2 | 0.146 | 2.07 | 0.176 | 20.8 |
| | Residual | 10 | 0.352 | – | – | 50.2 |
| Sku | Laser power | 5 | 5.929 | 2.14 | 0.143 | 40.6 |
| | Scan speed | 2 | 3.134 | 2.83 | 0.106 | 21.5 |
| | Residual | 10 | 5.541 | – | – | 37.9 |

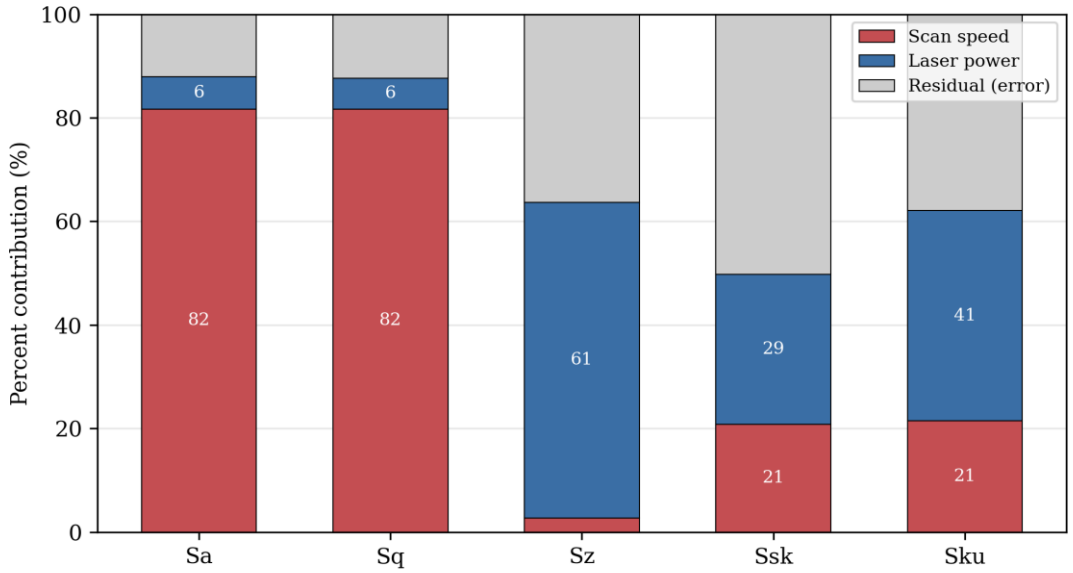



**Figure 10. Percent Contribution of Laser Power, Scan Speed and Residual Error to the Total Variation of Each Areal Roughness Response, Obtained from the Two-Way ANOVA**

The ANOVA reveals a clear division of roles between the two processing parameters. For the average roughness parameters Sa and Sq, scan speed is overwhelmingly dominant: it accounts for 81.7% of the total variation in both responses and is highly significant ($p < 0.001$), whereas laser power contributes only about 6% and is not significant ($p = 0.45–0.48$). This result quantitatively confirms the trends observed in Sections 3.2 and 3.3 — namely that whether the laser treatment polishes or roughens the surface, in the average sense, is controlled almost entirely by scan speed, with 2000 mm/s being the effective level.

For the maximum height Sz the situation is reversed. Laser power becomes the dominant and the only statistically significant factor ($p = 0.049$), contributing 60.9% of the total variation, while scan speed contributes less than 3% and is far from significant ($p = 0.70$). This is consistent with the physical interpretation advanced earlier: the extreme peak-and-pit features — most strikingly the over-melted topography of sample S18 — are generated by excessive energy input at high laser power rather than by scan speed. In other words, scan speed controls the average smoothness of the surface, but laser power controls the occurrence of localized defects.

The distribution parameters Ssk and Sku show a more mixed behaviour. Neither factor reaches statistical significance for these responses, and the residual term is comparatively large (about 38–50%), indicating that the asymmetry and peakedness of the height distribution are influenced by both parameters jointly and by stochastic melt-pool phenomena that the two-factor model does not fully capture. Nevertheless, laser power still carries the larger share of the explained variation for both Ssk (29.0%) and Sku (40.6%), reinforcing the conclusion that power is the parameter most closely associated with the extreme and higher-order characteristics of the topography.

The combined ANOVA picture therefore provides a statistically grounded rationale for the optimum condition identified in Section 3.5. A favourable polishing outcome requires, first, a scan speed of 2000 mm/s to minimize the average roughness — the parameter–response pair for which the effect is both strongest and significant — and, second, a laser power that is not so high as to trigger the power-driven increase in Sz and kurtosis. The 17 W / 2000 mm/s condition satisfies both requirements simultaneously, which explains why it emerges as the best overall compromise across all five roughness parameters.

## 4. CONCLUSIONS

The areal surface roughness of Ti6Al4V processed by 100 kHz pulsed fiber laser polishing was characterized with a Nanovea PS-50 non-contact laser profilometer across an L18 matrix of laser power (15–20 W) and scan speed (1500–2000 mm/s), and evaluated against the as-received reference. The principal conclusions are as follows:

Scan speed is the dominant factor governing the polishing outcome. Only the highest scan speed of 2000 mm/s consistently reduced Sa and Sq below the as-received reference; at 1500–1750 mm/s the surface was re-melted and roughness was comparable to or higher than the reference.

The single lowest average roughness was obtained at 18 W / 2000 mm/s (Sa = 2.400 µm, a 26.2% reduction), but this condition retained an elevated maximum height (Sz = 41.526 µm).

The highest-power condition, 20 W / 2000 mm/s, was characterized by localized over-melting, producing an extreme Sz of 115.174 µm and a kurtosis of 6.872, and is therefore unsuitable for polishing.

The two-way ANOVA showed that the two laser parameters play distinct and complementary roles. Scan speed is the dominant and statistically significant factor for the average roughness parameters, contributing 81.7% of the variation in both Sa and Sq ($p < 0.001$), whereas laser power is the dominant and only significant factor for the maximum height Sz, contributing 61.0% of its variation ($p = 0.049$). Scan speed therefore controls average smoothness, while laser power controls the formation of localized extreme features.

The optimum fiber laser polishing parameter set for Ti6Al4V within the studied window is 17 W laser power with a 2000 mm/s scan speed at 100 kHz. This condition combined a 19.5% reduction in Sa and an 18.1% reduction in Sq with the lowest Sz of the entire matrix (35.067 µm) and a near-symmetric, near-Gaussian height distribution (Ssk = 0.055, Sku = 3.17). The ANOVA provides a statistical rationale for this choice: it pairs the effective scan speed level with a laser power low enough to avoid the power-driven rise in Sz.

Evaluating polishing performance using the full set of ISO 25178 areal parameters — rather than Sa alone — is essential, since average roughness, extreme-height behaviour and height-distribution symmetry can rank the conditions differently and are governed by different laser parameters.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the Faculty of Aeronautics and Astronautics WEAR LAB, Kocaeli University, for providing access to the laser processing and surface characterization facilities used in this study.

## REFERENCES

**1.** Lin, N., Li, D., Zou, J., Xie, R., Wang, Z., Tang, B. Surface texture-based surface treatments on Ti6Al4V titanium alloys for tribological and biological applications: A mini review, Materials, 11, 4, 2018.
**2.** Huang, S., Zeng, J., Wang, W., Zhao, Z. Study on laser Polishing of Ti6Al4V fabricated by selective laser melting, Micromachines, 15, 3, 2024.
**3.** Wang, H., Cheng, Q., Chang, Z., Wang, K., Gao, X., Fan, X. The study on corrosion resistance of Ti-6Al-4V ELI alloy with varying surface roughness in hydrofluoric acid solution, Metals, 14, 3, 2024.

**4.** Le Roux, P. A., Laubscher, R. F., Schubert, A. Machining for an increased fatigue life for a Ti-6Al-4V ELI component, Procedia CIRP, 87, 2020.
**5.** Solheid, J. S., Mohanty, S., Bayat, M., Wunsch, T., Weidler, P. G., Seifert, H. J., Pfleging, W. Laser polishing of additively manufactured Ti-6Al-4V: Microstructure evolution and material properties, Journal of Laser Applications, 32, 2, 2020.
**6.** Ma, C. P., Guan, Y. C., Zhou, W. Laser polishing of additive manufactured Ti alloys, Optics and Lasers in Engineering, 93, 2017.
**7.** Krishnan, A., Fang, F. Review on mechanism and process of surface polishing using lasers, Frontiers of Mechanical Engineering, 14, 3, 2019.
**8.** Yung, K. C., Xiao, T. Y., Choy, H. S., Wang, W. J., Cai, Z. X. Laser polishing of additive manufactured CoCr alloy components with complex surface geometry, Journal of Materials Processing Technology, 262, 2018.
**9.** Zeng, J., Zhang, W., Guo, T., Lou, Y., Wang, W., Zhao, Z., Wang, C. Numerical and experimental analysis of dual-beam laser polishing additive manufacturing Ti6Al4V, Micromachines, 14, 9, 2023.
**10.** Perry, T. L., Werschmoeller, D., Li, X., Pfefferkorn, F. E., Duffie, N. A. Pulsed laser polishing of micro-milled Ti6Al4V samples, Journal of Manufacturing Processes, 11, 2, 2009.
**11.** Bhaduri, D., Penchev, P., Batal, A., Dimov, S., Soo, S. L., Sten, S., Dong, H. Laser polishing of 3D printed mesoscale components, Applied Surface Science, 405, 2017.
**12.** Bagehorn, S., Wehr, J., Maier, H. J. Application of mechanical surface finishing processes for roughness reduction and fatigue improvement of additively manufactured Ti-6Al-4V parts, International Journal of Fatigue, 102, 2017.
**13.** Marimuthu, S., Triantaphyllou, A., Antar, M., Wimpenny, D., Morton, H., Beard, M. Laser polishing of selective laser melted components, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 95, 2015.
**14.** Todhunter, L. D., Leach, R. K., Lawes, S. D., Blateyron, F. Industrial survey of ISO surface texture parameters, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 19, 2017.
**15.** Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear, Wear, 266, 3-4, 2009.
**16.** Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surfaces, Tribology international, 48, 2012.
**17.** Temmler, A., Liu, D., Preußner, J., Oeser, S., Luo, J., Poprawe, R., Schleifenbaum, J. H. Influence of laser polishing on surface roughness and microstructural properties of the remelted surface boundary layer of tool steel H11, Materials & Design, 192, 2020.

# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OVERLAP RATIO ON SURFACE ROUGHNESS IN FIBER LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY

**Res. Asst. Ender Can YAKAR**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ender.yakar@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9496-0138

**Prof. Sinan FİDAN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4385-4981

**Prof. Satılmış ÜRGÜN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3889-6909

**Prof. Mustafa Özgür BORA**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0921-418X

## ABSTRACT

Fiber laser surface polishing is increasingly adopted as a non-contact, chemically clean route for tailoring the topography of titanium aerospace alloys. While laser power and scan speed have been studied extensively, the influence of the track overlap ratio; the spatial overlap between adjacent scan tracks; has received comparatively limited attention, despite its decisive role in regulating the cumulative thermal input. In this work, Ti6Al4V specimens were processed with a 100 kHz pulsed fiber laser at a fixed beam spot diameter of 50 µm following an L16 experimental scheme combining four overlap ratios (10%, 20%, 30% and 40%, corresponding to track pitches of 45, 40, 35 and 30 µm, respectively) with four power–speed conditions (18 W / 1500 mm/s, 18 W / 1750 mm/s, 20 W / 2000 mm/s and 20 W / 2250 mm/s). Areal topography of the sixteen treated surfaces and of the as-received reference was characterized with a Nanovea PS-50 non-contact optical profilometer in line with ISO 25178, extracting the height parameters Sa, Sq, Sz, Sp, Sv, Ssk and Sku; in addition, line-traverse waviness profiles (Gaussian filter, cut-off 800 µm) were extracted in accordance with ISO 4287 and characterized through Wa, Wq and Wt. Only two conditions reduced both Sa and Sq below the reference (Sa_ref = 3.252 µm; Sq_ref = 4.033 µm): S5 (20% overlap, 18 W, 1500 mm/s) with a 6.2% reduction in Sa and a 6.0% reduction in Sq, and S9 (30% overlap, 18 W, 1500 mm/s) with a 3.4% and 2.1% reduction, respectively. A two-way analysis of variance

(ANOVA) with the overlap ratio and the power–speed condition as categorical factors showed that the power–speed condition is the dominant and statistically significant factor for the average roughness (Sa: PC = 51.0%, p = 0.044; Sq: PC = 49.8%, p = 0.053) and a highly significant factor for the skewness (Ssk: PC = 74.7%, p < 0.001), whereas the overlap ratio contributes only 11–13% to the variation of Sa, Sq and Sz and does not reach statistical significance for any of the responses. The waviness analysis identified S9 as having the smoothest macroscopic baseline of the entire matrix (Wa = 0.72 µm, Wt = 3.16 µm) while simultaneously carrying the largest Sz, confirming that its extreme-height values arise from isolated localized over-melt features superimposed on an otherwise very smooth long-wavelength surface. Considering the joint criteria of average roughness reduction, an Sz at an acceptable level and a near-Gaussian height distribution (Ssk close to zero, Sku close to three), the condition S5 (20% overlap, 18 W, 1500 mm/s) emerges as the optimum fiber laser polishing parameter set for Ti6Al4V within the studied window.

**Keywords:** Ti6Al4V, Fiber Laser Polishing, Overlap Ratio, Track Pitch, Surface Roughness, Areal Topography, ISO 25178, ANOVA

## 1. INTRODUCTION

Titanium alloys, especially the dual-phase Ti-6Al-4V (grade 5) alloy, occupy a unique place in the category of aerospace structural materials due to their high strength-to-density ratio, elevated-temperature performance, and extraordinary resistance to corrosion [1,2]. Nonetheless, the performance and longevity of Ti6Al4V parts under cyclical loading, tribological interaction, and surface coating become dependent, to a significant degree, not just on the macroscopic characteristics of the alloy material, but on the surface topography as well [3]. Roughness microstructure acts as sites where stresses get concentrated and from which fatigue cracks start propagating; in addition, roughness affects the actual area of contact, coefficient of friction, rate of wear, and bonding quality of subsequent functional surface treatments, such as thermal barriers [1,4,5]. Thus, proper preparation of the surface topography of Ti6Al4V continues to be a persistent engineering necessity in aerospace applications.

Limitations of standard surface finishing techniques that include mechanical grinding, abrasive polishing, and chemical/electrochemical etching have long been known [6,7]; these techniques are subject to wear of tools, stress formation, embedding of the abrasive material, limited access for inner surfaces and 3D shapes, and severe impact on the environment from chemical processes. Thus, fiber laser polishing is a very promising option for noncontact, environmentally clean, and repeatable surface finishing process in which surface imperfections are melted, followed by capillary filling of depressions with the molten material [8, 9]. High-quality optical beams, controlled pulse energy, and accuracy of spatial positioning, which modern pulsed fiber lasers can provide, make the approach especially effective for titanium alloys [10,11].

The resultant properties of the Ti6Al4V treatment process are influenced by a variety of factors, such as laser average power, scan speed, pulse frequency, laser beam diameter, and the spatial

configuration adopted to fill up the scanned area with successive passes of the laser beams. This spatial arrangement depends on the spacing between two successive tracks or in other words the overlap percentage between two successive scan lines. In case the laser beam diameter remains constant, the overlap percentage defines the proportion of the area irradiated in the previous molten pool that will be again exposed to the next pass [12,13].

While the effect of laser power and scan speed on the surface topography of laser polished titanium alloys has been thoroughly studied in previous works, the effect of the overlap ratio has been less discussed. While many previous experiments use a conventional value for overlap ratio or treat it as a less important variable for surface finishing with lasers, a number of works reported the change in the laser polishing mechanism from partial polishing through controlled surface smoothing to over-melting and formation of spatters when increasing the overlap ratio [11, 13, 14]. Most research papers studying laser polishing of Ti6Al4V alloy evaluate only profile and surface parameters defined by arithmetic roughness Ra or Sa. However, it should be noted that such parameters as surface maximum height Sz and higher order surface distribution characteristics such as Ssk and Sku play an equally important role in fatigue life and wear behavior of materials [15-17], but have not been studied in this particular laser polishing case yet.

Prompted by this gap, the current study aims to explore the impact of the overlap ratio on the areal surface roughness of Ti6Al4V alloy when using a pulsed fiber laser with a frequency of 100 kHz and constant spot size of 50 µm. Four values of the overlap ratio (10%, 20%, 30%, and 40%, which correspond to 45 µm, 40 µm, 35 µm, and 30 µm track pitch, respectively) are tested together with four pairs of laser power and scan speed (18 W / 1500 mm/s, 18 W / 1750 mm/s, 20 W / 2000 mm/s, and 20 W / 2250 mm/s) within the L16 design of experiments matrix. The areal topographies of all sixteen surfaces produced by laser treatment and the as-received reference are measured with a Nanovea PS-50 non-contact laser profilometer according to ISO 25178 standards, and seven height parameters Sa, Sq, Sz, Sp, Sv, Ssk, and Sku are calculated for each combination of factors. Surface polishing performance is assessed in reference to the untreated surface instead of being determined absolutely, and two-way ANOVA is conducted to estimate the impact of the overlap ratio and the pair of process parameters on the variation of roughness parameters.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Material and Specimen Preparation

Ti6Al4V titanium alloy, two-phased α+β, served as the substrate material in the current investigation and was supplied as a flat plate sample. Each sample was processed through identical machining and ultrasonic cleaning in ethanol to ensure that no impurities existed on the surfaces before laser treatment. One sample is left untreated and serves as the control sample against which all other laser-treated samples are measured in Chapter 3.

### 2.2. Definition of the Overlap Ratio

For a line-by-line laser scanning strategy with a circular beam of diameter *d*, the spatial separation between the centres of two consecutive scan tracks is referred to as the track pitch (or track spacing), *p*. The overlap ratio *O* is defined as the fraction of the spot diameter that is shared between adjacent tracks:

$$O = 1 - \frac{p}{d}, \quad \text{equivalently} \quad p = d(1 - O)$$

In the present work the beam spot diameter was fixed at d = 50 µm, so the four investigated overlap ratios of 10%, 20%, 30% and 40% correspond, respectively, to track pitches of 45 µm, 40 µm, 35 µm and 30 µm. The complete correspondence between overlap level, computational formula and resulting track pitch is summarized in Table 1.

**Table 1. Track Pitch Values Obtained for the Four Investigated Overlap Ratios at a Fixed Beam Spot Diameter of 50 µm**

| **Overlap Ratio (%)** | **Track Pitch Formula** | **Track Pitch (µm)** |
|---|---|---|
| 10 | 50 × (1 − 0.10) | 45 |
| 20 | 50 × (1 − 0.20) | 40 |
| 30 | 50 × (1 − 0.30) | 35 |
| 40 | 50 × (1 − 0.40) | 30 |

### 2.3. Fiber Laser Surface Polishing

Surface polishing was carried out with a pulsed fiber laser operating at a fixed pulse repetition frequency of 100 kHz and a fixed beam spot diameter of 50 µm. Three processing parameters were varied according to an L16 experimental layout: the overlap ratio (four levels: 10%, 20%, 30% and 40%), the laser power (two levels: 18 W and 20 W) and the scan speed (four levels: 1500, 1750, 2000 and 2250 mm/s). The combination of overlap ratio with each power–speed pair followed the experimental matrix shown in Table 2, yielding sixteen distinct parameter sets. The pulse frequency, the beam path strategy, the working distance and the laser focusing optics were kept constant throughout the entire experimental campaign.

**Table 2. L16 Experimental Matrix Used in the Fiber Laser Surface Polishing of Ti6Al4V. The Pulse Frequency Was Fixed at 100 Khz and the Beam Spot Diameter At 50 µm For All Conditions**

| Sample No. | Overlap Ratio (%) | Scan Speed (mm/s) | Laser Power (W) |
|---|---|---|---|
| S1 | 10 | 1500 | 18 |
| S2 | 10 | 1750 | 18 |
| S3 | 10 | 2000 | 20 |
| S4 | 10 | 2250 | 20 |
| S5 | 20 | 1500 | 18 |
| S6 | 20 | 1750 | 18 |
| S7 | 20 | 2000 | 20 |
| S8 | 20 | 2250 | 20 |
| S9 | 30 | 1500 | 18 |
| S10 | 30 | 1750 | 18 |
| S11 | 30 | 2000 | 20 |
| S12 | 30 | 2250 | 20 |
| S13 | 40 | 1500 | 18 |
| S14 | 40 | 1750 | 18 |
| S15 | 40 | 2000 | 20 |
| S16 | 40 | 2250 | 20 |

### 2.4. Surface Topography Characterization

Areal surface topography of all sixteen laser-treated samples as well as the original sample was measured using the Nanovea PS-50 optical profiling system that uses a chromatic confocal microscope. All measurements consisted of a scan covering an area of 5000 x 5000 micrometers. All measurements followed ISO 25178 standard for areal surface texture. From each surface, the following amplitude parameters have been calculated: arithmetic mean roughness (Sa), root mean square roughness (Sq), average maximum height (Sz), average maximum peak height (Sp), average maximum pit depth (Sv), skewness (Ssk), and kurtosis (Sku). Sa and Sq correspond to average deviation values from the surface. Sz, Sp, and Sv

correspond to maximum deviations. Finally, Ssk and Sku correspond to skewness and kurtosis, respectively.

### 2.5. Evaluation Criteria for Polishing Performance

The efficiency of the polishing process for each combination of parameters is assessed in relation to the reference as-received state, not from an absolute standpoint. For a state to be considered advantageous with respect to polishing, its roughness parameters, Sa and Sq, have to be lower than the parameters for the corresponding reference state. Sz represents the extreme value of the heights; if Sz is low, it means that deep valleys and sharp peaks on the surface are avoided. Ssk close to zero implies symmetrical distribution of heights; if Sku is closer to three, the distribution is Gaussian-like.

### 2.6. Statistical Analysis

To study the effect of overlap ratio and power–speed condition on each individual areal response surface measure, a two-way ANOVA analysis was performed using the L16 test matrix. The factors were overlap ratio (with four levels—10%, 20%, 30%, and 40%) and power–speed condition (four levels: 18 W / 1500 mm/s, 18 W / 1750 mm/s, 20 W / 2000 mm/s, and 20 W / 2250 mm/s), and for each response (i.e., Sa, Sq, Sz, Ssk, and Sku), an individual ANOVA model was designed. For each individual ANOVA model, the percentage contribution from each factor was calculated based on the sum of squares for each factor, and the statistical significance of each factor was evaluated based on the F-ratio value and p-value at a significance level of 95% (i.e., $\alpha = 0.05$). The purpose of the percent-contribution analysis is to identify the most dominant laser machining parameter for each surface characteristic of interest and thereby compare the importance of the overlap ratio against the more conventional power–speed combination.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Reference Surface and Overall Trends

As for the Ti6Al4V reference surface, an arithmetical mean height (Sa) of 3.252 µm and a root-mean-square height (Sq) of 4.033 µm were calculated. Additionally, the value of skewness was found to be significantly greater than zero (Ssk = 0.705), and kurtosis slightly less than three (Sku = 2.990). Therefore, it can be concluded that the reference surface contains more protruding elements rather than valleys. Furthermore, the maximum height (Sz) was equal to 30.054 µm, with a peak height (Sp) of 16.823 µm and valley depth (Sv) of 13.231 µm. The above values serve as reference for the further evaluation of the sixteen laser-processed samples.

The table that summarizes all the results in terms of the areal roughness parameters obtained using the Nanovea PS-50 profiler for the sixteen laser-processed samples together with the reference sample is presented below in Table 3. A preliminary inspection of the table shows that the general trend is counter-intuitive. Within the investigated parameter space, only two samples, S5 (overlap = 20%, power = 18 W, velocity = 1500 mm/s) and S9 (overlap = 30%, power = 18 W, velocity = 1500 mm/s), managed to reduce both Sa and Sq values simultaneously below their corresponding reference values, whereas for the other fourteen samples, at least one of these values is greater than the reference. It thus seems that, within the chosen parameter window, the main regime is surface re-melting wherein roughness is modulated rather than reduced, with the exception of a narrow region where the polishing effect appears.

**Table 3. Areal Surface Roughness Parameters (ISO 25178) Of The Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions and of the As-Received Reference, Measured with the Nanovea PS-50 Non-Contact Laser Profilometer**

| Sample | Overlap (%) | Pitch (µm) | Speed (mm/s) | Power (W) | Sa (µm) | Sq (µm) | Sz (µm) | Sp (µm) | Sv (µm) | Ssk | Sku |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 10 | 45 | 1500 | 18 | 3.96 | 4.89 | 44.5 | 25.5 | 19.0 | 0.197 | 2.77 |
| S2 | 10 | 45 | 1750 | 18 | 3.87 | 4.77 | 55.1 | 30.9 | 24.2 | 0.165 | 2.73 |
| S3 | 10 | 45 | 2000 | 20 | 3.70 | 4.56 | 49.5 | 19.3 | 30.2 | 0.030 | 2.68 |
| S4 | 10 | 45 | 2250 | 20 | 3.66 | 4.56 | 42.4 | 23.4 | 19.1 | 0.015 | 2.86 |
| S5 | 20 | 40 | 1500 | 18 | 3.05 | 3.79 | 52.5 | 29.0 | 23.5 | 0.179 | 3.03 |
| S6 | 20 | 40 | 1750 | 18 | 3.70 | 4.59 | 47.2 | 28.3 | 18.9 | 0.166 | 2.88 |
| S7 | 20 | 40 | 2000 | 20 | 3.81 | 4.72 | 56.6 | 25.2 | 31.4 | −0.134 | 2.71 |
| S8 | 20 | 40 | 2250 | 20 | 3.57 | 4.47 | 83.0 | 47.4 | 35.6 | −0.039 | 3.19 |
| S9 | 30 | 35 | 1500 | 18 | 3.14 | 3.95 | 105.0 | 33.1 | 72.2 | 0.026 | 4.18 |
| S10 | 30 | 35 | 1750 | 18 | 4.21 | 5.21 | 60.7 | 22.2 | 38.5 | 0.194 | 2.79 |
| S11 | 30 | 35 | 2000 | 20 | 3.38 | 4.24 | 38.8 | 21.3 | 17.5 | −0.283 | 2.95 |
| S12 | 30 | 35 | 2250 | 20 | 3.22 | 4.07 | 39.6 | 21.8 | 17.7 | −0.121 | 3.15 |
| S13 | 40 | 30 | 1500 | 18 | 3.32 | 4.21 | 37.0 | 21.4 | 15.6 | 0.226 | 3.23 |
| S14 | 40 | 30 | 1750 | 18 | 4.31 | 5.36 | 69.3 | 37.3 | 32.0 | 0.087 | 2.81 |
| S15 | 40 | 30 | 2000 | 20 | 3.81 | 4.76 | 44.1 | 19.2 | 24.9 | −0.162 | 2.91 |
| S16 | 40 | 30 | 2250 | 20 | 3.23 | 4.10 | 40.0 | 23.0 | 17.0 | −0.074 | 3.23 |
| **Ref** | — | — | — | — | **3.252** | **4.033** | **30.054** | **16.823** | **13.231** | **0.705** | **2.990** |

## 3.2. Average Roughness Parameters (Sa, Sq)

Figure 1 shows a chart representing the Sa and Sq comparisons for all sixteen conditions compared to the respective reference points. Two particular conditions are positioned significantly below the reference lines: S5 condition with Sa equal to 3.05 µm, (this represents a 6.2% decrease compared to the reference point), and Sq equal to 3.79 µm (this also corresponds to a 6.0% decrease); and the second condition is S9 (this condition has 30% overlap, 18 W of laser power, and a 1500 mm/s scan rate), with Sa being 3.14 µm (which represents a 3.4% decrease) and Sq being 3.95 µm (which represents a 2.1% decrease). Both these conditions possess the lowest scanning speed among the tested cases and the lower power laser. As a result, it can be concluded that the regime of productive laser polishing requires relatively low energy supply and high dwell time on each surface area, making possible full melting of surface peaks.

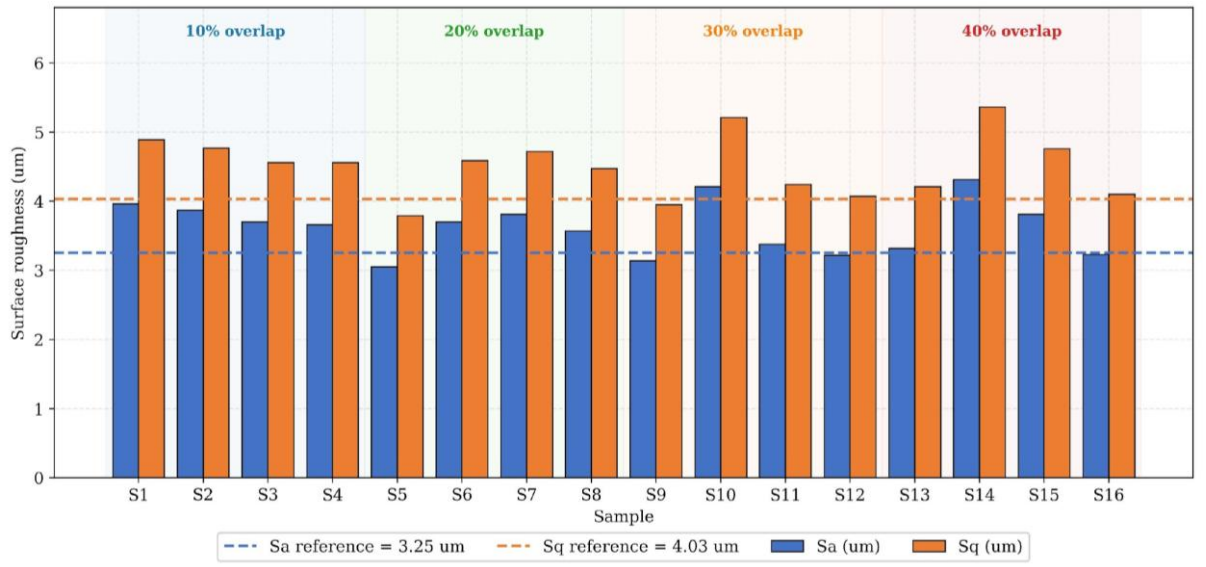



**Figure 1. Comparison Of Arithmetical Mean Height (Sa) and Root-Mean-Square Height (Sq) of The Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. Dashed Lines Indicate the As-Received Reference Levels (Sa_Ref = 3.252 µm; Sq_Ref = 4.033 µm)**

To examine the effect of overlap ratio independently of the power-speed condition, Figure 2 shows the percentage reduction in the roughness parameter Sa relative to its reference value for each factor combination. The least reduction occurs with overlap ratios of 20% and 30% at a speed of 1500 mm/s. On the other hand, overlap ratios of 10% consistently result in values of Sa larger than the reference by as much as 12.5% to 21.8% regardless of the power-speed combination. By averaging over the various power-speed combinations, the average values of Sa with varying overlap ratios turn out to be 3.80 µm for 10%, 3.53 µm for 20%, 3.49 µm for 30%, and 3.67 µm for 40%, resulting in a global minimum of 30% overlap ratio. As expected, the average Sq with the respective overlap ratios follows the same pattern, being 4.70, 4.39, 4.37, and 4.61 µm, respectively. It thus appears that an overlap ratio of 10% represents the worst case for all four power-speed conditions since a track pitch of 45 µm allows for an overlap of 5 µm.

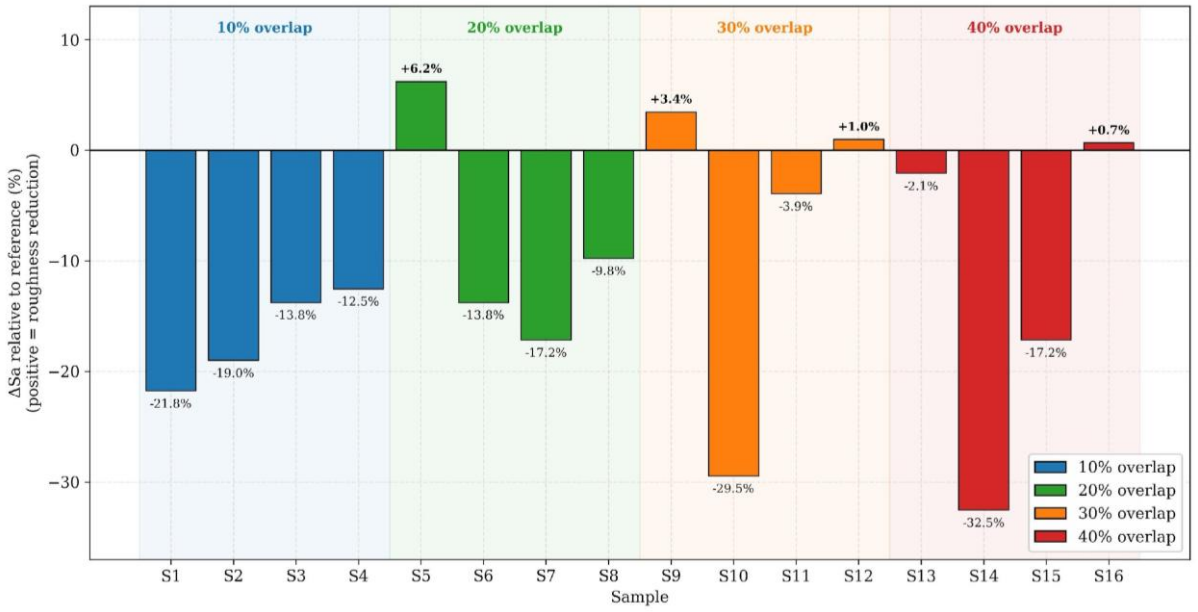



**Figure 2. Percentage Change in Sa Relative to the As-Received Reference, Plotted For Each of the Sixteen Laser-Processed Conditions, Organized By Overlap Ratio. Positive Values Denote a Reduction in Roughness (Beneficial Polishing Effect)**

### 3.3. Extreme-Height Parameters (Sz, Sp, Sv)

Whereas the mean parameters Sa and Sq identify the nature of the whole polishing regime, the peak height parameters Sp, Sv, and Sz make it possible to distinguish certain peculiarities of this regime. Figure 3 shows the above parameters for each of the sixteen cases, along with the reference Sz. Reference Sz amounts to 30.054 μm, which is not lower than in any of the treated surfaces, meaning that regardless of the decrease in average roughness, laser processing always created features of such extreme amplitudes that were higher than in the case of the as-received surface. The minimal Sz of the matrix is found at S13 (40%, 18 W, 1500 mm/s) and is 37.0 μm, i.e., 23% higher than in the reference condition. The maximal Sz equals 105.0 μm and can be seen in S9 (30%, 18 W, 1500 mm/s); this value is nearly three-and-a-half times as high as the reference one. It is worth mentioning that the Sz of the surface that exhibited a better outcome regarding the mean parameters, S9, is also the highest Sz of the matrix, proving that the creation of individual large pits is not prevented by good results concerning average roughness (Sv = 72.2 μm for S9 and 13.2 μm for the reference condition).

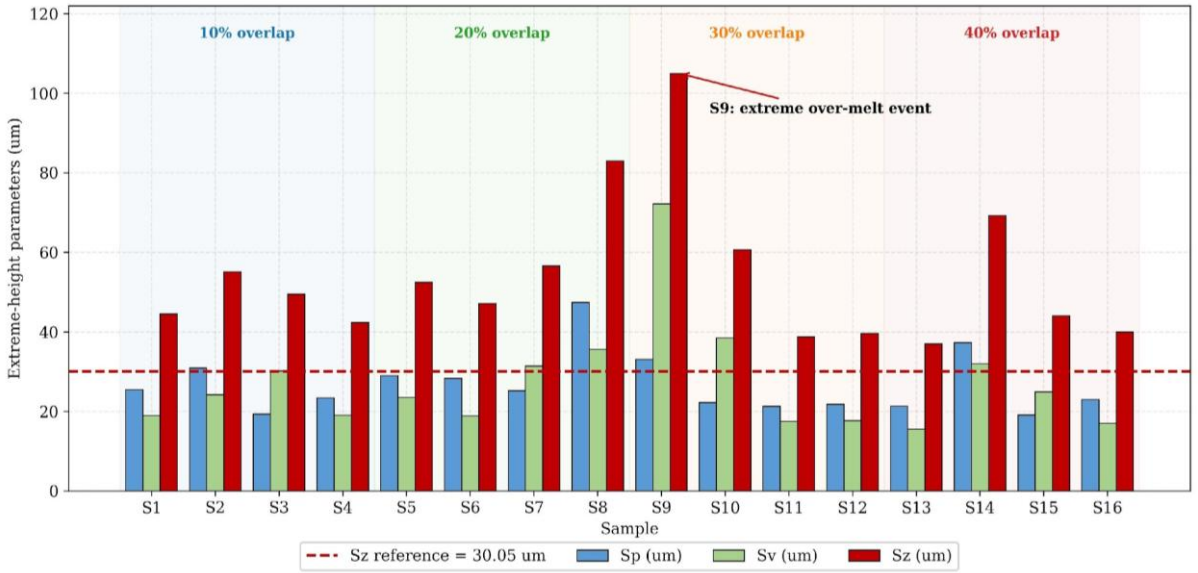



**Figure 3. Maximum Peak Height (Sp), Maximum Pit Height (Sv) And Maximum Height (Sz) of the Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. The Dashed Line Indicates the As-Received Sz Reference Level (30.054 µm)**

### 3.4. Height Distribution Parameters (Ssk, Sku)

Skewness and kurtosis of laser-textured surfaces in relation to the reference surfaces are shown in Figure 4. While the as-received reference shows very high positive skewness (Ssk = 0.705), implying that the texture surface is dominated by peaks, laser treatment significantly alters the distribution such that thirteen out of the sixteen treated surfaces have Ssk values varying from −0.283 to +0.226. This implies that the treated surfaces tend to be more symmetrical compared to the reference surface. Five cases (S7, S8, S11, S12, S15, and S16, where S11 has the lowest value of −0.283) exhibit negative skewness, which means that the micro-texture on these surfaces is dominated by pits. These pits are caused by the laser induced melt pool solidifying into pits on the residual peaks of the surfaces. Most treated surfaces show values of kurtosis ranging from 2.7 to 3.3, which tends to approximate the Gaussian value of three; however, S9 (Sku = 4.18, due to its high Sz and Sv values) and the reference surface (Sku = 2.99) are exceptions. For conditions satisfying both Gaussian criteria (Ssk = 0 and Sku =3), four cases were identified (S5, S6, S13, and S15).

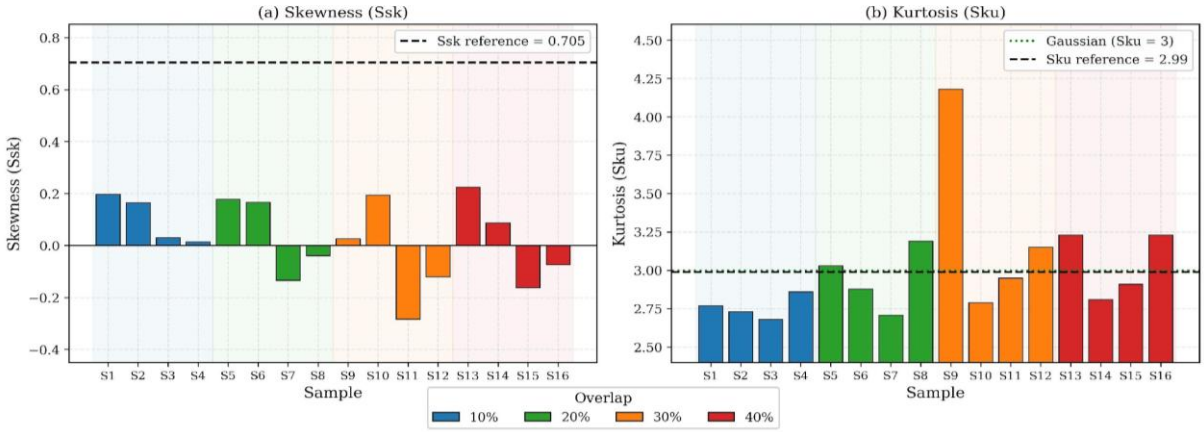



**Figure 4. Skewness (Ssk) and Kurtosis (Sku) of the Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. Dashed Lines Indicate the As-Received Reference Levels (Ssk_Ref = 0.705; Sku_Ref = 2.990); The Dotted Line Marks The Gaussian Kurtosis Value of Three**

### 3.5. Identification of the Optimum Parameter Set

The identification of the global optimum requires balancing between three aspects of criteria outlined in sections 3.2 - 3.4: the reductions of Sa and Sq compared to the baseline level, the value of Sz kept within a tolerable range, and the nearly Gaussian nature of the heights distribution. In the considered interval, only S5 and S9 meet the first criterion. Then, the second one becomes essential to discriminate between those two solutions. While S9 provides only marginal changes of Sa and Sq (by 3.4% and 2.1%, respectively), it is characterized by the worst extreme heights (Sz = 105.0 µm; Sv = 72.2 µm) and Skewness (Sku = 4.18) which altogether point to the presence of locally over-melted areas. In turn, S5 produces a relatively higher decrease of Sa (by 6.2%) and Sq (by 6.0%), shows Sz close to that of the general distribution (52.5 µm) among other parameters, and provides an ideally Gaussian heights distribution (Ssk = 0.179; Sku = 3.03). For all these reasons, S5 stands out as the globally optimized fiber-laser polishing parameter configuration for Ti6Al4V: 20% overlap (40 µm track pitch); 18 W laser power; 1500 mm/s scan speed; and a pulse frequency of 100 kHz.

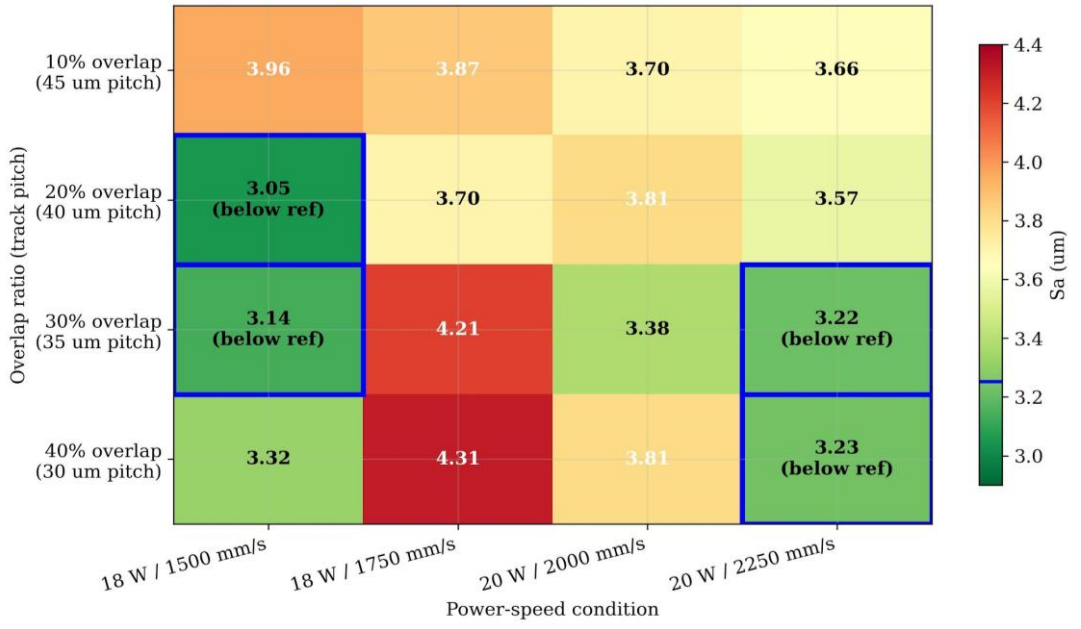



**Figure 5. Parameter Map of Sa as a Function of Overlap Ratio and Power–Speed Condition for Fiber Laser–Polished Ti6Al4V. Cells Outlined in Blue Indicate Sa Values Below The As-Received Reference (3.25 µm)**

### 3.6. Waviness Profiles

The parameters of the areas that are stated according to ISO 25178 and described in Sections 3.2-3.5 represent the features of the surface as a whole. As a supplement to these parameters and an additional tool for separating the long-wavelength component of topography from the short micro-roughness of surfaces, two-dimensional profiles of waviness were generated by using a single scan line across all tested surfaces. The waviness profiles were generated based on the results of the nanometer-scale profiling carried out on Nanovea PS-50 using a Gaussian filter with cut-off wavelength of 800 µm (according to ISO 4287), which spans the entire length of the scan window (5000 µm). All 16 waviness profiles are shown in Figure 6. In panel (a), the absolute profile heights are plotted, while panel (b) presents the profiles without means, i.e., the relative waviness.

Three classical metrics of waviness amplitudes were used to characterize the waviness of surfaces for each condition of processing, namely, arithmetic mean waviness Wa, root mean square waviness Wq, and the total waviness height Wt (difference between peak and valley heights). Their values for all 16 cases of laser treatment are summarized in Table 4.

**Table 4. Waviness Amplitude Parameters (Wa, Wq, Wt) Extracted from the Gaussian-Filtered (Cut-Off 800 µm) Waviness Profiles of the Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions. Rows Are Sorted by Ascending Wa (Smallest Long-Wavelength Amplitude First)**

| Sample | Overlap (%) | Power–Speed | Wa (µm) | Wq (µm) | Wt (µm) |
|---|---|---|---|---|---|
| S9 | 30 | 18 W / 1500 mm/s | 0.719 | 0.853 | 3.159 |
| S16 | 40 | 20 W / 2250 mm/s | 1.042 | 1.264 | 5.544 |
| S4 | 10 | 20 W / 2250 mm/s | 1.337 | 1.643 | 6.718 |
| S3 | 10 | 20 W / 2000 mm/s | 1.374 | 1.639 | 6.430 |
| S5 | 20 | 18 W / 1500 mm/s | 1.473 | 1.755 | 6.426 |
| S8 | 20 | 20 W / 2250 mm/s | 1.570 | 2.101 | 8.833 |
| S11 | 30 | 20 W / 2000 mm/s | 1.756 | 2.118 | 7.328 |
| S2 | 10 | 18 W / 1750 mm/s | 1.940 | 2.588 | 11.195 |
| S6 | 20 | 18 W / 1750 mm/s | 1.994 | 2.280 | 7.794 |
| S12 | 30 | 20 W / 2250 mm/s | 2.110 | 2.433 | 8.848 |
| S15 | 40 | 20 W / 2000 mm/s | 2.346 | 2.878 | 11.106 |
| S13 | 40 | 18 W / 1500 mm/s | 2.522 | 2.967 | 9.738 |
| S14 | 40 | 18 W / 1750 mm/s | 2.646 | 3.127 | 10.681 |
| S7 | 20 | 20 W / 2000 mm/s | 2.807 | 3.142 | 10.035 |
| S1 | 10 | 18 W / 1500 mm/s | 3.287 | 3.820 | 12.785 |
| S10 | 30 | 18 W / 1750 mm/s | 3.861 | 4.314 | 15.061 |

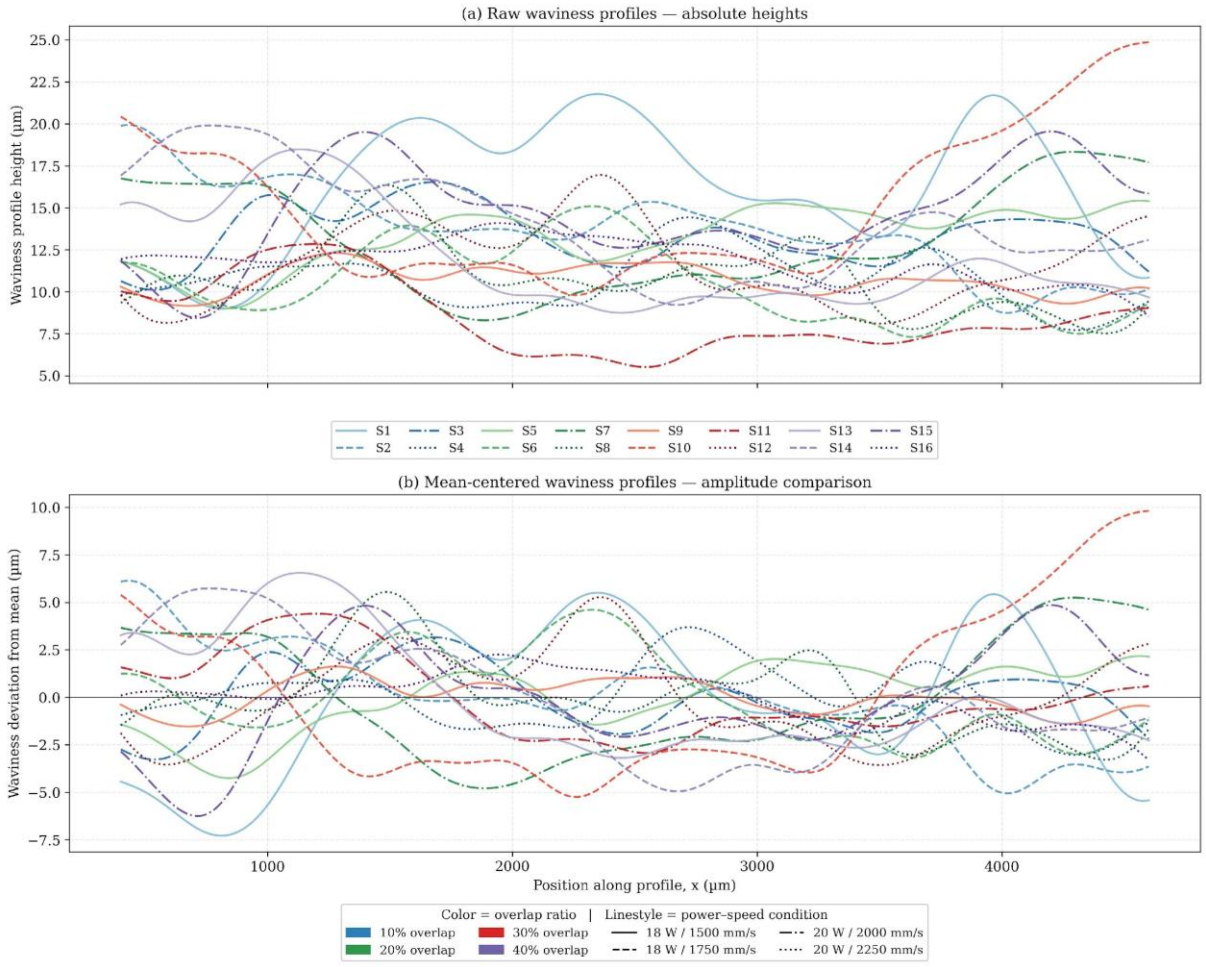



**Figure 6. Waviness Profiles of All Sixteen Fiber Laser–Polished Ti6Al4V Conditions Obtained With a Gaussian Filter at a Cut-Off Wavelength of 800 µm: (a) Raw Waviness Profiles (Absolute Heights); (b) The Same Profiles After Subtraction of Their Individual Means, Plotted On A Common Reference Level For Direct Amplitude Comparison. Colours Encode The Overlap Ratio (Blue: 10%, Green: 20%, Red: 30%, Purple: 40%); Line Styles Encode The Four Power–Speed Conditions (Solid: 18 W / 1500 mm/s; Dashed: 18 W / 1750 mm/s; Dash-Dot: 20 W / 2000 mm/s; Dotted: 20 W / 2250 mm/s)**

As can be seen in Figure 6 and Table 4, the heterogeneity of waviness is extremely significant, and there is a clear mismatch between the results in Table 5 and the roughness hierarchy reported in Section 3.2. The lowest value of waviness amplitudes is registered for condition S9 (30% overlap, 18 W, 1500 mm/s): the values of Wa and Wt equal 0.719 µm and 3.16 µm, respectively, being less than a quarter of the values under most noisy conditions. It is noteworthy that condition S9 also corresponds to the maximum values of Sz and Sv (see Section 3.3); thus, the long-wavelength part of the surface profile in this case is rather flat, and the high Sz and Sv values are associated with individual over-melt features located on the background of low waviness. The analogous situation, but much less pronounced, is observed for S16 (40% overlap, 20 W, 2250 mm/s), Wa = 1.04 µm, as well as for the two conditions with the highest speed in the 10% overlap row, namely, S3 and S4, Wa ≈ 1.35 µm. In turn, the maximal waviness

amplitudes are reached at conditions S10 (30% overlap, 18 W, 1750 mm/s), Wa = 3.86 µm, Wt = 15.1 µm, and S1 (10% overlap, 18 W, 1500 mm/s), Wa = 3.29 µm, Wt = 12.8 µm.

In the aggregate for all four combinations of power and speed, the averaged waviness amplitudes Wa were equal to 1.98 µm (10%), 1.96 µm (20%), 2.11 µm (30%), and 2.14 µm (40%), while the averaged Wt values were 9.28, 8.27, 8.60, and 9.27 µm, respectively. Therefore, the dispersion between these four averages is relatively low (lower than 10%) compared to the dispersion within each overlap group; in this regard, we have found similar results to those obtained for Sa and Sq. The order of waviness for each condition is determined by the combination of power–speed pair and stochastic melt-pool characteristics, and higher scan speeds for each overlap level (2000 and 2250 mm/s for S3, S4, S8, S11, S15, and S16) tend to show up as being in the lower waviness half of the matrix. Functionally, the optimum condition found in Section 3.5 (S5: 20% overlap, 18 W, 1500 mm/s) had a moderate waviness value (Wa = 1.47 µm, Wt = 6.43 µm). Thus, we can say that the selected optimum had a fairly smooth waviness value, placing it in the lower quartile of the matrix, indicating a well-blended surface characterized predominantly by micro-roughness. The analysis of waviness thus supports the conclusions made in Section 3.5. In particular, even though S9 represents the smoothest macroscopic surface in the whole matrix, it is dominated by the over-melt effect in terms of extreme height values, which precludes it from being a candidate for polishing optimum.

### 3.6. Three-Dimensional Surface Topography

The three-dimensional surface topographies created using the Nanovea PS-50 are shown below to provide additional visualization for the findings obtained quantitatively. This work compares the as-received surface against representative samples of laser treatments to show the change from the peak-oriented surface to a Gaussian-like one under the optimized parameters (S5). Moreover, the contrast in behavior is also provided for the minimum overlap case (S1) and maximum Sz sample (S9).

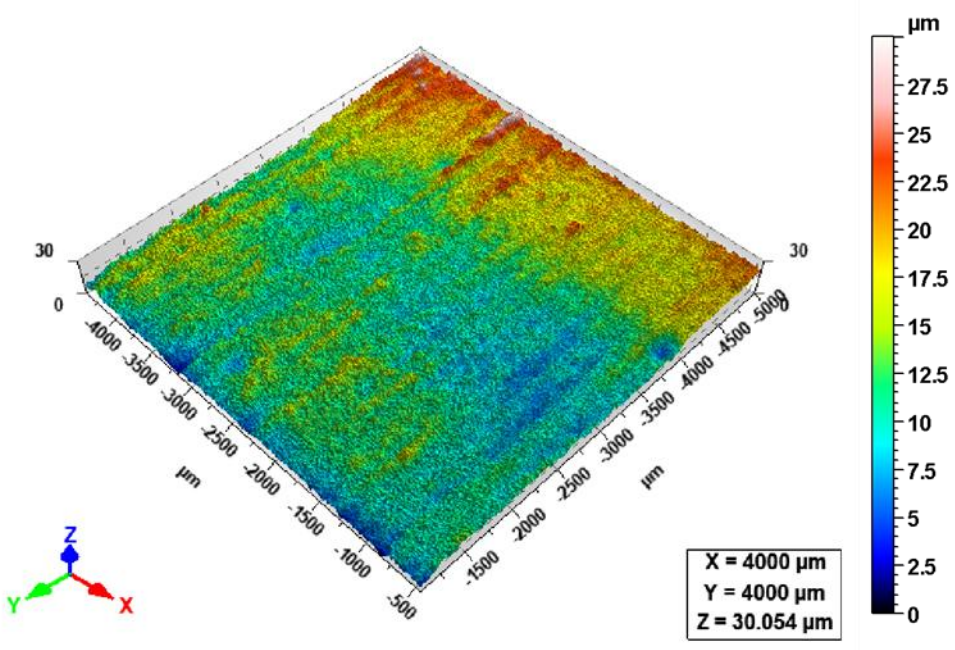



**Figure 7. Three-Dimensional Surface Topography of the As-Received Ti6Al4V Reference Surface, Showing the Peak-Dominated Baseline Texture (Sa = 3.252 µm; Ssk = 0.705)**

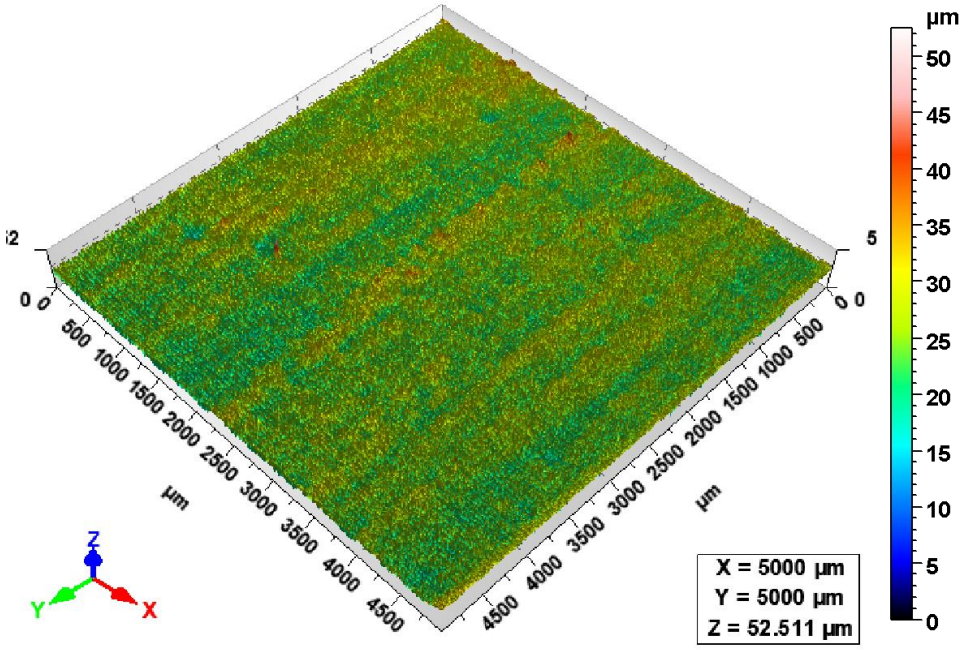



**Figure 8. Three-Dimensional Surface Topography of the Optimum Fiber Laser–Polished Condition, Sample S5 (20% Overlap, 18 W, 1500 mm/s), Showing The Smoothed and Near-Gaussian Topography (Sa = 3.05 µm; Sq = 3.79 µm; Ssk = 0.179; Sku = 3.03)**

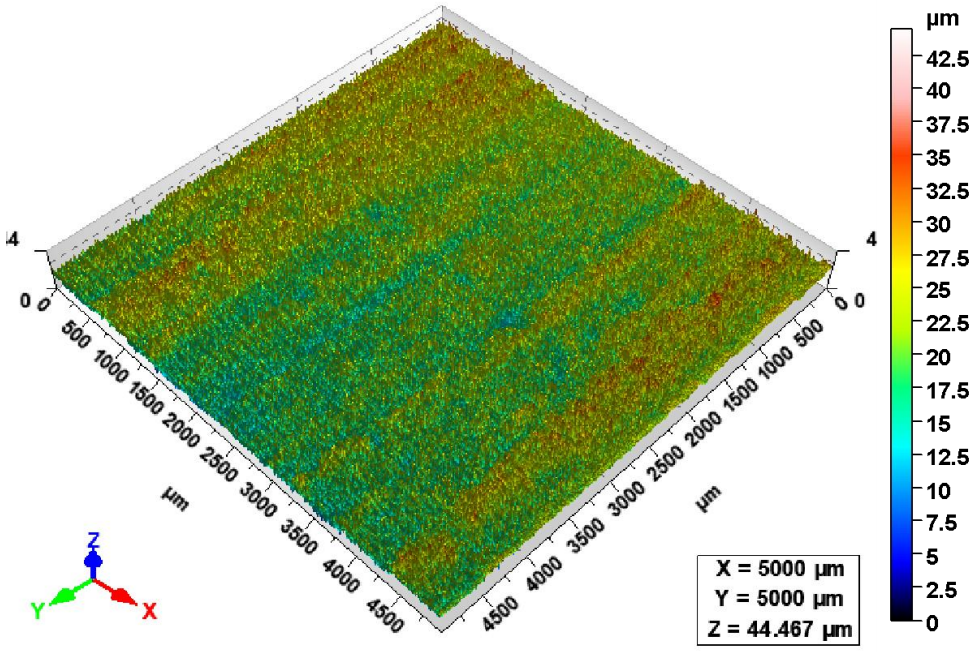



**Figure 9. Three-Dimensional Surface Topography of a Representative Low-Overlap Condition, Sample S1 (10% Overlap, 18 W, 1500 mm/s), Illustrating a Re-Melted Topography in Which the Average Roughness Rises Above the Reference Level (Sa = 3.96 µm; Sz = 44.5 µm)**

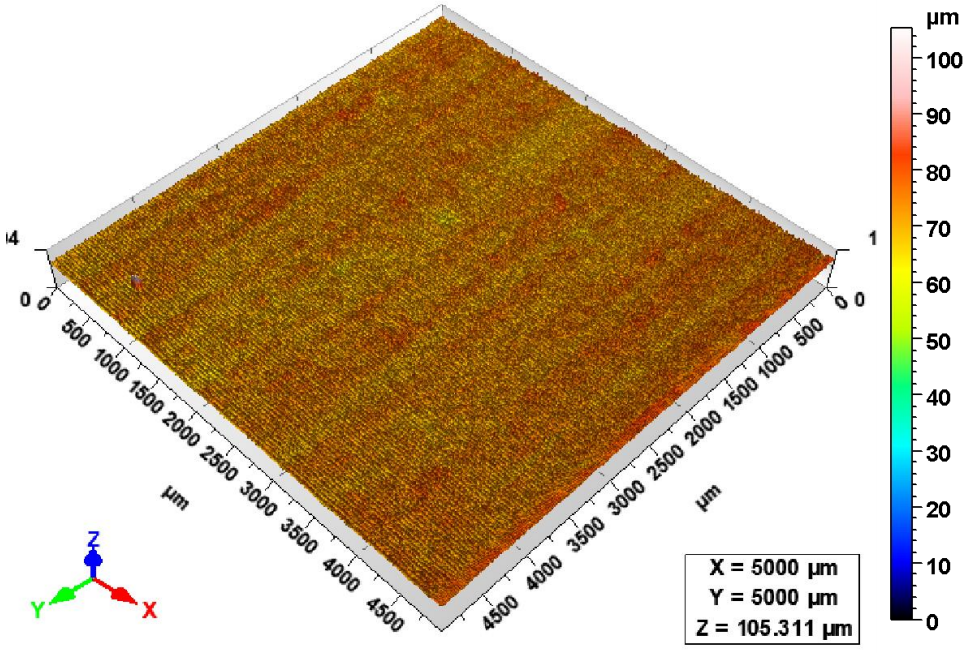



**Figure 10. Three-Dimensional Surface Topography of Sample S9 (30% Overlap, 18 W, 1500 mm/s), Showing Localized Over-Melted Features That Drive the Extreme-Height Parameters to Sz = 105 µm And Sv = 72.2 µm Despite a Slight Reduction in Sa**

### 3.8. Analysis of Variance (ANOVA)

In order to identify statistically the parameter that dominates each of the responses associated with the surface roughness, two-way ANOVA analysis was done using the experimental results from the L16 orthogonal array data considering overlap ratio and combination of power and speed as categories. This analysis is done individually for each of the five roughness variables and the results are presented in Table 5 and Figure 11.

**Table 5. Two-Way ANOVA Results for the Areal Roughness Responses of Fiber Laser–Polished Ti6Al4V**

| Response | Source | DF | Sum of Squares | F-ratio | p-value | PC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sa | Overlap ratio | 3 | 0.236 | 0.89 | 0.483 | 11.2 |
| | Power | 1 | 0.087 | 0.985 | 0.347 | 4.1 |
| | Speed | 2 | 0.988 | 5.59 | 0.026 | 46.9 |
| | Residual | 9 | 0.795 | — | — | 37.8 |
| | Total | 15 | 2.106 | | | 100 |
| Sq | Overlap ratio | 3 | 0.311 | 0.814 | 0.518 | 10.7 |
| | Power | 1 | 0.104 | 0.817 | 0.39 | 3.6 |
| | Speed | 2 | 1.339 | 5.259 | 0.031 | 46.2 |
| | Residual | 9 | 1.146 | — | — | 39.5 |
| | Total | 15 | 2.9 | | | 100 |
| Sz | Overlap ratio | 3 | 646.922 | 0.487 | 0.7 | 12.8 |
| | Power | 1 | 373.456 | 0.843 | 0.382 | 7.4 |
| | Speed | 2 | 37.611 | 0.042 | 0.959 | 0.8 |
| | Residual | 9 | 3985.816 | — | — | 79 |
| | Total | 15 | 5043.804 | | | 100 |
| Ssk | Overlap ratio | 3 | 0.045 | 2.973 | 0.089 | 12.6 |
| | Power | 1 | 0.252 | 50.137 | <0.001 | 70.8 |
| | Speed | 2 | 0.014 | 1.357 | 0.305 | 3.8 |
| | Residual | 9 | 0.045 | — | — | 12.8 |
| | Total | 15 | 0.356 | | | 100 |
| Sku | Overlap ratio | 3 | 0.533 | 2.125 | 0.167 | 26.7 |
| | Power | 1 | 0.034 | 0.409 | 0.538 | 1.7 |
| | Speed | 2 | 0.674 | 4.029 | 0.056 | 33.8 |
| | Residual | 9 | 0.753 | — | — | 37.8 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total | 15 | 1.994 | | | 100 |

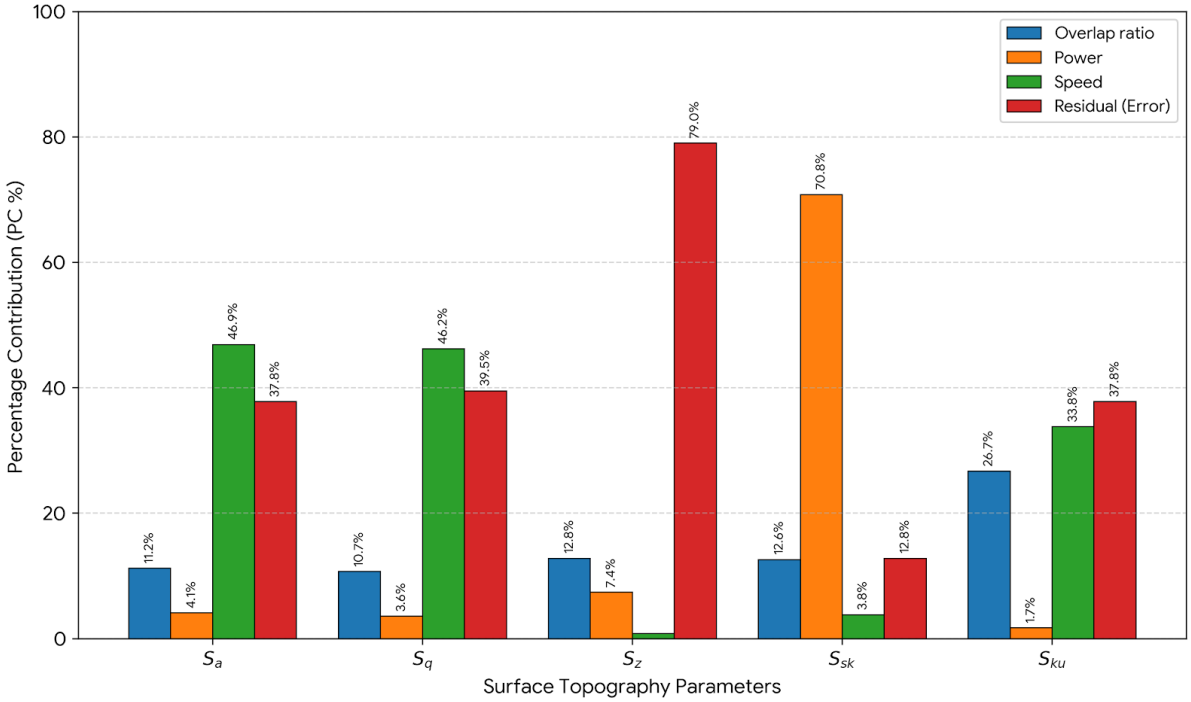



**Figure 11. Decoupled ANOVA Percentage Contributions of Individual Laser Processing Parameters and Residual Error to the Evaluated Surface Topography Characteristics**

Results presented in Table 5 illustrate the rearranged ANOVA output and the percentage contribution (PC) of the laser polishing individual factors, overlap ratio, laser power, and scanning speed to surface topography parameters such as Sa, Sq, Sz, Ssk, and Sku. Through separating the power–speed interaction effect to its individual factors, one can easily determine the significance of each factor.

In case of the two main surface amplitude parameters (Sa and Sq), the main contributor factor was found to be the scanning speed, which contributed 46.9% and 46.2% of the variance, respectively ($p < 0.05$). Such an outcome implies that the change of the line energy density due to different velocities plays a crucial role in controlling the mean profile roughness value. At the same time, individual contribution of laser power to the mentioned parameters was relatively low and equal to 4.1% and 3.6% for Sa and Sq, respectively.

It should be highlighted that another remarkable result relates to the surface skewness (Ssk). The results of decoupled ANOVA show that laser power appears to be the most significant parameter affecting surface asymmetry, with a large contribution equal to 70.8% and high significance, as reflected in F-ratio (50.137, $p < 0.001$). The above-mentioned strong dependency proves that changes in laser power influence the degree of dominance between peak melting and valley filling, leading to the shift of surface morphology to valley dominant profile shapes.

Furthermore, concerning the maximum surface height (Sz), the residual contribution amounts to 79.0%. This means that as an extreme parameter, Sz is highly sensitive to micro-spattering and local stochastic anomalies, which is why it cannot be accurately predicted from changes in the main parameters compared to average roughness parameters. Finally, in regards to surface kurtosis (Sku), three factors, such as scanning speed (33.8%), residual contribution (37.8%), and overlap ratio (26.7%), seem to codetermine the sharpness of profile peaks.

It is clearly evident from the chart that shows the individual parameter contributions (see Fig. 10) that scanning speed significantly influences both the Sa parameter (contribution 46.9%) and the Sq one (contribution 46.2%). Moreover, when discussing the influence on the spatial symmetry of the surface profile (Ssk), it becomes apparent that laser power is the most significant influencing factor, contributing to 70.8%. As seen from the chart, increasing power is more effective at shifting the dynamic equilibrium of the process toward peak melting and valley filling. In addition, the residual contribution of Sz amounting to 79.0% indicates its high sensitivity to the occurrence of stochastic phenomena and hydrodynamic instabilities, compared to the deterministic dependencies of main parameters.

## 4. CONCLUSIONS

The effect of the overlap ratio on the surface roughness characteristics of Ti6Al4V alloy processed with 100 kHz pulsed fiber laser polishing technology in terms of areal characteristics (ISO 25178) was explored using L16 orthogonal array of four overlap ratios (10%, 20%, 30%, 40%, equal to 45 μm, 40 μm, 35 μm, 30 μm track pitches, respectively) crossed with four combinations of laser power and scan speed (18 W/1500 mm/s, 18 W/1750 mm/s, 20 W/2000 mm/s, 20 W/2250 mm/s) at a constant spot diameter of 50 μm. The polishing performance in terms of roughness is discussed relative to the reference sample, where ISO 25178 areal parameters of the surfaces Sa, Sq, Sz, Sp, Sv, Ssk, and Sku were recorded with the use of Nanovea PS-50 non-contact laser profilometer. Two-way ANOVA analysis was performed in order to estimate the contribution of each laser parameter to roughness characteristics. The key conclusions are listed below:

Out of the sixteen investigated treatment conditions, only two were able to produce a decrease in both Sa and Sq as compared to the reference: S5 (20%, 18 W, 1500 mm/s; 6.2% decrease in Sa and 6.0% decrease in Sq) and S9 (30%, 18 W, 1500 mm/s; 3.4% and 2.1% decreases in Sa and Sq, respectively). Both treatment conditions correspond to the slowest scan speed (1500 mm/s) and the lowest laser power used.

The lowest investigated overlap ratio (10%) was the least effective one, as it failed to produce an Sa below the reference for all combinations of power and speed; moreover, it produced the highest roughness (Sa from 3.66 μm up to 3.96 μm), because at 45 μm track pitch there is a 5 μm overlap only.

None of the sixteen treatment conditions succeeded in producing an Sz less than the reference (Sz = 30.054 μm); the smallest Sz obtained was equal to 37.0 μm at S13 (40% overlap, 18 W,

1500 mm/s), while the largest Sz was found to be 105.0 μm at S9. Case S9 illustrates how a relatively favorable average roughness may exist along with deep pits and peaks.

Two-way ANOVA analysis shows that the dominant, and also statistically significant, factor affecting average roughness parameters is the combination of power and speed, not overlap ratio (Sa: $F = 4.055$, $p = 0.045$, PC = 51.0%; Sq: $F = 3.778$, $p = 0.053$, PC = 49.8%). Power-speed is a highly significant factor for skewness ($F = 17.612$, $p < 0.001$, PC = 74.7%). The contribution of overlap ratio does not exceed 11-13% in all three cases and is statistically insignificant. Yet it accounts for the transition from 10% regime (track-ridge regime) to 20% and above (well-blended regime).

Maximum height Sz appears to be neither affected by overlap ratio ($p = 0.70$), nor by power-speed condition ($p = 0.82$). The 79.0% of variability is left to the residual part; thus, Sz is driven by the stochastic melt-pool formation process, such as localized spatter or over-melted ridges, which cannot be explained by a two-factor model.

Taking into account the following conditions: decrease in average roughness, Sz in the central distribution range, and Gaussian-like profile of heights (Ssk close to zero and Sku close to three), the parameter set S5 (20% overlap, 40 μm track pitch; 18 W laser power; 1500 mm/s scan speed at 100 kHz frequency) is selected as optimal in the window studied. It provides both effective power-speed pair for average roughness and sufficiently high overlap that suppresses the undesired texture, observed at 10%.

The waviness profiles (filtered out with Gaussian filter with cutoff = 800 μm) proved to be very heterogeneous. The lowest waviness is observed at S9 (Wa = 0.72 μm, Wt = 3.16 μm), which is also the condition with the largest Sz; it means that extreme points at S9 represent a peak or pit caused by localized over-melt of the material superimposed on exceptionally smooth baseline of the waives. The largest values of waviness amplitudes are measured at S10 (Wa = 3.86 μm) and S1 (Wa = 3.29 μm). The average value of Wa per each overlap ratio is in a narrow range from 1.96 to 2.14 μm; the ranking coincides with that of two-way ANOVA results, hence, the overlap ratio is not the dominant factor affecting long wavelength response.

The evaluation of the roughness performance based on the complete set of ISO 25178 parameters, not only Sa, confirms its importance: the average roughness, the extreme heights and distribution of heights are driven by different parameter-process interactions and randomness. The ranking based on the sole parameter Sa fails to differentiate between conditions S5 and S9 properly, which is crucial taking into account the penalty in Sz and Sv.

**ACKNOWLEDGEMENTS**
The authors gratefully acknowledge the Faculty of Aeronautics and Astronautics WEAR LAB, Kocaeli University, for providing access to the laser processing and surface characterization facilities used in this study.

## REFERENCES

**18.** Lin, N., Li, D., Zou, J., Xie, R., Wang, Z., Tang, B. Surface texture-based surface treatments on Ti6Al4V titanium alloys for tribological and biological applications: A mini review, Materials, 11, 4, 2018.
**19.** Huang, S., Zeng, J., Wang, W., Zhao, Z. Study on laser polishing of Ti6Al4V fabricated by selective laser melting, Micromachines, 15, 3, 2024.
**20.** Wang, H., Cheng, Q., Chang, Z., Wang, K., Gao, X., Fan, X. The study on corrosion resistance of Ti-6Al-4V ELI alloy with varying surface roughness in hydrofluoric acid solution, Metals, 14, 3, 2024.
**21.** Le Roux, P. A., Laubscher, R. F., Schubert, A. Machining for an increased fatigue life for a Ti-6Al-4V ELI component, Procedia CIRP, 87, 2020.
**22.** Solheid, J. S., Mohanty, S., Bayat, M., Wunsch, T., Weidler, P. G., Seifert, H. J., Pfleging, W. Laser polishing of additively manufactured Ti-6Al-4V: Microstructure evolution and material properties, Journal of Laser Applications, 32, 2, 2020.
**23.** Ma, C. P., Guan, Y. C., Zhou, W. Laser polishing of additive manufactured Ti alloys, Optics and Lasers in Engineering, 93, 2017.
**24.** Krishnan, A., Fang, F. Review on mechanism and process of surface polishing using lasers, Frontiers of Mechanical Engineering, 14, 3, 2019.
**25.** Yung, K. C., Xiao, T. Y., Choy, H. S., Wang, W. J., Cai, Z. X. Laser polishing of additive manufactured CoCr alloy components with complex surface geometry, Journal of Materials Processing Technology, 262, 2018.
**26.** Zeng, J., Zhang, W., Guo, T., Lou, Y., Wang, W., Zhao, Z., Wang, C. Numerical and experimental analysis of dual-beam laser polishing additive manufacturing Ti6Al4V, Micromachines, 14, 9, 2023.
**27.** Perry, T. L., Werschmoeller, D., Li, X., Pfefferkorn, F. E., Duffie, N. A. Pulsed laser polishing of micro-milled Ti6Al4V samples, Journal of Manufacturing Processes, 11, 2, 2009.
**28.** Bhaduri, D., Penchev, P., Batal, A., Dimov, S., Soo, S. L., Sten, S., Dong, H. Laser polishing of 3D printed mesoscale components, Applied Surface Science, 405, 2017.
**29.** Hafiz, A. M. K., Bordatchev, E. V., Tutunea-Fatan, R. O. Influence of overlap between the laser beam tracks on surface quality in laser polishing of AISI H13 tool steel, Journal of Manufacturing Processes, 14, 4, 2012.
**30.** Marimuthu, S., Triantaphyllou, A., Antar, M., Wimpenny, D., Morton, H., Beard, M. Laser polishing of selective laser melted components, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 95, 2015.
**31.** Todhunter, L. D., Leach, R. K., Lawes, S. D., Blateyron, F. Industrial survey of ISO surface texture parameters, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 19, 2017.
**32.** Li, J., Wu, H., Liu, H., Zuo, D. Surface and property characterization of selective laser-melted Ti-6Al-4V alloy after laser polishing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 128, 1, 2023.
**33.** Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear, Wear, 266, 3-4, 2009.
**34.** Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surfaces, Tribology International, 48, 2012

# GAZ TÜRBİNLERİNDE EKSENEL AKIŞLI TÜRBİN İÇİN KANAT TASARIMI

**Recep AKSEKİ**
Yıldız Teknik Üniversitesi,
recep.akseki@std.yildiz.edu.tr - 0009-0001-8947-2295

**Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ**
Yıldız Teknik Üniversitesi,
ucelebi@yildiz.edu.tr - 0000-0002-2658-1291

**Doç. Dr. Doğuş ÖZKAN**
Milli Savunma Üniversitesi,
dogus.ozkan@msu.edu.tr - 0000-0002-3044-4310

## ÖZET

Dünya üzerinde enerjiye olan talebin artması, enerjiye erişim konusunda zorluklar yaşanması, daha temiz bir çevre oluşturulması ile sistem/cihazların güvenilir ve daha uzun ömürlü olması gibi isterler ve kısıtlar sonucunda yüksek verimli makinelerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda denizcilik ve havacılık sektöründe yüksek tercih edilebilirliğe sahip olan gaz türbinleri bunun en büyük örneklerinden biri olarak gösterilebilmektedir. Bu kapsamda çeşitli kullanım alanlarına sahip gaz türbinlerinin her bir parçası için çeşitli tasarım, optimizasyon ve analiz çalışmaları yoğun bir şekilde devam etmektedir. Yapılan çalışmada gaz türbinlerinin parçalarından biri olan eksenel akış türbin tasarımına odaklanılarak verimli bir türbin tasarımı yapılması amaçlanmaktadır. Eksenel akışlı türbinler stator ve rotor olarak isimlendirilen iki ana parçadan meydana gelmektedir. Stator sabit kanat yapısı olup yanmış gazların yönünü düzenlerken rotor ise hareketli kanat yapısına sahip olup statordan gelen sıcak gazların etkisi ile iş üretimine imkân sağlamaktadır. Kanat tasarım çalışmalarına ilk olarak ihtiyaç duyulacak itki veya gücü verebilecek ön tasarım parametreleri ve değerlerinin belirlenmesi ile başlanmıştır. Ardından bu değerler kullanılarak bir boyutlu mekanik tasarım yapılmaktadır. Devamında çeşitli türbin tasarımlarında kullanılan analiz uygulamaları yardımıyla iki boyutlu kanat tasarımı yapılarak tasarımın istenilen verim, güç gibi değerleri sağladığı kontrol edilmektedir. Ayrıca mekanik tasarım ile iki boyutlu tasarım sonucunda elde edilen değerlerin karşılaştırılması yapılarak sonuçlar doğrulanmaktadır. Son olarak tasarlanan kanat profillerinin akış analizleri yapılarak tasarımın uygunluğu değerlendirilmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada eksenel akışlı bir türbine ait kanat tasarımı sırasında izlenilecek yol ve süreç anlatılmak istenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz Türbini, Eksenel Akışlı Türbin, Kanat Tasarımı

# BLADE DESIGN FOR AXIAL-FLOW TURBINES IN GAS TURBINES

## ABSTRACT

The growing global demand for energy, challenges in accessing energy, the need for a cleaner environment, and the desire for more reliable and longer lasting systems and devices have paved the way for the development of high-efficiency machines. Gas turbines, which are highly sought after in the maritime and aviation sectors, can be cited as one of the main examples of this. In this context, intensive design, optimization, and analysis work is currently underway for each component of gas turbines used in various applications. The aim of this study is to develop an efficient turbine design by focusing on the axial-flow turbine, which is one of the components of gas turbines. Axial-flow turbines consist of two main components, the stator and the rotor. The stator has a fixed blade design and directs the flow of the combustion gases, while the rotor has a moving blade design and generates power through the action of the hot gases coming from the stator. The blade design work began with the determination of preliminary design parameters and values capable of providing the required thrust or power. These values are then used to create a one-dimensional mechanical design. Then, a two-dimensional blade design is created using analysis software commonly used in various turbine designs, and the design is verified to ensure it provides the desired efficiency and power specifications. In addition, the results are validated by comparing the values obtained from mechanical design with those from two-dimensional design. Finally, the suitability of the design is evaluated by performing flow analyses on the newly designed blades profiles. In conclusion, this study aims to describe the approach and process to be followed during the blade design of an axial-flow turbine.

**Keywords:** Gas Turbine, Axial-Flow Turbine, Blade Design

## 1. INTRODUCTION

Gas turbines are recognized as one of the most significant engineering products of modern technology, leading to radical changes, either directly or indirectly, across many sectors ranging from human life to aviation, the maritime industry, and power generation. They have been highly preferred, particularly due to various advantages such as their low weight and high-power output. Although gas turbines had various application areas in different periods, their first significant applications began with experimental studies conducted before Second World War, while their main impact was witnessed during the Second World War. When examining the milestones in the history of gas turbines, the first name that comes to mind is Frank Whittle, who is recognized as the pioneer of jet engines and is the person who made the first patent application. During the same period, Dr. Hans von Ohain also developed and tested a turbojet engine by conducting similar studies. Frank Whittle and Hans von Ohain, who made their first flights by developing independent turbojet engines, are recognized as the two designers who

pioneered the gas turbine [1]. In addition, in recent years, the production of materials resistant to high temperatures and the use of new types of materials in gas turbine technology. As a result of the increasing knowledge and experience regarding the designs of compressors, turbines, and combustion chambers, and finally, the developments in computer technology alongside the development of various design and analysis applications for gas turbines, it enables the emergence of reliable, fast, and highly efficient designs [2].

## 2. INVESTIGATION OF GAS TURBINES

Although gas turbines have a complex structure, when examined in their most basic form, the system is described in terms of the three main components shown in figure 1, the compressor, the combustion chamber, and the turbine. The main purpose of gas turbines is to generate thrust or shaft power using the power produced by the turbine. If no combustion is performed within the system, the work produced by the compressor will equal the work produced by the turbine, thus only allowing the system to run itself. However, since the main objective is to generate power output from the turbine, the energy of the system is increased before the turbine inlet in gas turbines. In this context, when examining gas turbines, the air initially taken into the system from the outside is compressed through compressors, so increasing its temperature and pressure; the compressed air is delivered to the combustion chamber, where it is mixed with fuel and combustion is carried out. Finally, the combustion gases, whose energy and temperature have been increased, are expanded through a turbine to produce the required work. In this way, both the work required for the system to operate and the thrust and power are generated. [3].

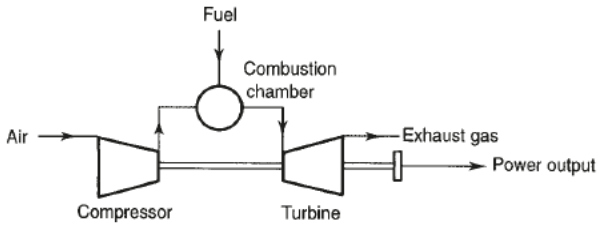



**Figure 1** View of the gas turbine cycle [3]

## 3. AXIAL-FLOW TURBINES

Axial-flow turbines are one of the most used gas turbine components in today's gas turbine applications. Axial-flow turbines consist of two main components that perform two critical functions. One of these is the stationary blade assembly, known as the stator, which is located closer to the combustion chamber. The stator blades guide the burned gases exiting the combustion chamber, allowing the flow to accelerate. Another important component is the moving blade assembly, known as the rotor, which follows the stator blades and is mounted on a disk. The rotor blades move under the force of hot gases, enabling the generation of mechanical work [4].

### 3.1. AXIAL-FLOW TURBINE STAGE

When describing the flow conditions within an axial-flow turbine stage, the stage is divided into three main sections. The first point is referred to as the stator inlet, the second point as the rotor inlet, and the third point as the rotor outlet. As the flow passes through the turbine stage, changes occur in the velocity, temperature, and pressure values at each inlet and outlet. In this context a view of an axial-flow turbine is shown in figure 2.

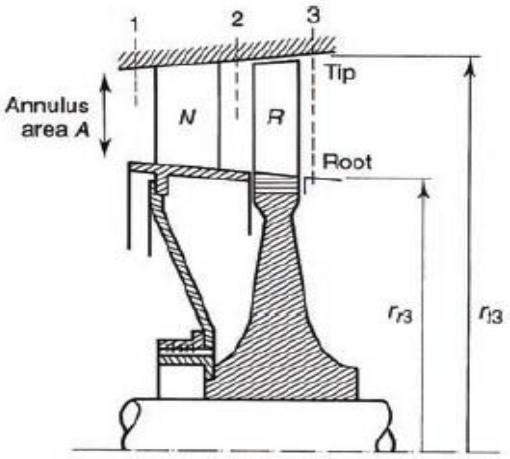



**Figure 2** View of the turbine stage [3]

The flow exiting the combustion chamber first enters the stator blades at an absolute angle $(\alpha_1)$ and an absolute velocity $(c_1)$. The flow velocity is increased within the stator and directed toward the rotor; thus, the flow exits the stator with an absolute angle $(\alpha_2)$ and an absolute velocity $(c_2)$ and transitions to the rotor with a relative velocity $(w_2)$ and a relative angle $(\beta_2)$. At this point, mechanical work is generated by the flow entering the rotor and passing through it. Finally, the flow completes the energy conversion by leaving the rotor with a relative velocity $(w_3)$ and a relative angle $(\beta_3)$ [5].

In this context, the velocity triangles shown in figure 3 are used to provide a detailed representation of the text described above and to facilitate a better understanding of velocity and angle values during the design process.

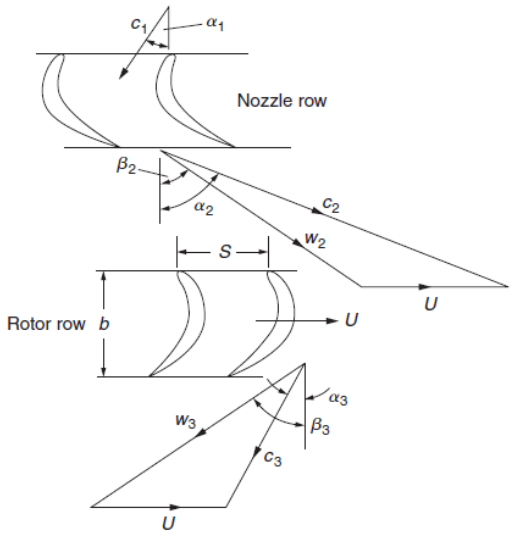



**Figure 3** Velocity triangles for the turbine stage [5]

### 3.2 AXIAL-FLOW TURBINE DESIGN

In this section, the focus will be on the design of a single-stage axial-flow turbine using the AxSTREAM software application. The operations performed until reaching the design point will only be mentioned to establish a roadmap and will not be detailed. A multifaceted process is operated in the design of an axial-flow turbine, and the design is realized following a continuous, repetitive optimization process. In this context, the steps to be followed during the design of a single-stage axial-flow turbine are presented below in order.

- The design must first begin with determining the required design specifications. Then, similar studies in the relevant literature should be reviewed, and the assumptions and parameters to be used in the design should be determined accordingly.
- To determine the inlet conditions for the axial-flow turbine, a thermodynamic cycle analysis of the gas turbine should be conducted, and the discrepancies results should be verified through various simulations.
- A preliminary design study should be conducted by performing one-dimensional mechanical calculations for the axial-flow turbine stage. Here, the stator and rotor blade angles, velocities, blade dimensions, and the physical properties of the flow must be calculated.
- The values obtained from the results of the thermodynamic cycle and the one-dimensional mechanical calculations should be entered into the AxSTREAM analysis application to perform one-dimensional calculations, which should then be compared with the manual calculations. If the calculations reveal any discrepancies, the design should be re-optimized.
- The design of the stator and rotor blades should be developed by transitioning from the AxSTREAM analysis application to a two-dimensional design to arrange efficiency and power requirements. At the same time, two-dimensional analyses

should be used to monitor critical parameters of the turbine blades, such as temperature, pressure, and Mach numbers.

- Finally, the latest blade designs should be compared with the values obtained from three-dimensional computational fluid dynamics (CFD) analyses to verify that they arrange the required criteria.

## 4. DESIGN OF A SINGLE-STAGE AXIAL-FLOW TURBINE USING THE AXSTREAM APPLICATION

AxSTREAM is a design and analysis software that enables users to efficiently and reliably perform all design and analysis stages for various types of turbomachinery, such as turbines and compressors [6]. In this context, a single-stage axial-flow turbine will be designed using the AxSTREAM design and analysis software. The design of an axial-flow turbine begins with the preliminary design phase. In this section, the values obtained from the gas turbine cycle analysis and mechanical calculations are entered into the module design parameters section of the preliminary design sheet used in the AxSTREAM. The parameter values entered the design software are shown in table 1

**Table 1.** Basic design parameters

| Parameters | Values |
|---|---|
| Total temperature at inlet | 1150 K |
| Total pressure at inlet | 350,12 kPa |
| Mass flow rate | 1,78 kg/s |
| Total pressure at outlet | 169,14 kPa |
| Shaft rotational speed | 52000 rpm |
| Mean diameter | 100-200 mm |
| Number of stages | 1 |
| 1st stage blade height | 15-30 mm |

The AxSTREAM design and analysis application generates different designs based on the boundary conditions defined by the designer during the preliminary design phase and the number of iterations. Here, it allows the designer to select the most suitable design using various parameters such as blade geometries, angles, and velocity values Also, during the preliminary design stage, it provides the designer with the opportunity to perform filtering by defining values for parameters that affect the design, such as the work coefficient and blade height [7].

In this context, design models are obtained based on the parameters entered during the preliminary design phase in figure 5.

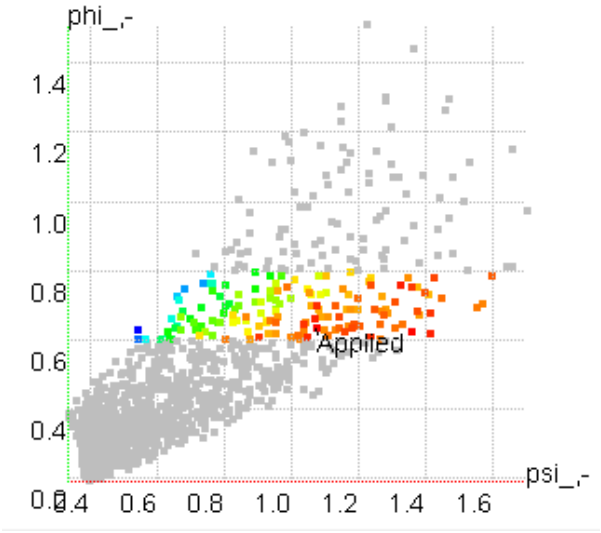



**Figure 5** Design models

Following the preliminary design phase, the process moves on to the S1 optimization phase, which allows for the modification of parameters such as the boundary conditions of the blade design generated by the application, blade geometry, and the number of rotor and stator blades [8]. In this context, parameters such as pitch/chord and aspect ratio are adjusted for the stator and rotor blades after obtaining 33 blades for the stator and 29 blades for the rotor, the process proceeds to 1D/2D streamline optimization. It enables the optimization of stator and rotor blades using 1D/2D streamline analysis, together with the examination of various parameters such as pressure, temperature, and velocity along the flow path [8]. In this context, by performing streamline optimization at a mass flow rate of 1.78 kg/s, an attempt has been made to establish a suitable flow path geometry that can arrange the target power and efficiency values. The turbine values obtained because of the optimization are presented in Table 2.

**Table 2.** Results of the streamline

| Property | Unit | Value |
|---|---|---|
| Total pressure at inlet | kPa | 328,58 |
| Total temperature at inlet | K | 1150 |
| Total temperature at outlet | K | 982,1 |
| Static pressure at outlet | kPa | 137,21 |
| Total pressure at outlet | kPa | 169,13 |
| Shaft rotational speed | rpm | 52000 |
| Total-total pressure ratio | - | 1,948 |

In addition, as a result of the streamline optimization, the turbine power was found to be 307,7 kW and efficiency 86,4%. After optimization, the flow area at the stator inlet was

determined to be 0.0097 m², and at the outlet, 0.0112 m². When examination of the rotor, the flow area at the rotor inlet was calculated to be 0.01156 m², and at the outlet, 0.0134 m². In addition, the diameter data for the tip, mean, and hub regions, along with the axial length values of the stator and rotor blades, are shown in figure 6.

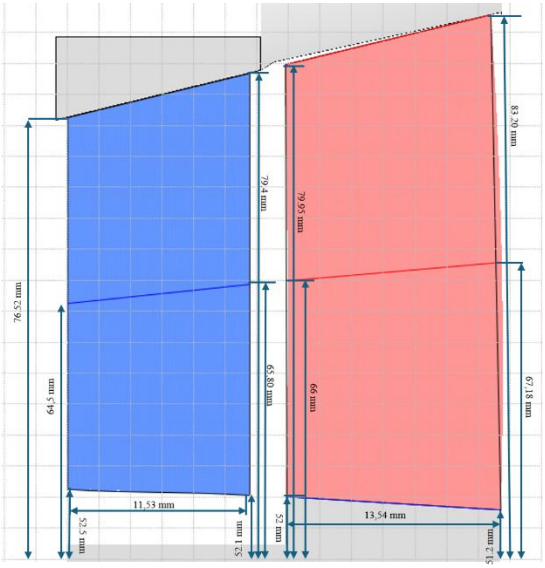



**Figure 6** Flow path geometry

On the profile design page, you can adjust various parameters such as the inlet and outlet angles of departure, leading and trailing edge, and stagger angle to determine the optimal blade profile [9]. In addition, because the system has a dynamic structure, it allows users to view the results of changes made through graphs and images. In this context shows the general appearance of the stator and rotor blades along the mean line resulting from the optimization performed, figure 7.

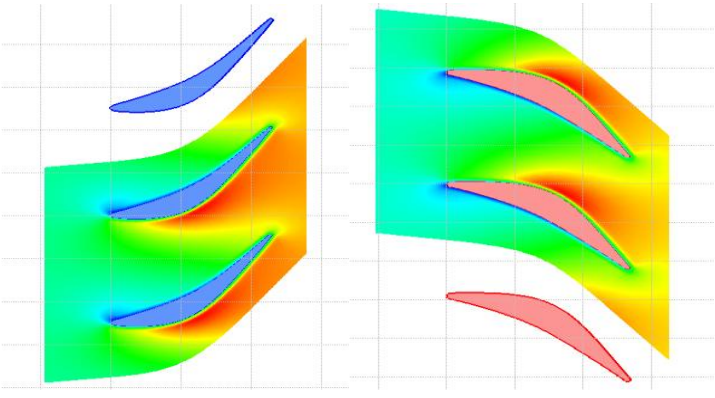


**Figure 7** Stator and rotor blade profiles on the mean line

As a result of the flow path optimization, the inlet static pressure was found to be 311.5 kPa, the outlet pressure 136 kPa, the inlet static temperature 1132 K, and the outlet temperature 929.9 K. The static temperature and pressure distributions in the 2D flow path are shown in figure 8.

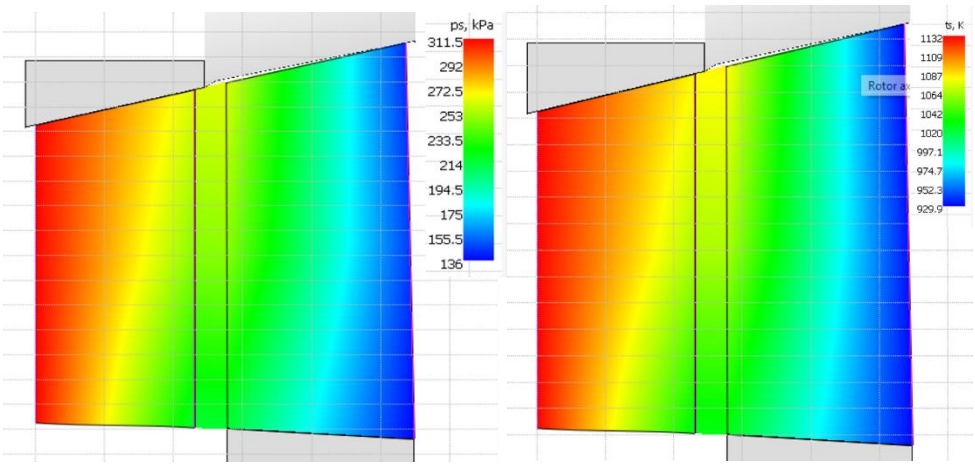



**Figure 8** Static temperature and pressure distributions

When examining figure 7 based on the streamline analysis, a gradual decrease in static temperature and pressure values is observed from the inlet to the outlet. As the flow progresses, it can be observed that the expansion process which is the turbine's function takes place as temperature and pressure decrease.

Finally, shows a three-dimensional view of the stator and rotor blade profiles designed using AxSTREAM, in figure 9.

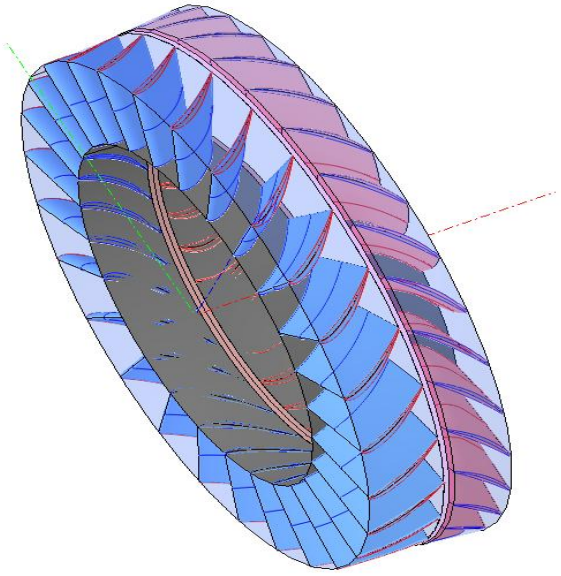


**Figure 9.** 3D view of the stator and rotor blades

## 5. GENERAL EVLUATION AND CONCLUSIONS

This study focuses on the preliminary design of an axial-flow turbine, and a sample axial-flow turbine design was carried out using the AxSTREAM design and analysis software.

The study attempts to provide a detailed analysis under three main headings. First, general information about gas turbines is given; second, the structure of an axial-flow turbine and the design roadmap to follow were presented; and finally, a single-stage axial-flow turbine was designed using the AxSTREAM design and analysis software. With on the results, an axial-flow turbine design capable of generating 307.7 kW of power at a mass flow rate of 1.78 kg/s, an expansion ratio of 1.94, and an efficiency of 86.4% was developed. Optimization studies were conducted on the flow path and blade profile to minimize flow losses throughout the flow stage. In the flow path design, the transitions between stations were designed to be gradual. As a result of the two-dimensional analyses performed, it has been evaluated that the flow path is within reliable limits, as homogeneous and gradual temperature and pressure drops were observed. In this context, with the findings obtained, it was concluded that the roadmap followed throughout the design process enabled the achievement of rapid and accurate results during the preliminary design phase.

In conclusion, it has been observed that turbine blade design, which is complex and time-consuming from the preliminary design stage to the manufacturing process, allows for an effective and reliable design to be achieved in shorter periods through various design and analysis applications such as AxSTREAM.

## REFERENCES

[1] A. F. El-Sayed, *Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines, Second Edition*, 2. bs. CRC Press, 2017.

[2] M. P. Boyce, B. Oxford, J. Melbourne ve N. Delhi, *"Gas Turbine Engineering Handbook Third Edition*", 2006

[3] H. I. H. Saravanamuttoo, G. F. C. Rogers, H. Cohen, P. V. Straznicky, ve A. C. Nix, *Gas turbine theory*. Pearson, 2017.

[4] V. Dakshine Murty, *Turbomachinery Concepts, Applications, and Design*, 1. bs. CRC Press, 2018.

[5] Dixon S.L, Hall C.A, ve Dan Zhao, *Fluid Mechanics, and Thermodynamics of Turbomachinery*. Butterworth-Heinemann.

[6] "Design and analysis of turbomachinery". https://www.softinway.com (Accessed date:07.06.2026)

[7] L. Moroz, Y. Govorushchenko, ve P. Pagur, "*A Uniform Approach to Conceptual Desıgn of Axıal Turbıne* / Compressor Flow Path", 2006.

[8] K. D. Chaudhari ve N. A. Wankhede, "*Aerodynamic Design of a single stage Axial Flow Compressor using CFD approach*", International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, IJSRSET, c. 4, s. 1.

[9] L. Moroz, Y. Govoruschenko, L. Romanenko, ve P. Pagur, "*Methods and Tools for Multidisciplinary Optimization of Axial Turbine Stages with Relatively Long Blades*", 2004.

# Accuracy–Compute Trade-offs in Battery State-of-Health Prognostics: A Sequence-Length Study Toward UAV BMS Design Guidance

**Lecturer Abdulhaluk Kuloglu**
Hasan Kalyoncu University
abdulhaluk.kuloglu@hku.edu.tr - 0009-0002-1771-6606

**Lecturer PhD Dr. Reha Avsar**
Istanbul Medeniyet University
reha.avsar@medeniyet.edu.tr - 0000-0001-9450-5728

**Assistant Professor Dr. Tugba Tetik**
Istanbul Medeniyet University
tugba.tetik@medeniyet.edu.tr - 0000-0002-0044-706X

**Associate Professor Dr. Mehmet Konar**
Erciyes University
mkonar@erciyes.edu.tr - 0000-0002-9317-1196

## ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) operate under tight weight, power, and compute budgets that constrain the prognostic algorithms a Battery Management System (BMS) can host. Recent battery State-of-Health (SoH) literature emphasizes accuracy on benchmark datasets, but the compute footprint of the resulting models is rarely characterized in a directly comparable way, and the effect of input sequence length on sequential models is rarely studied. This paper quantifies the accuracy-vs-compute frontier for two prognostic strategies on the NASA PCOE B0018 lithium-ion cell: cycle-aggregated feature-based estimation using Linear Regression (LR) and Gradient Boosted Trees (GBT), and raw-sequence estimation using a Long Short-Term Memory (LSTM) network and an RWKV-inspired linear-state model. We run a sequence-length ablation $L \in \{5,10,20,40\}$ over five random seeds. The RWKV-inspired model outperforms LSTM at every sequence length — its weakest configuration ($R^2 = 0.910$) still exceeds the best LSTM configuration ($R^2 = 0.895$) — and is markedly more stable across seeds, with an $R^2$ standard deviation never above 0.030 against up to 0.097 for LSTM; it reaches its best accuracy ($R^2 = 0.95$) at $L = 40$. This advantage, however, costs roughly three times the parameters, FLOPs, and memory of the LSTM. On this single cell, feature-based Linear Regression is both the most accurate and the cheapest model ($R^2 = 0.99$ at 12 FLOPs), Pareto-

dominating every sequential configuration. We report parameter count, analytical FLOPs per inference, and parameter memory — all framework-independent — as design time guidance for sizing UAV BMS prognostic models, and defer on-hardware validation to future work.

**Keywords :** Battery Prognostics, State of Health, Unmanned Aerial Vehicles, RWKV, LSTM, Sequence Length, Edge Inference.

This paper extends prior work by the same authors on comparative SoH prognostics [1] with a new sequence-length ablation and an analytical compute-footprint characterization of the evaluated models. The earlier study focused on cross-battery generalization and uncertainty quantification; the present work targets the orthogonal question of how sequence length governs the accuracy-vs-cost frontier for sequential prognostic models.

## 1. INTRODUCTION

Lithium-ion batteries are the dominant power source for small unmanned aerial vehicles (UAVs), where unexpected capacity fade or end-of-life events can cause mission failure or asset loss [2], [3]. The on-board Battery Management System (BMS) is therefore expected to provide more than instan taneous state-of-charge readings: it must produce State-of Health (SoH) estimates and Remaining Useful Life forecasts accurate enough to support go/no-go decisions, while running within the strict weight, power, memory, and clock-cycle budgets of an airborne platform. Unlike ground-based prog nostic settings, where workstation-class compute is available, UAV BMS hardware spans a wide range of microcontrollers, system-on-chip platforms, and small companion computers. The cost of a prognostic model — its parameters, floating point operations per inference, and working memory — is therefore as important as its accuracy. Data-driven SoH estimation has matured rapidly over the last several years. Classical regressors [4], [5], ensemble methods such as gradient-boosted trees [6], and recurrent deep models, particularly Long Short-Term Memory (LSTM) networks [7], [8], are now standard baselines on benchmark datasets such as the NASA Prognostics Center of Excellence (PCOE) battery archive. Recent work has pushed toward Transformer-style attention architectures [9] and hybrid opti mization schemes [10], [11] that achieve impressive accuracy. However, this trajectory has produced two methodological gaps that matter for on-board deployment. First, comparative studies tend to report accuracy without a corresponding accounting of the model's compute footprint. Two architectures with identical $R^2$ scores can differ by orders of magnitude in parameter count, memory, and inference cost; without a uniform reporting convention, a practitioner sizing a BMS cannot meaningfully choose between them. Second, sequential models are typically trained at a single fixed sequence length, often chosen by convention, and the accuracy-vs-cost dependence on L is rarely characterized. Yet L governs both the temporal context available to the model and the dominant share of its per-inference cost.

This paper addresses both gaps for a small but well defined design space relevant to UAV BMS prognostics. Our contributions are as follows:

• We compare two prognostic strategies under a uni form evaluation pipeline on the NASA PCOE B0018 cell: cycle-aggregated feature-based estimation (Linear Regression, Gradient Boosted Trees) and raw-sequence estimation (LSTM, and an RWKV-inspired linear-state model). RWKV [12] is a recently proposed recurrent attention architecture with linear O(L)

complexity, a natural candidate for resource-constrained inference but one with little prior evaluation on battery data.

• We run a sequence-length ablation L ∈ {5,10,20,40} over five random seeds and characterize how L governs both accuracy and cost for LSTM and the RWKV-inspired model.

• Wecharacterize each (model, L) configuration by param eter count, analytical FLOPs per inference, and parameter memory —all framework-independent — and present the resulting Pareto frontier as design-time guidance.

We deliberately scope the contribution to design-time char acterization. The compute footprint is computed analytically from the model definitions and is framework- and hardware independent; we do not measure wall-clock latency or validate inference on embedded UAV hardware. Our intent is to give a BMS designer the information needed to short-list candidate models for a target compute budget, not to claim deployment readiness.

The remainder of the paper is organized as follows. Sec tion II describes the dataset, the two-strategy framework, the evaluated models, the ablation protocol, and the compute footprint metrics. Section III reports static-model accuracy, the sequence-length ablation, and the Pareto frontier. Section IV discusses implications and limitations. Section V concludes.

## 2. METHODOLOGY

### 2.1. Dataset and Preprocessing

We use cell B0018 from the NASA Ames PCOE bat tery dataset, an 18650-form-factor lithium-ion cell with a $LiCoO_2$ cathode subjected to repeated charge-discharge cycles at 24◦C. Charging follows a constant-current–constant-voltage protocol (1.5A CC to 4.2V, then CV to 20mA cutoff); discharge applies a 2.0A constant-current load until the cell voltage falls to 2.5V. The B0018 record contains 132 discharge cycles with SoH — the ratio of present to initial discharge capacity — spanning 0.7229 to 1.0000.

The first 105 cycles (80%) form the training partition. The remaining 27 cycles are partitioned at the cycle level into a 13-cycle validation set and a 14-cycle test set using a fixed random seed, so that validation and test are drawn from the same late-life region of the degradation curve. Static models, which involve no model selection, are trained on the 105-cycle partition and evaluated on the 14-cycle test set. Sequential models additionally use the 13-cycle validation set for early stopping and learning-rate scheduling. The test set is never used for training, early stopping, or checkpoint selection. All features are normalized to [0,1] with a MinMaxScaler fitted on the training partition only.

### 2.2. Two-Strategy Framework

We compare two prognostic strategies that differ in their input representation, which is itself a deployment-relevant choice: a feature-based strategy ingests a low-bandwidth sum mary of each cycle, while a raw-sequence strategy ingests high-resolution time-series.

*a) Cycle-Level Estimation (Static Models):* For Linear Regression and Gradient Boosted Trees, the task is to estimate the SoH of a cycle from features aggregated over that

same cy cle's discharge segment. Six features are computed per cycle: the means of measured voltage, measured current, measured temperature, load voltage, load current, and in-cycle elapsed time. This converts the variable-length time-series problem into a six-dimensional tabular regression.

*b) Sequential Estimation (Deep Models):* For LSTM and the RWKV-inspired model, the task is within-cycle SoH esti mation: the model receives a length-L window of consecutive raw discharge measurements taken from a single cycle and predicts that cycle's SoH. Windows are formed by sliding a stride-one window of length L over each cycle's discharge segment; every window inherits the SoH label of its parent cycle. A per-cycle prediction is obtained by taking the median over all windows belonging to that cycle. Each timestep carries seven raw channels: measured voltage, current, and temperature; load voltage and current; in-cycle elapsed time; and ambient temperature.

The two strategies are intentionally not input-equivalent: the static models receive a bandwidth-reduced summary, while the sequential models receive raw measurements. The intent of this paper is to compare the strategies as they would actually be deployed, not to perform a strictly input-matched architectural benchmark.

2.3. Evaluated Models

*a) Linear Regression (LR):* A six-dimensional ordinary least-squares regressor of SoH on the cycle-aggregated fea tures, trained with the closed-form solution.

*b) Gradient Boosted Trees (GBT):* A boosted ensemble of regression trees [6]. Each successive tree is fit to the resid uals of the current ensemble, allowing the model to capture non-linear feature interactions. We use n_estimators=100, max_depth=3, learning_rate=0.1, with squared-error loss.

**Table I. Hyperparameter Settings Used In This Study**

| Model | Parameter | Value |
|---|---|---|
| GBT | n_estimators | 100 |
| | learning_rate | 0.1 |
| | max_depth | 3 |
| | loss | squared_error |
| LSTM | layer 1 hidden units | 32 |
| | layer 2 hidden units | 16 |
| | dropout | 0.2 |
| | optimizer | Adam (lr_0.001) |
| RWKV | hidden size | 32 |
| | num. Layers | 2 |
| | loss | mean squared error |

| | | |
|---|---|---|
| | optimizer | Adam (lr_0.001) |

*c) Long Short-Term Memory (LSTM):* A two-layer LSTM [7] with 32 and 16 hidden units, dropout 0.2 between layers, and a sigmoid-activated dense output. It is trained with Adam (learningrate0.001), mean-absolute-error loss, and early stopping (patience 10) on validation loss.

*d) RWKV-inspired Linear-State Model (RWKV):* A two layer model with hidden size 32 in the style of the Receptance Weighted Key Value architecture [12]. Each layer applies a token-shift mixing of the current and previous timestep, linear key/value/receptance projections, and a linear-state recurrence

$$state_t = e^{\omega} state_{t-1} + k_t \odot v_t, \quad (1)$$

$$out_t = \sigma(r_t) \odot state_t, \quad (2)$$

Followed by agated channel-mixing feed-forward block. Here $k_t$, $v_t$, and $r_t$ are the key, value, and receptance vectors at timestep t, σ is the logistic sigmoid, is the elementwise product, and $\omega$ is a learned scalar decay. Equation (1) is a simplified exponential-moving-average recurrence rather than the normalized RWKV-4 time-mixing; we therefore describe the model as RWKV-inspired. Because the recurrence is linear it admits the closed form state$_t$= j≤tew(t−j)(kj vj). During training we evaluate this closed form in parallel across the time axis as a lower-triangular matrix product, and we verified that vectorized implementation against a step-by-step loop reference (maximum absoluted eviation below 10−5).At inference the same recurrence runs in streaming formwith O(1) stateandtotal cost linear inL; the FLOPs reported in Table IVcorrespond to this streaming form. Themodel is trained alidation loss. Hyperparameters for all models are summarized in Table I.

2.4. Sequence-Length Ablation

The contribution of this paper that has no analogue in the prior literatüre on B0018 is the sequence-length ablation. We retrain LSTM and the RWKV-inspired model at four sequence lengths, L∈{5,10,20,40}, with all other hyperparameters held fixed at the values in Table I. Each configuration is repeated over five random seeds to characterize run-to-run variance. We report the mean and standard deviation of $R^2$, MAE, and RMSE on the held-out test cycles. Static models do not depend on L and are evaluated once.

2.5. Compute-Footprint Metrics

We characterize each model configuration by three framework-independent, analytically exact quantities.

*a) Parametercount:* The number of train ablescalars. LR has seven (six weight sand a bias); GBT, the total node count across its 100trees; the neural models, the sum of their tensor sizes.

*b) FLOPs per inference:* Computed analytically, counting one multiply-accumulate as two FLOPs. For LR this is twelve FLOPs; forGBT, the per-tree comparison and accumulation

cost summed over 100 trees. For LSTM and RWKV theper-timestep cost is summed over the L timesteps and two layers, so inferenceFLOPs scale linearly in L.

*c) Parametermemory:* Parameter count multiplied by fourbytes (32-bit floats), reported in kB.

We deliberately do not report wall-clock latency. A fair cross-model latency comparison requires both models in the same framework and the same inference mode; in our setup the LSTM runs in a Keras eager loop and the RWKV-inspired model in vectorized PyTorch, so a measured latency would reflect framework and implementation choices rather than architecture. FLOPs and parameter memory are framework independent and form the trust worthy basis of the cost comparison.

### 2.6. Performance Metrics

For SoH point predictions were port the standard regression metrics:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|, \tag{3}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}, \tag{4}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2}, \tag{5}$$

For ablation experiments we report the mean and standard deviation of each metric over five seeds.

## 3. RESULTS

### 3.1. Static-Model Accuracy

Table II reports the accuracy of the two feature-based models on the14-cycle test set. Both track the degradation trajectory closely.Linear Regression attains the lowest error of any model in the study ($R^2$=0.988), which we read as evidence that the six cycle-aggregated features capture the degradation signal of this cell in nearly linear form. GBT, despite its capacity for non-linear feature interactions, does not improve on LR here.

**Table II. Static-Model SoH Accuracy On The B0018 Test Set (14 Cycles)**

| Model | $R^2$ | MAE | RMSE |
|---|---|---|---|
| LR | 0.9882 | 0.0017 | 0.0019 |
| GBT | 0.8845 | 0.0043 | 0.0060 |

**Table III. Sequence-Length Ablation On The B0018 Test Set: Mean ± Standart Deviation Over The Seeds**

| Model | L | $R^2$ | MAE | RMSE |
|---|---|---|---|---|
| LSTM | 5 | 0.840±0.097 | 0.0054±0.0018 | 0.0067±0.0022 |
| LSTM | 10 | 0.832±0.077 | 0.0054±0.0016 | 0.0070±0.0017 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| LSTM | 20 | 0.895±0.049 | 0.0043±0.0013 | 0.0055±0.0014 |
| LSTM | 40 | 0.869±0.026 | 0.0049±0.0007 | 0.0063±0.0006 |
| RWKV | 5 | 0.913±0.022 | 0.0037±0.0003 | 0.0052±0.0006 |
| RWKV | 10 | 0.917±0.030 | 0.0036±0.0007 | 0.0050±0.0009 |
| RWKV | 20 | 0.910±0.015 | 0.0038±0.0006 | 0.0052±0.0004 |
| RWKV | 40 | 0.953±0.022 | 0.0030±0.0008 | 0.0037±0.0008 |

### 3.2. Sequence-Length Ablation

Table III and Fig. 1 report the ablation. Three findings stand out.

First, the RWKV-inspired model out performs LSTM at every sequence length. The separation is categorical rather than marginal: RWKV's weakest configuration (L= 20, $R^2$ = 0.910) still exceeds LSTM's strongest (L = 20, $R^2$=0.895).

Second, the RWKV-inspired model is far more stable across random seeds. It sseed-to-seed standard deviation in $R^2$ ranges from 0.015 to 0.030, against 0.026 to 0.097 for LSTM; individual LSTM runs collapsed to$R^2$≈0.72,whereas no RWKV run fell below 0.88. For a prognostic component that must behave predictably regardless of initialization, this reliability gap is as consequentialas the mean-accuracy gap.

Third, the two models respond differently to L. The RWKV inspired model is roughly flat for L≤20($R^2$≈0.91) and then improves to its best at L=40 ($R^2$=0.953). LSTM shows no consistent trend; its mean $R^2$ moves non-monotonically and peaks at L=20.There is no shared accuracy plateau— longer Windows help the RWKV-inspired model but not the LSTM on this cell.

### 3.3. Compute Footprint and Pareto Frontier

Table IV lists the footprint of every configuration and Fig. 2 plots accuracy against FLOPs.

The feature-based models are minute: LR needs 7 parameter sand 12 FLOPs per inference, GBT about 2,900 parameters and 400 FLOPs. The sequential models are three to four orders of magnitude larger. Between them, the RWKV-inspired model is uniformly the heavier: it carries 25,891 parameters against the LSTM's 8,273 (afactorof3.1), uses 101kB of parameter memory against 32kB, and at every L requires about 3.1 times the FLOPs of the LSTM. Both sequential models scale linearly in L, as expected.

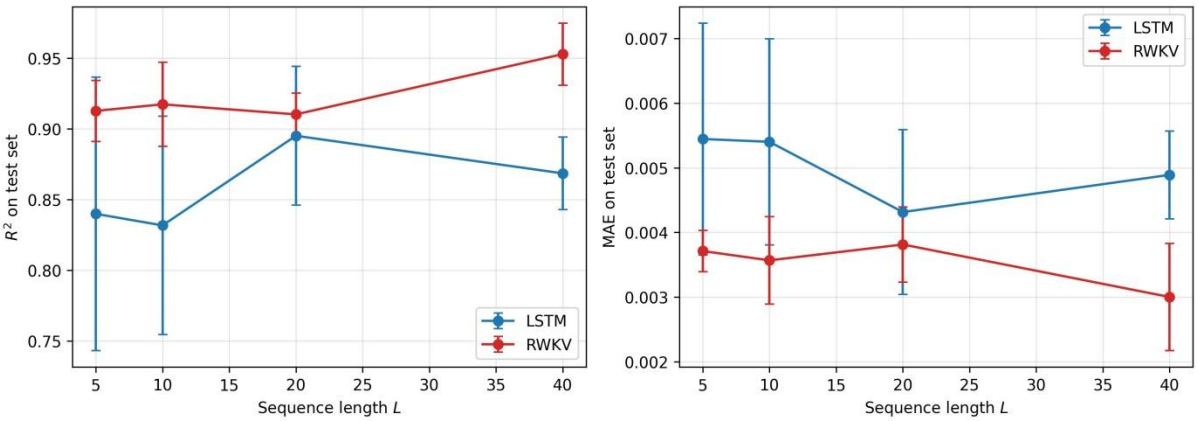



**Figure I.**

Fig.1. Test-set $R^2$ (left) and MAE (right) versus input sequence length L. Markers are the mean over five random seeds; error bars are ±1 standard deviation. The RWKV-inspired model exceeds LSTM at every L and shows substantially smaller seed-to-seed variance.

**Table IV. Compute Footprint Per Configuration. Flops And Parameter Memory Are Computed Analytically And Are Framework-Independent**

| Model | L | Params | FLOPs/inf. | Mem (kB) |
|---|---|---|---|---|
| LR | - | 7 | 12 | 0.03 |
| GBT | - | 2,912 | 400 | 11.4 |
| LSTM | 5 | 8,273 | 82,592 | 32.3 |
| LSTM | 10 | 8,273 | 165,152 | 32.3 |
| LSTM | 20 | 8,273 | 330,272 | 32.3 |
| LSTM | 40 | 8,273 | 660,512 | 32.3 |
| RWKV | 5 | 25,891 | 252,993 | 101.1 |
| RWKV | 10 | 25,891 | 505,473 | 101.1 |
| RWKV | 20 | 25,891 | 1,010,433 | 101.1 |
| RWKV | 40 | 25,891 | 2,020,353 | 101.1 |

The Pareto picture is therefore unambiguous on this cell (Fig. 2). Linear Regression sits alone in the top-left corner — most accurate and cheapest — and dominates every sequential configuration on both axes simultaneously. Among the sequential models the RWKV-inspired family lies above the LSTM family in accuracy but also to the right in cost: its accuracy advantage is bought with aproportional increase in compute, andpart of that advantage is plausibly attributable to its roughly three fold larger parameter budget rather than to architecture alone.

### 3.4. Selection Guidance

For the single-cell, within-cycle SoH task studied here the guidance is direct. If a cycle-aggregated feature pipeline is available, LinearRegression should be the default: it is the most accurate model and its cost is negligible. If raw-sequence input must be used — for instance where reliable feature aggregation is unavailable — the RWKV-inspired model is preferable to LSTM both on accuracy and, importantly, on run-to-run reliability, but the designer should budget for roughly three times the parameters, memory, and FLOPs of an equivalent LSTM. Within the RWKV-inspired family, L=20 is the economical choice when compute is constrained and L=40 when accuracy is paramount; shorter windows save FLOPs but did not improve accuracy. These conclusionsare specific to this cell and task; Section IV discusses their scope.

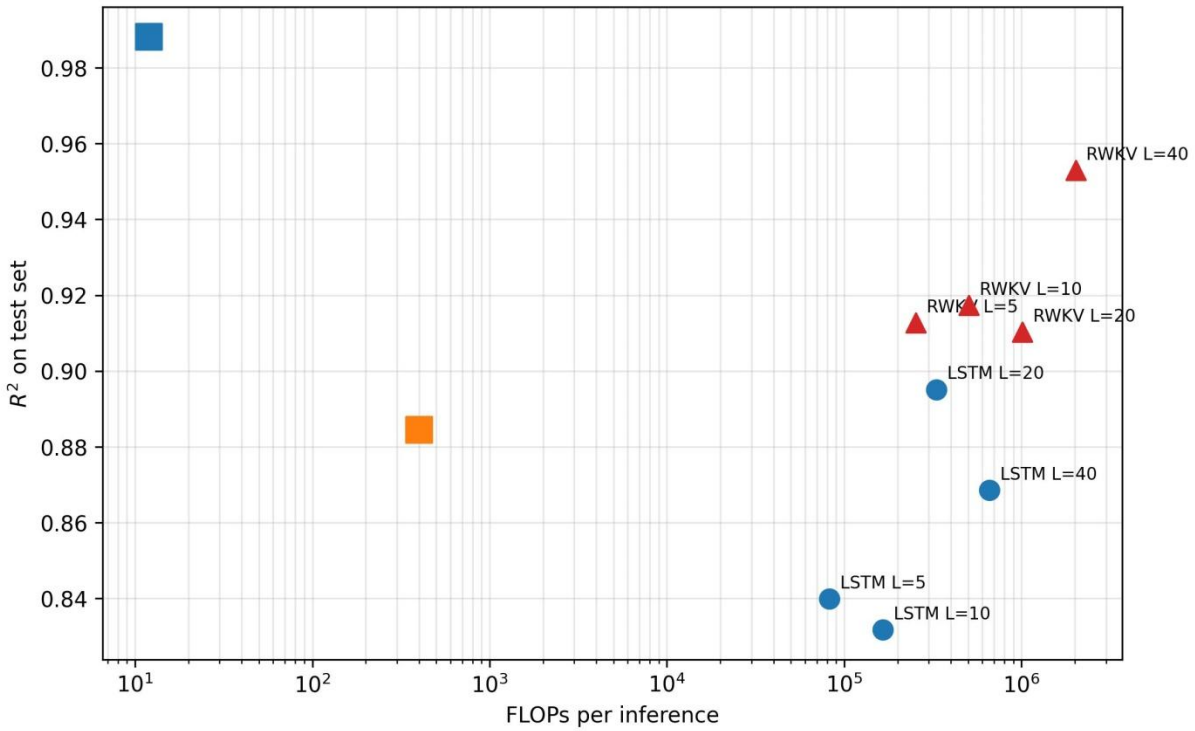



**Figure II.**

Fig. 2. Accuracy-vs-cost frontier on the B0018 test set. Each marker is a model configuration: test-set $R^2$ on the y-axis, analytical FLOPs per inference on a logarithmic x-axis. Linear Regression (top-left) dominates every sequential configuration on both axes; among the sequential models the RWKV-inspired family is more accurate but more costly than LSTM.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Why Linear Regression Is Hard to Beat on This Cell

Linear Regression on six cycle-aggregated features achieves the lowest test error of any model evaluated. We do not interpret this as a general-purpose recommendation, and the reader should not read it as one. The cycle-aggregated rep resentation already does most of the work: by integrating noisy time-series into stable per-cycle summaries it linearizes much of the degradation signal and absorbs information that a sequential model would otherwise have to extract from raw inputs. The result is therefore primarily a statement about the chosen feature

representation on a single, well-behaved cell, not about the relative power of the model classes. On cells with more complex degradation regimes, or in settings where useful feature aggregation is not obvious, the sequential strategies are expected to retain an advantage; we do not test this claim here.

### 4.2. Why the RWKV-inspired Model Outperforms LSTM

The RWKV-inspired model beats LSTM at every sequence length and is substantially more stable across seeds — its $R^2$ standard deviation averages roughly a third of the LSTM's. We caution against reading the accuracy gap as a pure ar chitecture result. The model also has about three times the parameters of the LSTM, and on a small dataset that extra capacity — together with the non-linear gated channel-mixing block, which the LSTM lacks — is a plausible part of the explanation. What the stability gap more cleanly indicates is optimization behaviour: the linear-state recurrence appears better conditioned for this smooth, low-noise signal than the LSTM's multiplicative gates, which on only 105 training cycles produced occasional poor minima ($R^2 \approx 0.72$). For a prognostic component, predictable convergence is itself a desirable property, and the RWKV-inspired model exhibits it where the LSTM does not.

### 4.3. Sequence Length and Temporal Context

The RWKV-inspired model's accuracy improves as L grows to 40 while the LSTM's does not. Because each window is drawn from within a single discharge cycle, a larger L exposes the model to a longer contiguous stretch of the discharge curve. That the RWKV-inspired model converts this into accuracy while the LSTM does not is consistent with the stability observation: the LSTM's noisy optimization masks any benefit from the longer context. We did not observe an accuracy plateau; on this cell, longer windows continue to help the better-behaved model. The cost is linear — L = 40 doubles the FLOPs of L = 20 — so the choice of L is a genuine accuracy/cost decision rather than a free parameter.

### 4.4. Limitations

This study is deliberately narrow. All results are from a single cell (B0018); cross-cell generalization, known to chal lenge raw-sequence models [1], is out of scope. The RWKV inspired model is a simplified linear-state recurrence, not the canonical RWKV-4 time-mixing, so its results should not be read as a verdict on RWKV proper. The compute footprint covers parameters, FLOPs, and parameter memory; it omits activation memory, training cost, and the latency and energy behaviour of real embedded hardware. We do not validate inference on a UAV BMS platform; on-hardware confirmation —with quantization and thermal and duty-cycle profiling — is necessary before any deployment claim. Finally, the test set is 14 cycles; while the five-seed repetition characterizes model variance, the small evaluation set limits the precision of every reported mean.

## 5. CONCLUSION

We characterized the accuracy-vs-compute trade-off of four SoH prognostic models on the NASA PCOE B0018 lithium-ion cell, with a sequence-length ablation over $L \in \{5,10,20,40\}$ and an analytical compute-footprint analysis. An RWKV-inspired linear-state model outperformed an LSTM at every sequence length, with markedly lower seed-to-seed variance,

and reached $R^2$ = 0.95 at L = 40; this accuracy, however, cost roughly three times the parameters, FLOPs, and memory of the LSTM. On this single cell the feature-based Linear Regression baseline was both the most accurate and by far the cheapest model, Pareto-dominating every sequential configuration. For UAV BMS design, the practical message is that a raw-sequence model should be adopted only when feature aggregation is genuinely unavailable, and that — when it is — the RWKV-inspired model offers a better accuracy and reliability profile than the LSTM at a predictable threefold compute premium. We frame these results as design-time guidance and defer on-hardware validation, quantization, and cross-cell evaluation to future work.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the NASA Ames Prognostics Center of Excellence for making the battery dataset publicly available.

.

## REFERENCES

1. Kuloglu, A., Avsar, R., Tetik, T. and Konar, M., A Comparative Study of Prognostic Strategies for Battery SoH: Cycle-Level Estimation vs. Sequential Forecasting, Engineering Science and Technology, an International Journal, 2026, In Press.
2. Sierra, G., Orchard, M., Goebel, K. and Kulkarni, C., Battery Health Management for Small-Size Rotary-Wing Electric Unmanned Aerial Vehicles: An Efficient Approach for Constrained Computing Platforms, Reliability Engineering & System Safety, November, 182, 166-178, 2019.
3. Cetinus, B. et al., Energy Management and Battery Health for Small UAVs: A Review, Journal of Unmanned Vehicle Systems, 2024.
4. Khumprom, P. and Yodo, N., A Data-Driven Predictive Prognostic Model for Lithium-Ion Batteries Based on a Deep Learning Algorithm, Energies, February, 12, 4, 660, 2019.
5. Patil, M. A., Tagade, P., Hariharan, K. S., Kolake, S. M., Song, T., Yeo, T. and Doo, S., A Novel Multistage Support Vector Machine Based Approach for Li Ion Battery Remaining Useful Life Estimation, Applied Energy, September, 159, 285-297, 2015.
6. Friedman, J. H., Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine, The Annals of Statistics, October, 29, 5, 1189-1232, 2001.
7. Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., Long Short-Term Memory, Neural Computation, December, 9, 8, 1735-1780, 1997.
8. Huang, J., He, T., Zhu, W., Liao, Y., Zeng, J., Xu, Q. and Niu, Y., A Lithium-Ion Battery SOH Estimation Method Based on Temporal Pattern Attention Mechanism and CNN-LSTM Model, Computers & Electrical Engineering, December, 122, 109930, 2025.

**9.** Guirguis, J. and Ahmed, R., Transformer-Based Deep Learning Models for State of Charge and State of Health Estimation of Li-Ion Batteries: A Survey Study, Energies, July, 17, 14, 3502, 2024.

**10.** Wang, S., Ma, C., Gao, H., Deng, D., Fernandez, C. and Blaabjerg, F., Improved Hyperparameter Bayesian Optimization-Bidirectional Long Short-Term Memory Optimization for High-Precision Battery State of Charge Estimation, Energy, May, 328, 136598, 2025.

**11.** Wang, S., Fan, Y., Jin, S., Takyi-Aninakwa, P. and Fernandez, C., Improved Anti-Noise Adaptive Long Short-Term Memory Neural Network Modeling for the Robust Remaining Useful Life Prediction of Lithium-Ion Batteries, Reliability Engineering & System Safety, October, 230, 108920, 2023.

**12.** Peng, B., Alcaide, E., Anthony, Q. et al., RWKV: Reinventing RNNs for the Transformer Era, arXiv Preprint arXiv:2305.13048, 2023.

# KÜTAHYA İLİ GEDİZ GÖLETİ HAVZASINDA ÖLÇÜLEN YÜZEY AKIŞLARIN HESAPLANAN YÜZEY AKIŞLARLA KIYASLANMASI

**FADİME NUR DEMİR**
Ege Üniversitesi
fadimedemir17@icloud.com
0009-0006-3382-5932

**ÖZET**: Yüzey akışlar limnigraflar ile ölçülmektedir. Yüzey akışların doğru şekilde ölçülmesi ya da deneysel formüllerle tahmin edilmesi ülkenin ekonomisi ve geleceği için büyük önem arz eder. Bir havzada gölet, kanal veya baraj gibi yapıların inşası yapılmadan önce limnigraflardan elde edilen yüzey akış gözlemleri 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yılda gelecek maksimum yüzey akışı hesaplamak için kullanılır. Bu sayede taşkın ve sel riskini hesaplamak, baraj ve gölet inşasında, su planlamasında, erozyon tahmini ve drenaj sistemleri gibi birçok alanda etkisi büyük ölçüdedir. Bu çalışmada göletin havza alanı: 23.11km$^2$, ort. Yıllık Yağış: 598.30mm, ort. Eğim: %11.32'tür. Gölet havzasına ait 24 saatlik yağışlar ve yağış intensiteleri MGM'den, göleti besleyen derenin akımları D.S.İ'den alınmıştır. Gölet havzasına ait birim hidrograf debileri Mockus, Synder ve DSİ hidrografları yöntemleriyle hesaplandıktan sonra, SCS-CN yöntemi kullanılarak maksimum yüzey akışlar bulunmuştur. Ayrıca çok sık kullanılan Rasyonel Yönteme göre de maksimum yüzey akışlar hesaplanmış ve hidrograf yöntemleriyle hesaplanan maksimum yüzey akışlarla kıyaslanmıştır. Yapılan birçok çalışmada aynı yöntemler kullanılmış, bu tez çalışması bazı çalışmalarla benzerlik göstermiş ve en yüksek değerleri Mockus yönteminde çıkmıştır. Taşkın riskini minimuma indirmek için en yüksek değerleri sunan Mockus yöntemi sonuçları dikkate alınarak çalışma yapılmalı ancak bunun yanında iyi bir risk ve ekonomik analiz yapılmalıdır.

**Anahtar kelimeler**: limnigraf, yüzey akış, mockus yöntemi, havza, ölçüm

# EVALUATION OF THE EFFECTS OF EXTRUSION PARAMETERS ON DIAMETER STABILITY AND MANUFACTURABILITY IN FIBER REINFORCED FILAMENT PRODUCTION

**Res. Asst. Burak TEKKANAT**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
burak.tekkanat@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0002-1051-7076

**Prof. Sinan FİDAN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-4385-4981

**Prof. Mustafa Özgür BORA**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0921-418X

**Prof. Satılmış ÜRGÜN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli, Turkey,
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-3889-6909

**Prof. Taner YILMAZ**
Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey,
taner.yilmaz@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0002-1520-6744

## ABSTRACT

FDM (Fused Deposition Modeling) is one of the most common methods of additive manufacturing. It is valued not only due to its cost-effectiveness but also thanks to its ease of operation and ability to make complex shapes. Printing parameters, dimensional stability, surface characteristics, and the ability to continue feeding the filament during printing contribute to the quality of products made with FDM technology. However, factors such as fiber content, fiber size, moisture content, interaction between fibers and matrix, and extrusion parameters may affect irregularities in the diameter, quality of the surface, obstruction of the nozzle, and manufacturing of fiber-reinforced filaments. This research analyzes the impact of key parameters, such as extrusion temperature, screw speed, puller/winder speed, cooling, fiber content, fiber size, and moisture, on the uniformity of diameter and manufacturability based on current studies. According to the findings, it is important to focus on puller/winder speed, screw

speed, and cooling parameters for uniformity and fiber content, distribution, size, and moisture for manufacturability. A parameter assessment matrix has been developed to clarify the connection between parameters and manufacturing of fiber-reinforced filaments and suggest further research.

**Keywords:** Fused Deposition Modelling, Filament Production, Fiber-Reinforced Composites, Manufacturability

## 1. INTRODUCTION

Additive manufacturing systems have made their way distinct from conventional production approaches in that they can produce parts of complex geometry with increased flexibility, speed, and minimized use of materials. The working mechanism of the Fused Deposition Modeling (FDM) / Fused Filament Fabrication (FFF) process entails adding thermoplastic material in layers by utilizing a nozzle which is heated [1]. The popularity of the technique is attributed to the low cost, user-friendliness, and a variety of materials available for it, making it common in scientific studies, prototyping, educational purposes, and industrial design [2].

The majority of studies related to FDM/FFF techniques have mostly focused on process-related variables, including nozzle temperature, bed temperature, layer thickness, printing speed, raster angle, and infill percentage [3]. However, the properties of the filament are an important factor in determining the outcome of the print process. Diametric changes in the filament can lead to differences in the amount of material fed to the printer, resulting in under-extrusion, over-extrusion, poor surfaces, interlayer gaps, nozzle jams, and even failure during the printing process. As previous research shows, uneven diameter of filaments can affect the flow rate, print quality, and cause extruder jams [4].

The diameters used in conventional filament systems are 1.75mm and 2.85mm. It is very important that these diameters remain within a defined range of tolerance during the manufacturing process since it affects the final outcome [5]. It is more difficult to obtain diameter stability when producing filament in a laboratory environment or when creating composite materials than when using filament production for commercial purposes because of their effects on the extrusion process parameters [6].

However, some of the latest trends show that the use of additives such as carbon fibers, glass fibers, natural fibers, ceramic additives, metals, and bio-based materials have been introduced in the making of filaments for increasing the mechanical and thermal properties and functionality of parts made by Fused Deposition Modeling (FDM) [7]. In most cases, composite filaments may offer greater stiffness, higher strength, or other functional features compared to thermoplastic filaments alone. The production of composite filaments and flaw reduction in their production have become one of the key difficulties in moving forward in composite FDM for industry applications. According to Penumakala et al., the success of fabricating composite filaments via FDM lies in the proper preparation of the filament and flaw elimination in the process [6].

In comparison with the production of plain thermoplastics, the stability of diameter for reinforced fibers poses a more complicated problem. The reason is that the addition of fibers alters the composition of the material along with its viscosity, frictional force, cooling properties, roughness of the surface, and flexibility. When the proportion of fiber increases, there may be problems related to its distribution, clumping, variation in the filament diameter, surface flaws, and machine breakdowns [6,8,9]. Thus, the production of reinforced filaments involves careful analysis of all mentioned factors.

The reason why biocomposites that are reinforced with natural fibers for the production of composite filaments are being developed is linked to issues of sustainability. The use of natural fibers in FDM has become increasingly popular because of the low density of the fibers, renewability, low environmental impact, and possibility of use with bio-based polymers [10]. According to Rafiee et al., there are good prospects of using biocomposite filaments reinforced with natural fibers in FDM, but filament extrusion and printing processes need to be optimized accordingly [11].

In this paper, the effect of extrusion parameters on the stability and manufacturability of the FDM filament produced with fiber reinforcement is discussed, based on existing literature. These extrusion parameters comprise extruder temperature, screw rotation rate, draw speed/puller speed, cooling, fiber composition, fiber size, fiber dispersion, moisture content, and real-time monitoring of the diameter. The key contribution that has been made in this work is the formulation of an effective evaluation framework for the production of fiber reinforced filaments.

## 2. LITERATURE-BASED EVALUATION APPROACH

This study uses a literature review rather than experiments to analyze filament for FDM/FFF tech. It covers composite filament extrusion, fiber-reinforced filaments, and stuff like diameter consistency, filament tolerance, and how printable and manufacturable they are.

During the evaluation process, the parameters were examined in four main groups:

**Table.1. Parameter Grouping**

| **Parameter group** | **Variables Examined** |
|---|---|
| Thermal Parameters | Extrusion Temperature, Temperature Profile, Die/Nozzle Temperature |
| Kinematic Parameters | Screw Speed, Extrusion Speed, Puller Speed, Winder/Spooling Speed |
| Material Parameters | Fiber Ratio, Fiber Size, Fiber-Matrix Compatibility, Filling Distribution, Moisture Content |

| | |
|---|---|
| Process Control Parameters | Cooling Rate, In-Line Diameter Measurement, Winding Stability, Equipment Modifications |

In this case, the factors considered when evaluating the stability of the diameters included proximity to the target diameter values, diameter deviation, ovality, and variations in diameter during manufacturing. With respect to manufacturability, consideration was given to flow of materials continuously, continuous filament winding, surface finish, chances of nozzle blockage, moisture forming voids, and feeding during printing.

## 3. PARAMETER-EFFECT RELATIONSHIPS IN FIBER REINFORCED FILAMENT PRODUCTION

### 3.1. Extrusion Temperature

Extrusion temperature is one of the most important parameters that determine the viscosity and rheological properties of the polymer matrix. In case of insufficient polymer melting due to low extrusion temperatures, there will be a tendency for flow irregularities, surface defects, and variations in diameter. On the other hand, high temperatures enhance the flowability of the polymer but result in several risks, such as polymer decomposition, gas release, and mechanical strength degradation [12,13]. The effect of temperature on fiber-reinforced materials is complicated compared to polymers without any reinforcement. Although fibers do not melt in polymers, there should be sufficient viscosity to achieve good adhesion and even distribution. At the same time, the risk of thermoplastic and fiber decomposition increases as temperature rises [11,14].

### 3.2. Screw Speed and Material Flow Rate

Screw speed is a primary mechanical variable that controls the rate at which the material is fed into the machine, the flow rate of the molten material, and the rate at which the composite exits the mold. An increased screw speed will contribute to an enhanced amount of material exiting the mold for the set temperatures and draw ratios, hence an increase in the filament diameter. On the other hand, choosing a very high screw speed could result in the early exit of the polymer from the machine, hence inadequate melting and varying diameters [14]. As the ratio of fiber content increases, the fluidity of the material might increase, and localized agglomerates might be formed inside the extruder [6,15]. According to one research work regarding short-fiber-reinforced polycarbonate filament, the amount of fiber and screw speed have been found to play an important role in determining the characteristics of the filament [16].

### 3.3. Pulling/Winding Speed

The speed of the puller/ winder forms an essential variable since it influences the diameter of the filament. As such, the filament that exits the mold in a semi-molten form is pulled at a

certain speed. The increased speed of the puller results in more elongation of the filament, which reduces its diameter. Alternatively, when there is slow pulling speed, the material coming out of the mold is likely to be cooler and harder with a large diameter [14].

Small changes in the winding speed will result in differences in the filament diameter due to fiber reinforcement. The presence of fibers within the filaments will cause the filaments to become less flexible, more brittle, and have a higher likelihood of breaking when pulled. Hence, the diameter of the filaments during extrusion must be controlled [11,17].

### 3.4. Cooling Conditions

The cooling process guarantees that the filament acquires its desired dimensions and mechanical properties. Rapid cooling may result in poor mechanical characteristics, while excessive slowing of cooling may cause undesired deformation of the intended dimensions and shapes of filament production. Precise implementation of cooling conditions is particularly necessary when producing fiber-reinforced filaments because of the thermodynamics of thermoplastics and fiber reinforcement. A specific study was conducted on the development of a laboratory-scale single-screw extruder machine. The analysis showed the connection between extruder temperature, screw rotation speed, drawing speed, and cooling rate for the production of PLA and composite filaments. It is known that additional improvements in thermal isolation, variable-speed winding, in-process diameter monitoring, and active air cooling have been made for greater dimensional stability [14,17].

### 3.5. Fiber Content, Size, and Distribution

Fiber reinforcement is one of the ways to enhance mechanical properties of filament used for FDM printing. Carbon and glass fibers offer different advantages such as higher stiffness and strength, thermal stability, and sustainable filament production. In order to get the benefits from reinforcement in FDM thermoplastics, fiber is used as a reinforcement. Studies show that reinforcing polymers with nanoparticles, short, and continuous fibers increase mechanical, thermal, and electric properties but there are factors like printability and reduction of defects that should be taken into account for industrial application [6].

The increase of fiber content leads to a rise of melt viscosity and complexity of flow. These factors may lead to inconsistent flow, surface defects, diameter fluctuations, and uneven thickness of filament. At high levels of fiber content, the mixture cannot reach homogeneity in extrusion. In some cases, fiber agglomeration leads to unstable diameter of the filament, while high filler levels may become the cause of nozzle clogging [9, 18].

### 3.6. Material Preparation and Moisture Content

Material preparation is an essential stage in the manufacturing of filaments reinforced with fibers. Starch-based additives and natural fibers absorb moisture from the environment. This may cause formation of cavities, bubbles, uneven filament diameters, or other problems during printing as the heating of moist materials in the extruder creates steam. Research into natural

fiber-reinforced filaments highlights the necessity of improvement of moisture control, mechanical performance, and uniform manufacturing of such materials. Natural fiber-reinforced filaments are considered a promising sustainable material with application opportunities in a wide range of industries, from automotive to consumer goods, and even aerospace; however, their inconsistency in manufacturing conditions and moisture sensitivity require further development [9,10,11].

## 4. RHEOLOGICAL ANALYSIS OF EXTRUSION VARIABLES

The current study did not use experiments or modeling to determine specific dependencies; hence, provided mathematical relationships were used as theoretical background rather than for exact computations. It is possible to see that interactions between these variables include fundamental physical connections between viscosity, temperature, flow rate, extrusion, puller or winder speed, and diameter of filaments. This provides a useful theoretical basis.

As seen from rheological and process-based correlations, diameter consistency in fiber-reinforced FDM filament manufacturing depends mostly on interaction between flow rate, viscosity, and puller/winder speed. Temperature directly affects viscosity, screw speed affects flow rate, and puller/winder speed defines the diameter of filament. Fiber concentration, size, and moisture content add complexity to these equations as these variables increase flow resistance and filament diameter variability.

**Table 2. Basic Theoretical Relationships Used for Extrusion Parameters.**

| Correlation | Relationship | Interpretation |
|---|---|---|
| $\eta(T) = Ae^{E/RT}$[19] | Temperature-viscosity relationship | It explains that as temperature increases, viscosity may decrease and flow may become easier. |
| $\eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$[20] | Shear rate-apparent viscosity relationship | It shows that an increase in screw speed/flow rate may change the apparent viscosity. |
| $Q = \alpha N - \frac{\beta}{\eta}\Delta P$[21] | Screw speed-flow rate-pressure relationship | It explains that screw speed may increase the flow rate, but die resistance may limit the flow rate. |
| $d_f = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_p}}$ | Flow rate-puller speed-filament diameter relationship | It shows the importance of the balance between screw speed and puller/winder speed for diameter stability. |

| Correlation | Relationship | Interpretation |
|---|---|---|
| $\Delta P = \frac{8\eta L Q}{\pi r^4}$ [21] | Viscosity-pressure drop-nozzle radius relationship | It helps explain the risk of clogging and diameter fluctuation due to the increased viscosity caused by fiber reinforcement. |

Where $\eta$: apparent viscosity, $T$: temperature, $A$: pre-exponential constant, $E$: activation energy, $R$: gas constant, $r$: nozzle radius, $K$: consistency index, $\dot{\gamma}$: shear rate, $n$: flow behavior index, $Q$: volumetric flow rate, $\alpha$ and $\beta$: screw geometric constants, $N$: screw speed, $\Delta P$: pressure drop, $d_f$: filament diameter, $v_p$: puller/winder speed, $L$: nozzle length.

## 5. COMPARISON OF PARAMETERS USED IN LITERATURE

Parameters of the extrusion process for producing polymer and fiber-reinforced filaments depend on the type of polymer matrix, the type and quantity of fiber reinforcements used, extruder geometry, screw design, nozzle diameter, type of cooling used, and the method to control the diameter of the filament. Therefore, the parameters of temperature, screw speed, drawing or winding speed, and other cooling parameters stated in the literature do not necessarily represent the optimized conditions but represent an operation window for the materials in question.

The following table outlines the major manufacturing process parameters and conclusions made from the results achieved for different types of filaments.

**Table 3. Filament extrusion parameters and manufacturability findings reported in the literature.**

| Material / Reinforcement | Reported process parameters | Findings | Implication |
|---|---|---|---|
| PLA [12] | 4 mm nozzle<br>Screw speed: 4rpm<br>Fan speed: %55<br>165, 175 and 185 °C | The 175 °C profile resulted in more diameter stability | Temperature change for pure PLA may directly affect diameter stability. |
| PLA / recycled PLA [22] | Four heating zones<br>Fan assisted cooling<br>Optical diameter sensor | Diameter consistency and printing success changed depending on the recycled PLA ratio. | In recycled PLA filament production, feeding homogeneity and material preparation become critical factors. |

| Material / Reinforcement | Reported process parameters | Findings | Implication |
|---|---|---|---|
| Recycled PLA [23] | Heating temperature: 180 °C<br>Screw speed: 5 rpm<br>Fan speed: 40% | After the initial stabilization stage, the filament diameter remained stable within the printable range. | Initial process instability should be considered in filament production. |
| PLA / brass composite [24] | Nozzle temperature: 95-100 °C<br>Screw speed: 23.2 rpm<br>Roller speed: 2.70-3.02 mm/s | Roller speed had a pronounced effect on dimensional accuracy. | Puller/roller speed may have a stronger influence on diameter accuracy than temperature. |
| Thermoplastic elastomer/natural fiber [15] | Nozzle diameter, extrusion speed, and water bath distance as process variables | It was stated that these parameters had a significant effect on filament diameter. | In natural fiber composites, nozzle diameter and cooling distance are also critical process parameters. |

**Table 3** (continued)

| Material / Reinforcement | Reported process parameters | Findings | Implication |
|---|---|---|---|
| Short glass fiber reinforced polycarbonate [16] | Fiber content, screw speed, and die temperature as process variables | A balance was achieved between mechanical performance and low diameter deviation. The optimum condition was reported as 10% fiber, 40 rpm screw speed, and approximately 240 °C die temperature. | Fiber content, screw speed, and temperature should be evaluated together. |
| ABS-MWCNT composite [25] | 0.5-4 wt.% MWCNT in ABS<br>Melt zone temperature: 220 °C<br>Air fan and water cooling | Increasing MWCNT content reduced processability and increased the risk of agglomeration. | For nano-reinforced filaments, lower reinforcement contents may be more advantageous in terms of manufacturability. |
| ABS based micro/nano reinforced | Temperature range of hat zones: 175–210 °C | The produced filaments were suitable for use in FDM systems; however, | Homogeneous filler dispersion is a key manufacturability |

| | | | |
|---|---|---|---|
| composite [26] | | agglomeration and void formation were observed. | criterion for reinforced filaments. |
| PLA / hydroxyapatite / graphene nanoplatelet [27] | Nozzle temperature: 195/200 °C<br>Screw speed: 10–15 rpm<br>Nozzle diameter: 1.2 mm<br>Air cooling | Controlled temperature conditions and low screw speeds were preferred for composite filament production. | For ceramic/nano-carbon filled PLA filaments, lower screw speeds may support process continuity. |
| PLA / nano hydroxyapatite (nHAp) [28] | Pure PLA and PLA filaments containing 5% and 10% nHAp<br>Real-time quality monitoring | Composite filaments exhibited higher diameter variability than neat PLA. | Diameter control may be more challenging in composite filaments than in neat polymer filaments. |
| Continuous glass fiber reinforced PLA [29] | Continuous fiber placement<br>Heating and puller system | Continuous fiber alignment and dimensional consistency were identified as key manufacturability criteria. | In continuous fiber reinforced filaments, fiber alignment should be controlled in addition to conventional extrusion parameters. |

## 6. RESULTS AND DISCUSSIONS

From the literature review, it can be concluded that the diameter stability and manufacturability of FDM filament made by fiber-reinforced method depend on a number of interrelated factors. Thus, the temperature, screw speed, take-up (puller) speed, and cooling conditions affect filament diameter, while the fiber ratio, fiber size, fiber distribution, and moisture content determine manufacturability.

The speed of filament pull-out will directly define its final diameter value. Screw speed and extrusion temperature are responsible for melt flow rate and rheology. Puller is the key means for converting flow into the required filament diameter. Therefore, the puller/take-up speed should be independently controlled and adjusted relatively to the extrusion speed.

There is a direct relationship between screw speed and extrusion temperature. Too low temperature may result in incomplete melting, while too high screw speed will cause premature ejection of material from the extruder without proper processing. Both scenarios may lead to diameter instability.

The conditions for filament cooling considerably affect diameter stability. When cooled slowly after extrusion through the die, the filament may change its diameter because of shrinkage. On the other hand, fast cooling of filament may result in stress buildup. Therefore, air cooling of

filament under control seems to be a necessary procedure for obtaining process stability, especially when using natural or biological additives.

The fiber ratio is seen as an important factor that limits manufacturability. Fiber content increases the likelihood of improving mechanical characteristics; however, the increasing amount of fibers also results in viscosity increase, agglomeration, clogging, and brittleness. The optimal fiber ratio for fiber-reinforced filament manufacture should be selected based not only on mechanical characteristics but also on diameter stability and printability.

The filament's diameter doesn't tell the whole story on its own. Even if it meets the range, it can still fail because of issues like roughness, brittleness, or fibers clumping. To really check quality, we need to look at more stuff; average diameter, how much that varies, ovality, the surface, and whether it prints and makes parts well.

## 7. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, a literature review-based analysis has been conducted. The results of this research can be immediately applied in further experimental studies. The investigation should consider such variables as temperature, screw speed, and take-up speed with regard to different types of fibers added to PLA: linen fibers, hemp fibers, glass fibers, carbon fibers, etc.

The stability of filament diameter depends on take-up speed, screw speed, and cooling conditions. The take-up speed sets the final diameter, while screw speed controls material flow. Extrusion temperature is based on the material's temperature. Proper cooling makes sure the filament gets the right stiffness and stays undeformed when wound up.

Manufacturability depends on fiber ratio, fiber distribution, fiber size, and moisture content. Even though increased fiber content can help improve filament strength, it also may lead to diameter instability, surface imperfections, clogging, and brittleness.

Besides the manufacturing-related variables, some printing parameters should be considered when discussing filament properties since they influence the process of printing itself. Printing temperature, bed temperature, layer thickness, printing speed, infill fraction, infill pattern, raster angle, nozzle diameter, and printing orientation are among such factors.

As a multi-parameter framework, filament manufacturing and printing cannot be optimized using trial-and-error experiments. Further research should use artificial intelligence, machine learning, fuzzy logic, heuristics, and optimization methods. Iterative computer-aided procedures could estimate such filament features as diameter deviation, surface quality, tendency for clogging, and printability.

## REFERENCES

[1] Ahmad, N. F. N., Wong, Y. H. & Ghazali, N. N. N. A., A systematic review of fused deposition modeling process parameters, Soft Science, 2, 11, 2022.

[2] Acierno, D. & Patti, A., Fused Deposition Modelling (FDM) of Thermoplastic-Based Filaments: Process and Rheological Properties—An Overview, Materials, 16(24), 7664, 2023.
[3] Gao, G., Xu, F., Xu, J., Tang, G. & Liu, Z., A survey of the influence of process parameters on mechanical properties of fused deposition modeling parts, Micromachines, 13(4), 553, 2022.
[4] Cardona, C., Curdes, A. H. & Isaacs, A. J., Effects of filament diameter tolerances in fused filament fabrication, IU Journal of Undergraduate Research, 2(1), 44–47, 2016.
[5] Haque, A. N. M. A. & Naebe, M., Tensile Properties of Natural Fibre-Reinforced FDM filaments: A Short review, Sustainability, 15(24), 16580, 2023.
[6] Penumakala, P. K., Santo, J. & Thomas, A., A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites, Composites Part B: Engineering, 201, 108336, 2020.
[7] Zotti, A., Paduano, T., Napolitano, F., Zuppolini, S., Zarrelli, M. & Borriello, A., Fused Deposition Modeling of Polymer Composites: development, properties and applications, Polymers, 17(8), 1054, 2025.
[8] Wickramasinghe, S., Do, T. & Tran, P., FDM-Based 3D printing of Polymer and associated composite: A review on mechanical properties, defects and treatments, Polymers, 12(7), 1529, 2020.
[9] Tahir, M. & Seyam, A., Greening Fused Deposition Modeling: A Critical review of Plant Fiber-Reinforced PLA-Based 3D-Printed biocomposites, Fibers, 13(5), 64, 2025.
[10] Kennedy, S. M., Wilson, L. A., M, J. A., D, R., Rb, J. R. & S, B., Natural fiber filaments transforming the future of sustainable 3D printing, MethodsX, 14, 103385, 2025.
[11] Rafiee, M., Abidnejad, R., Ranta, A., Ojha, K., Karakoç, A. & Paltakari, J., Exploring the possibilities of FDM filaments comprising natural fiber-reinforced biocomposites for additive manufacturing, AIMS Materials Science, 8(4), 524–537, 2021.
[12] Šenkeřík, V., Bednařík, M., Janoštík, V., Karhankova, M. & Mizera, A., Analysis of extrusion process parameters in PLA filament production for FFF technology, Manufacturing Technology, 2024.
[13] Krapež, D., Jusufagić, M., Obućina, M., Kuzman, M. K. & Karič, M., Effect of filament material and printing temperature on 3D printing extrusion force, Applied Sciences, 15(4), 2046, 2025.
[14] Wamuti, G. N., Mwangi, J. W., Karanja, S. K., Micke, L. & Zeidler, H., Optimization of extrusion process parameters of recycled High-Density Polyethylene-Thermoplastic starch composite for fused filament fabrication, Open Journal of Composite Materials, 13(04), 69–86, 2023.
[15] Mishra, R., Bu Aamiri, O., Satyavolu, J. & Kate, K., Effect of process conditions on the filament diameter in single screw extrusion of natural fiber composite, Manufacturing Letters, 32(1), 15–18, 2022.
[16] Tikhani, F. & Hubert, P., Extrusion optimization and advanced mechanical characterization of fibre-reinforced polycarbonate filaments: Improving performance for fused filament fabrication, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 191, 108752, 2025.
[17] Dursun, B. & Şahin, A., Optimization of a Desktop Single-Screw Extrusion System for the Fabrication of PLA and Composite Filaments, 2026 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA), 1–7, IEEE, 2026.

[18] Beran, T., Mulholland, T., Henning, F., Rudolph, N. & Osswald, T. A., Nozzle clogging factors during fused filament fabrication of spherical particle filled polymers, Additive Manufacturing, 23, 206–214, 2018.
[19] Liang, J. & Ness, J., Relationship between melt shear viscosity and molecular parameters based on high impact polystyrenes in capillary extrusion, Polymer Testing, 18(1), 37–46, 1999.
[20] Vlachopoulos, J. & Strutt, D., Rheology of molten polymers, In Multilayer Flexible Packaging, 77–96, William Andrew Publishing, 2016.
[21] Birley, A. W., Haworth, B. & Batchelor, J., Single-Screw Extrusion: The Extruder Characteristic, Properties and Materials Engineering, 1992.
[22] Aly, R., Olalere, O., Ryder, A., Alyammahi, M. & Samad, W. A., Mechanical property characterization of virgin and recycled PLA blends in Single-Screw filament extrusion for 3D printing, Polymers, 16(24), 3569, 2024.
[23] Perodeau, T., Boudjerada, N., Goulet, M., Poirier, S. & Laventure, A., Improving 3D printing sustainability in academic research: a PLA recycling initiative, RSC Sustainability, 2026.
[24] Darsin, M., Jatisukamto, G., Ramadhan, D. M., Ramadhan, M. E., Wibowo, R. K., Basuki, H. A., Djumhariyanto, D. & Choiron M. A., The effect of 3D printing filament extrusion process parameters on dimensional accuracy and strength using PLA-brass filaments, Journal of Engineering Science and Technology, 18(1), 145–155, 2023.
[25] Le, T., Le, V., Dang, Q., Nguyen, M., Le, T. & Bui, N., Microstructure Evaluation and Thermal–Mechanical Properties of ABS Matrix Composite Filament Reinforced with Multi-Walled Carbon Nanotubes by a Single Screw Extruder for FDM 3D Printing, Applied Sciences, 11(19), 8798, 2021.
[26] Çanti, E., Aydın, M. & Yıldırım, F., Production and characterization of composite filaments for 3D printing, Journal of Polytechnic, 21(2), 397–402, 2018.
[27] Mocanu, A. C., Constantinescu, A. E., Pandele, M. A., Voicu, Ș. I., Ciocoiu, R. C., Batalu, D., Semenescu, A., Miculescu, F.& Ciocan, L., Biocompatible composite filaments printable by fused deposition modelling technique: selection of tuning parameters by influence of biogenic hydroxyapatite and graphene nanoplatelets ratios, Biomimetics, 9(3), 189, 2024.
[28] Aniulis, J., Kryszak, B., Grzymajło, M., Dudzik, G., Abramski, K. M. & Szustakiewicz, K., Characterisation and manufacturing methods of material extrusion 3D printing composite filaments based on polylactide and nanohydroxyapatite, Additive Manufacturing, 94, 104514, 2024.
[29] Jamal, M. A., Ghafoor, U., Shah, O. R., Qureshi, Y. & Shah, U. H., Development of novel filament production setup of continuous fiber reinforced composite filament for additive manufacturing applications, Scientific Reports, 15(1), 33227, 2025.

# MACHINE LEARNING-BASED PRELIMINARY MODELING OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOR IN 3D PRINTED POLYMERS

**Res. Asst. Burak TEKKANAT**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
burak.tekkanat@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0002-1051-7076

**Prof. Sinan FİDAN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-4385-4981

**Prof. Mustafa Özgür BORA**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey,
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0921-418X

**Prof. Satılmış ÜRGÜN**
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli, Turkey,
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-3889-6909

## ABSTRACT

Additive manufacturing is expanding rapidly in both research and industry, enabling the rapid and flexible production of polymer parts. However, the friction and wear performance of these parts depends on numerous factors, including the material, the printing parameters, the type of reinforcement, and the service conditions. This study focuses on preliminary modeling based on machine learning, using experimental data obtained from 3D-printed polymers. We first examined how layer thickness and sliding distance affect the wear rate and wear volume of ABS, PLA, and HIPS. We then investigated how pressurized water aging affects PLA and glass fiber-reinforced PLA, testing different fiber contents and aging durations while tracking changes in wear scar width and depth. Owing to the small size of the datasets, we used Leave-One-Out Cross-Validation, and we compared Ridge Regression, Random Forest, and compact XGBoost models. XGBoost performed best in predicting wear volume in the first case study, whereas Random Forest performed best in estimating wear scar width and depth for the aged materials. SHapley Additive exPlanations (SHAP) were used to interpret predictions. Material type and layer thickness were the most influential factors in the first case study, while aging duration, test frequency, and fiber content were more influential in the second. The results indicate that an interpretable machine learning framework can be constructed even with limited

data, providing a useful basis for generating preliminary candidate solutions when many different input types are involved.

Keywords: Machine Learning, Fused Deposition Modelling, Tribology, XGBoost, Random Forest, SHAP

## 1. INTRODUCTION

Additive manufacturing is distinguished by its ability to produce complex geometries quickly, inexpensively, and flexibly [1,2]. Fused Deposition Modeling (FDM) achieves this by heating thermoplastic filaments and then laying them down layer by layer from a nozzle [1]. Because it's simple to use, cheap, and has lots of material choices, FDM is used tons for prototyping, and various engineering projects [1,2].

The performance of 3D-printed polymers depends on both the material and the way the parts are produced and used [3-5]. To understand friction and wear, that is, tribology, factors such as layer thickness, sliding distance, sliding speed, fiber ratio, and the surrounding environment must be considered. Accordingly, metrics such as wear volume, wear rate, and wear scar width assist in material selection and in tuning manufacturing parameters [3-6].

Many experimental studies have examined the wear behavior of FDM-printed polymers. Roy and Mukhopadhyay looked at how printing parameters affect the friction and wear of ABS and PLA [3]. Meanwhile, Fidan et al. used SEM to study wear volume and rate for ABS, PLA, and HIPS, changing layer thicknesses and sliding distances [4]. Fidan et al. also checked out the tribological properties of PLA and glass fiber-reinforced PLA, seeing how aging and reinforcement affected them [5].

Such studies often rely on only a few material combinations, which may lead to misleading conclusions when the training and test data are not well aligned because of the limited amount of data. Rigorous methods are therefore needed to validate and interpret these restricted datasets [7]. Machine learning is increasingly used in materials science and tribology, where it helps identify patterns, predict relationships, and derive candidate solutions from experimental data [8,9]. When models are built with limited data, attention must be paid not only to predictive accuracy but also to the parameters the model identifies as most influential [7,9,10]. Methods such as SHAP support the interpretation of these models. In this study, we examined the relationships between parameters and outputs using explainable machine learning and also evaluated candidate solutions.

This study aims to develop an interpretable, preliminary machine learning framework that can accommodate different parameter types derived from small datasets. To this end, we conducted two case studies. In the first, we examined how wear volume and wear rate relate to production and test parameters. In the second, we examined the relationship between wear scar width and depth and fiber ratio, aging duration, and test frequency. The principal aim is to build a predictive model from sparse data, while also clarifying parameter effects and identifying directions for future experiments and analyses.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Data Sets and Studies

The tribological performance of 3D-printed polymer materials depends on many factors, including material type, reinforcement ratio, layer thickness, build orientation, infill ratio, test load, sliding distance, test speed, aging conditions, and environmental effects. However, varying and recording data for all these factors is not always practical. Therefore, rather than including every possible factor, the model focuses only on the variables that change between trials and that are linked to the output results. Accordingly, this study is regarded as a preliminary attempt to model and validate techniques for determining how these variables are related.

This study used two separate datasets that weren't combined due to their differences (see Table 1). Each dataset's sample size depended on the experimental setup. For the first part, researchers looked at how 3D-printed ABS, PLA, and HIPS materials behaved tribologically. They changed the layer thickness and sliding distance to see effects. Specifically, they had three materials, three layer thicknesses (0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm), and two sliding distances (150 m, 300 m). This added up to 18 different tests [4].

The second study examined how 3D-printed parts made from PLA and glass fiber-reinforced PLA behave after pressurized water aging for different durations. Three materials were used: neat PLA, PLA with 10% glass fiber, and PLA with 15% glass fiber. These were tested after 0, 7, 14, 21, and 28 days of pressurized water aging, at test frequencies of either 0.5 Hz or 1.0 Hz. This setup yielded 30 samples ($3 \times 5 \times 2 = 30$). Together, the two studies comprised 48 variants; however, the experiments were kept separate because each had distinct conditions and measured outputs [5].

The small number of observations in the datasets is an important limitation that must be considered when assessing model performance. The validation results are therefore not regarded as large-scale tests, but rather as a preliminary evaluation of different machine learning methods and of whether these approaches are suitable for the present problem.

**Table 1. Input variables and parameter levels used in the case studies**

| Case study | Parameter | Type | Values |
|---|---|---|---|
| Case Study 1 | Material type | Categorical input | ABS, PLA, HIPS |
| Case Study 1 | Layer thickness | Numerical input | 0.10, 0.20, 0.30 mm |
| Case Study 1 | Sliding distance | Numerical input | 150, 300 m |
| Case Study 2 | Glass fiber ratio | Numerical input | 0, 10, 15 wt.% |
| Case Study 2 | Aging duration | Numerical input | 0, 7, 14, 21, 28 days |
| Case Study 2 | Test frequency | Numerical input | 0.5, 1.0 Hz |

### 2.2. Machine Learning Approach

Owing to the limited size of the datasets, we used leave-one-out cross-validation (LOOCV) instead of the conventional training-test split. Because validation in small-sample settings can yield biased or unstable results, all available data must be used in the validation process [7]. In each iteration, a single data point serves as the test observation while the model is trained on the remaining data, and a prediction is then made for that point. In this way, all observations are included in the validation procedure. Accordingly, the validation results obtained from the limited dataset should be interpreted as a preliminary, comparative assessment of the models rather than as final performance metrics.

During the modeling phase, we looked at Ridge regression, Random Forest regression, and a trimmed-down version of XGBoost regression. Ridge regression is great for linear relationships, tackling multicollinearity through regularization [11]. Meanwhile, Random Forest regression deals with nonlinear interactions by averaging out predictions from a bunch of decision trees [12]. XGBoost takes things further with gradient-boosted decision trees. It offers neat features like regularization and handles big datasets efficiently [13]. We judged how well these models worked using $R^2$, RMSE, and MAE. The $R^2$ score tells us how much of the variance each model covers, while RMSE and MAE give us a sense of how big the prediction errors are. When working with smaller datasets, huge individual mistakes can throw everything off. So, we paid special attention to the MAE when picking the best model [14]. Also, MAE gives us that average error figure which is super handy for making decisions in situations where there isn't a mountain of data.

SHAP was used to figure out interpretability by measuring how much each input affects the model's output, helping identify what factors matter most for tribological behavior [10]. First, the material variable was encoded numerically using one-hot encoding (OHE). This method turns categories into separate binary variables, which then feed the machine learning model properly. As a result, the study looked at how different materials; ABS, PLA, and HIPS; influenced things all at once.

### 2.3. Candidate Solution Evaluation

In this study, candidate parameter combinations were evaluated based on model performance across the two case studies. The metrics considered relate to the extent of damage or degradation at the contacting surfaces. In the first study, wear volume and wear rate were evaluated, indicating how much material is removed from the contact region. In the second study, wear scar depth and width were measured, indicating the extent of the damage in that region. Higher values of these metrics correspond to greater damage to the final part, whereas lower values indicate better performance and less material loss.

When computing the decision score, the target variables were normalized so that lower values corresponded to better performance. For each objective, the lowest value was mapped to approximately 1 and the highest value to approximately 0. This allowed candidate combinations

to be prioritized according to these scores. The first study considered three cases: balanced wear, wear-volume priority, and wear-rate priority. The second study defined three corresponding cases: balanced width-depth, width priority, and depth priority. Within each case, the combination with the highest score was selected.

### 2.4. Extensibility of Multi-Objective Optimization Algorithms

This study evaluated and ranked all candidate combinations using normalized decision scores, because the datasets contained a limited number of observations and discrete parameter values. This approach provides a computationally efficient, transparent, and reproducible decision-support framework for this type of data. If the proposed modeling strategy is applied to experimental datasets with many continuous attributes, the trained regression models could serve as surrogate models. In that setting, multi-objective optimization algorithms, including NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II), MOEA/D (Decomposition-Based Multi-Objective Evolutionary Algorithm), and MOPSO-CD (Multi-Objective Particle Swarm Optimization with Crowding Distance), could be incorporated. These algorithms optimize multiple objectives, such as wear volume, wear rate, wear scar width, and wear scar depth, simultaneously. Consequently, the present candidate-solution evaluation can be regarded as an initial stage, suited to data-limited conditions, of a larger Pareto-based optimization methodology.

## 3 FINDINGS AND EVALUATION

### 3.1. Study 1: Wear Volume and Wear Rate in ABS, PLA and HIPS Materials

For the 18-row dataset, the first case study evaluated three regression models, and Table 2 reports the best-performing model for each target. XGBoost performed best in predicting wear volume. Random Forest was selected for wear rate; however, its $R^2$ value was relatively low, indicating that there is room for improvement.

**Table 2. Model performance results for Case Study 1**

| **Target variable** | **Model** | **$R^2$(LOOCV)** | **RMSE** | **MAE** | **Selected model** |
|---|---|---|---|---|---|
| Wear volume ($mm^3$) | Ridge Regression | 0.6755 | 0.780665 | 0.616725 | No |
| Wear volume ($mm^3$) | Random Forest | 0.5527 | 0.916633 | 0.714530 | No |
| Wear volume ($mm^3$) | XGBoost | 0.7861 | 0.633786 | 0.494132 | Yes |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Ridge Regression | 0.3316 | 2.20e-05 | 1.30e-05 | No |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Random Forest | 0.3583 | 2.20e-05 | 1.20e-05 | Yes |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | XGBoost | -0.1230 | 2.90e-05 | 1.90e-05 | No |

For wear volume, the SHAP analysis identified material type and layer thickness as the most influential features (Table 3). Material type was encoded using one-hot encoding, and ABS, PLA, and HIPS were analyzed together. According to the SHAP analysis, material type and layer thickness are the main drivers of wear volume, although the model exhibited certain limitations in capturing this relationship.

**Table 3. SHAP feature importance values for Case Study 1**

| **Target variable** | **Feature** | **Mean \|SHAP\| value** |
|---|---|---|
| Wear volume ($mm^3$) | Material type: HIPS | 0.5621 |
| Wear volume ($mm^3$) | Material type: ABS | 0.4626 |
| Wear volume ($mm^3$) | Layer thickness (mm) | 0.4578 |
| Wear volume ($mm^3$) | Sliding distance (m) | 0.1788 |
| Wear volume ($mm^3$) | Material type: PLA | 0.0699 |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Material type: ABS | 1.13e-05 |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Layer thickness (mm) | 6.33e-06 |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Material type: HIPS | 4.91e-06 |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Material type: PLA | 5.32e-07 |
| Wear rate ($mm^3$/Nm) | Sliding distance (m) | 5.06e-07 |

In the candidate solution space, ABS specimens were concentrated mainly in the lower-left quadrant, corresponding to lower wear volume and wear rate values (Figure 1). PLA solutions occupied the intermediate region, whereas HIPS exhibited higher wear rates. The performance review showed that the accuracy for some target variables was limited. The Random Forest model achieved an $R^2$ of 0.3583 for wear rate, which is relatively low. The XGBoost model performed worse still, with a negative $R^2$, indicating that the mean of the data provides a better predictor. This poorer fit may stem from the limited variability in the wear-rate values, together with unmodeled factors such as surface roughness, microstructural voids, interlayer adhesion, localized thermal effects, and material transfer at the contact points. In addition, the dataset contains only 18 observations, which limits the ability of the models to capture complex nonlinear relationships.

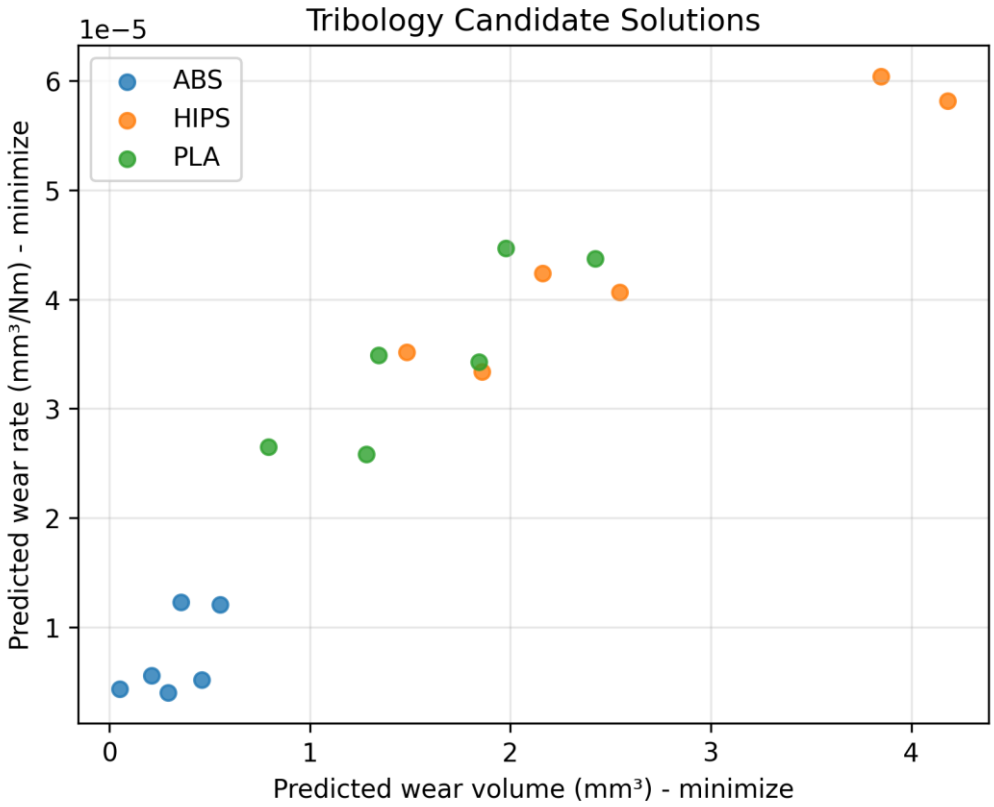



**Figure 1. Estimated wear volume and wear rate candidate solution distribution for Study 1.**

### 3.2. Study 2: Aging and Frequency Effects in PLA/GF-PLA Samples

The second study used a dataset with 30 observations. The inputs were test frequency, aging duration, and glass fiber ratio, and the output variables were wear scar width and depth. As shown in Table 4, the Random Forest model performed better overall, achieving higher R2 values, particularly for wear scar depth. This model therefore performed best for both outputs, with the greatest improvement observed for depth.

**Table 4. Model performance results for Case Study 2**

| **Target variable** | **Model** | **$R^2$(LOOCV)** | **RMSE** | **MAE** | **Selected model** |
|---|---|---|---|---|---|
| Wear scar width (µm) | Ridge Regression | 0.4713 | 123.4033 | 93.8168 | No |
| Wear scar width (µm) | Random Forest | 0.4809 | 122.2719 | 85.0927 | Yes |
| Wear scar width (µm) | XGBoost | 0.3534 | 136.4689 | 104.8107 | No |
| Wear scar depth (µm) | Ridge Regression | 0.4698 | 26.7818 | 21.7189 | No |
| Wear scar depth (µm) | Random Forest | 0.6858 | 20.6156 | 15.4003 | Yes |
| Wear scar depth (µm) | XGBoost | 0.4148 | 28.1381 | 19.8898 | No |

In the second study, the SHAP analysis showed that test frequency was the most influential factor for wear scar width (Table 5), followed by aging duration and fiber ratio. For wear scar depth, the fiber ratio was the most influential factor, followed by test frequency and then aging duration.

**Table 5. SHAP feature importance values for Case Study 2**

| Target variable | Feature | Mean \|SHAP\| value |
|---|---|---|
| Wear scar width (µm) | Test frequency (Hz) | 85.7897 |
| Wear scar width (µm) | Aging duration (day) | 58.6357 |
| Wear scar width (µm) | Glass fiber ratio (wt.%) | 47.2635 |
| Wear scar depth (µm) | Glass fiber ratio (wt.%) | 19.3478 |
| Wear scar depth (µm) | Test frequency (Hz) | 18.4820 |
| Wear scar depth (µm) | Aging duration (day) | 5.0758 |

The mean absolute SHAP value quantifies how much each input parameter affects the model predictions. For each observation, the SHAP framework indicates whether a parameter increases or decreases the predicted outcome. Because the analysis emphasizes the magnitude of the effect rather than its direction, the SHAP values are considered in absolute terms. The mean absolute SHAP value of a parameter is obtained by averaging these absolute values over all observations, and this mean value reflects the overall influence of the parameter in the model.

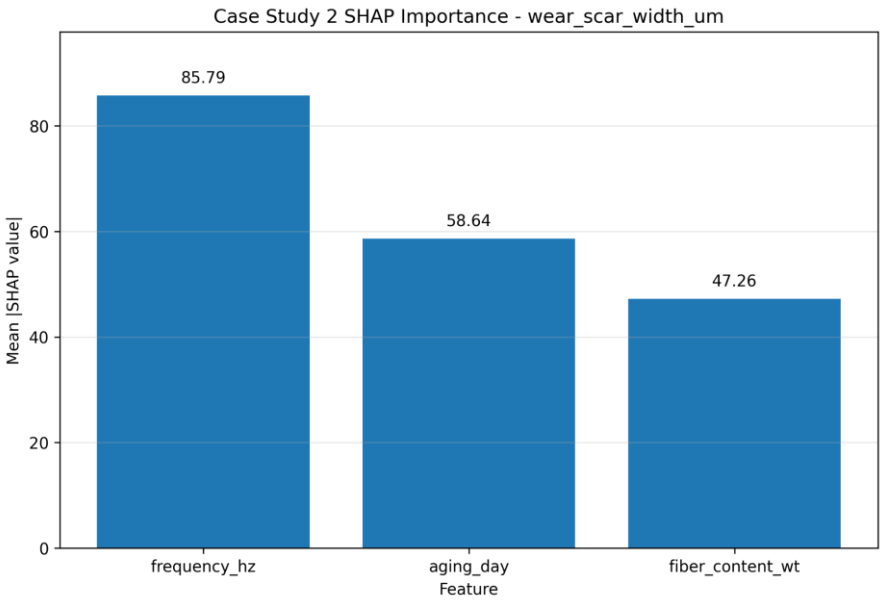



**Figure 2. SHAP significance graph for wear scar width in Study 2.**

In the second study, the Random Forest model selected for each output was retrained on the 30 observations, and SHAP contribution values were computed for all 30 observations and then averaged in absolute terms. Larger SHAP values indicate a stronger effect on the output. The mean absolute SHAP value graphs for wear scar width and depth are shown in Figure 2 and Figure 3, respectively.

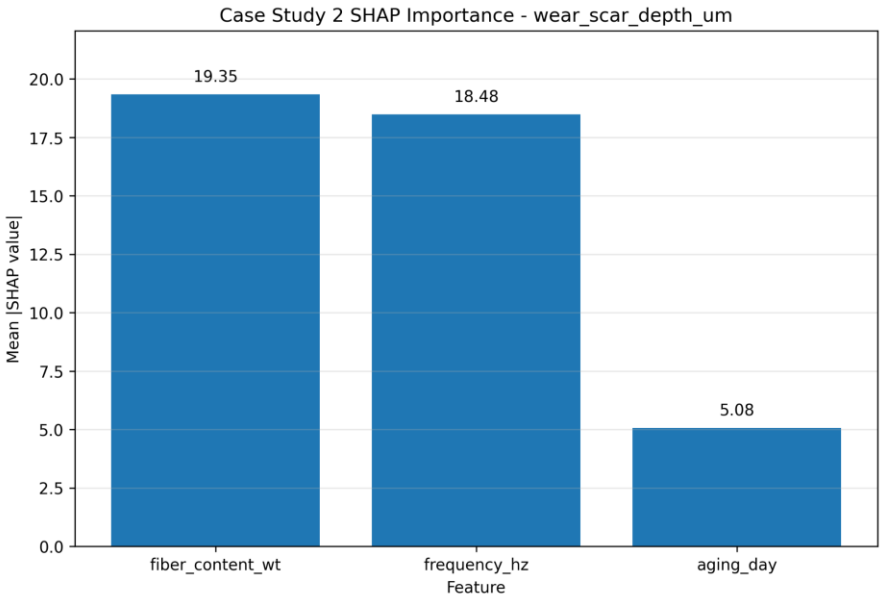



**Figure 3. SHAP significance graph for wear scar depth in Study 2.**

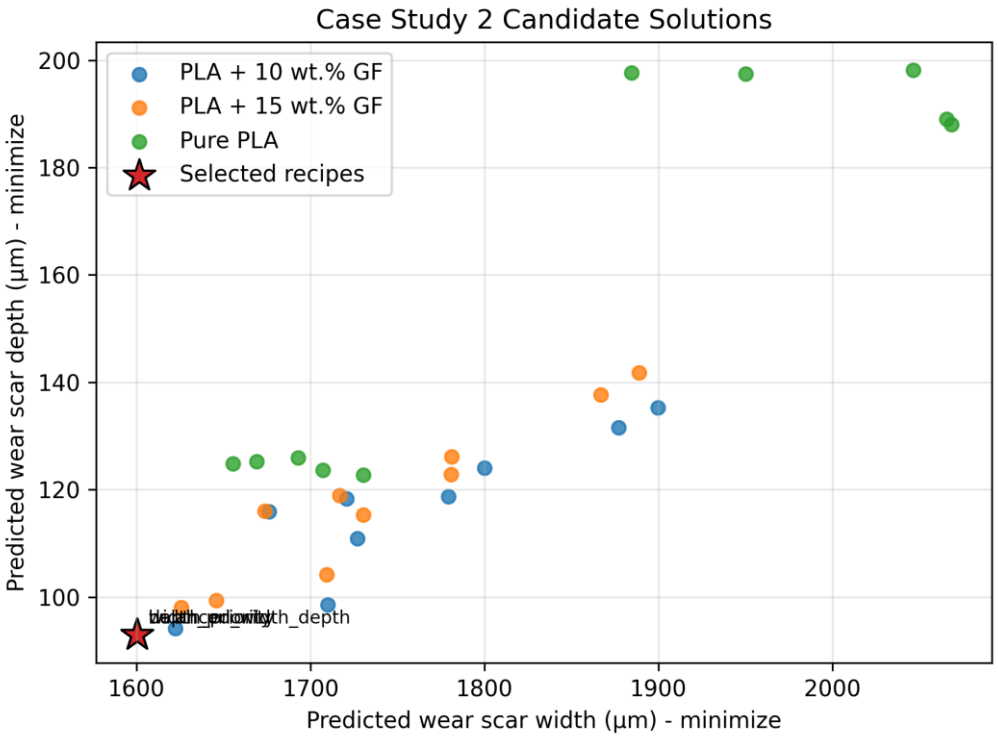



**Figure 4. Candidate solution distribution of predicted wear scar width and depth for Study 2.**

Examination of the two candidate-solution matrices showed that the lowest width and depth values occurred for PLA with 10 wt.% glass fiber in the unaged condition at 0.5 Hz (Figure 4). This combination consistently emerged across all three decision cases, indicating that wear scar width and depth improved together for this particular dataset.

**Table 6. Selected candidate combinations under different decision scenarios.**

| **Case Study** | **Decision scenarios** | **Selected candidate combination** | **Predicted output** |
|---|---|---|---|
| Case Study 1 | Balanced wear<br>Wear volume priority<br>Wear rate priority | ABS<br>Layer thickness: 0.10 mm<br>Sliding distance: 150 m | Wear volume = 0.052 $mm^3$<br>Wear rate = $4 \times 10^{-6}$ $mm^3/Nm$ |
| Case Study 2 | Balanced width-depth<br>Width priority<br>Depth priority | PLA + 10 wt.% GF<br>Aging duration: 0 day<br>Test frequency: 0.5 Hz | Wear scar width = 1600.35 µm<br>Wear scar depth = 92.96 µm |

In both studies, the decision scenarios identified the same candidate combinations. This indicates that certain variables in the datasets tend to vary in the same direction, even across different scenarios, so that the combination minimizing the targets remains consistent and points to a dominant solution. The fact that both studies identified the same key combination despite their different emphases suggests that there are no strong conflicts among the target variables in the data. In the first study, which considered wear volume and wear rate, ABS with a 0.1 mm layer thickness and a sliding distance of 150 m stood out. In the second study, minimizing wear scar width and depth indicated that PLA with 10 wt.% glass fiber in the unaged condition, tested at 0.5 Hz, was the best combination (Table 6).

### 3.3. Combined Evaluation of the Two Studies

When the two small-dataset studies are considered together, the model is shown to accommodate different parameter types. The first study focuses on production and test parameters such as material type, layer thickness, and sliding distance, while the second considers material and environmental conditions such as fiber ratio, aging duration, and test frequency. In the first study, the model predicted wear volume more accurately, and ABS with a 0.10 mm layer thickness and a sliding distance of 150 m was identified as the best combination. In the second study, the model predicted wear scar depth more accurately than width, and PLA with 10 wt.% glass fiber in the unaged condition, tested at 0.5 Hz, performed well across all decision cases.

## 4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

This study investigated the development of an explainable, machine learning-driven framework for analyzing the tribological behavior of 3D-printed polymers. Two separate experimental datasets were used. The first examined the wear volume and wear rate of ABS, PLA, and HIPS materials, while the second examined the wear scar width and depth of PLA and glass fiber-reinforced PLA samples. Owing to the limited data, Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) was used, and Ridge regression, Random Forest, and compact XGBoost models were compared. In the first study, XGBoost performed best for wear volume, whereas in the second study, Random Forest performed best for wear scar width and depth.

SHAP analysis showed that material type and layer thickness mattered most in the first study, while the second study found test frequency, aging duration, and fiber ratio were the key factors. So, this method can handle and assess different parameter types effectively. In selecting the preferred solutions, ABS with a 0.10 mm layer thickness and a 150 m sliding distance was favorable in the first study, while PLA with 10 wt.% glass fiber reinforcement in the unaged condition, tested at 0.5 Hz, performed best in the second. However, because of the small dataset, these are not regarded as final solutions but rather as a starting point, namely a preliminary decision-support framework based on limited data.

To improve reliability, future studies would benefit from larger experimental and analytical datasets, and multi-objective optimization algorithms could also be applied. Because of the data constraints in the present work, all possible combinations were evaluated using a grid-search approach. Nevertheless, the framework is expected to accommodate more advanced algorithms when larger datasets are available. Overall, this study provides a basis for moving toward a machine learning-assisted multi-objective optimization system and opens promising directions for further investigation and development.

## REFERENCES

[1] Penumakala, P. K., Santo, J. & Thomas, A., A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites, Composites Part B: Engineering, 201, 108336, 2020.
[2] Acierno, D. & Patti, A., Fused Deposition Modelling (FDM) of Thermoplastic-Based Filaments: Process and Rheological Properties-An Overview, Materials, 16(24), 7664, 2023.
[3] Roy, R. & Mukhopadhyay, A., Tribological studies of 3D printed ABS and PLA plastic parts, Materials Today: Proceedings, 41, 856-862, 2020.
[4] Fidan, S., Ürgün, S., Şahin, A. E., Bora, M. Ö., Yılmaz, T. & Özsoy, M. İ., Comprehensive Sliding Wear Analysis of 3D-Printed ABS, PLA, and HIPS: ANOVA, SEM Examination, and Wear Volume Measurements with Varying Layer Thickness, Polymers, 17(14), 1899, 2025.
[5] Fidan, S., Ürgün, S., Karsli, N. G., Yilmaz, T., Bora, M. Ö. & Özsoy, M. İ., Effects of pressurized water aging on reciprocating friction and wear of FDM 3D-Printed PLA and glass fiber reinforced PLA composites, Polymers, 18(3), 406, 2026.

[6] Dangnan, F., Espejo, C., Liskiewicz, T., Gester, M. & Neville, A., Friction and wear of additive manufactured polymers in dry contact, Journal of Manufacturing Processes, 59, 238-247, 2020.
[7] Vabalas, A., Gowen, E., Poliakoff, E. & Casson, A. J., Machine learning algorithm validation with a limited sample size, PLoS ONE, 14(11), e0224365, 2019.
[8] Yan, H., Tan, J., Chen, H., He, T., Zeng, D. & Zhang, L., Machine Learning-Based Prediction of tribological properties of epoxy composite coating, Polymers, 17(3), 282, 2025.
[9] Zhong, X., Gallagher, B., Liu, S., Kailkhura, B., Hiszpanski, A. & Han, T. Y., Explainable machine learning in materials science, npj Computational Materials, 8(1), 204, 2022.
[10] Lundberg, S. & Lee, S., A unified approach to interpreting model predictions, arXiv, 2017.
[11] Hoerl, A. E. & Kennard, R. W., Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems, Technometrics, 12(1), 55-67, 1970.
[12] Breiman, L., Random forests, Machine Learning, 45(1), 5-32, 2001.
[13] Chen, T. & Guestrin, C., XGBoost, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, San Francisco, 2016.
[14] Willmott, C. & Matsuura, K., Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, Climate Research, 30, 79-82, 2005.

# NANOAKIŞKAN İÇEREN KARE BİR KAPALI KUTUDA DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ MANYETİK ALAN ETKİLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

**YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK[1]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: 503720240032@ogrenci.ogu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-8582-8978

**Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK[2]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: nihalu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-9442-8248

**Doç. Dr. Zerrin SERT[3]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: zbocu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-6934-5443

## ÖZET

Bu çalışmada, literatürde kabul görmüş manyetik alan etkisi altında su-$Al_2O_3$ nanoakışkan ile doldurulmuş kare kapalı ortamdaki doğal taşınım ısı transferi çalışmasının (Ghasemi vd, 2011) sayısal doğrulaması yapılmıştır. Doğrulamada $Ra=10^5$ için, Hartmann sayısı ve nanoparçacık hacim oranı değişiminin akış yapısı, sıcaklık dağılımı ve ısı transfer performansı üzerindeki etkileri göz önüne alınmıştır. Problem, iki boyutlu, kararlı, laminer ve sıkıştırılamaz akış varsayımları altında ele alınmış; nanoakışkanın etkin termofiziksel özellikleri klasik karışım modelleri yardımıyla tanımlanmıştır. Sol duvarın sabit yüksek sıcaklıkta, sağ duvarın sabit düşük sıcaklıkta tutulduğu ve yatay duvarların adyabatik kabul edildiği sistemde, akış ve ısı transferi davranışı Rayleigh sayısı, Hartmann sayısı ve nanoparçacık hacim oranına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Boyutsuz yönetici denklemler sonlu hacimler yöntemi ile çözülmüş, basınç-hız bağlaşımı için SIMPLE algoritması ve ayrıklaştırmada second-order upwind şeması kullanılmıştır. Ghasemi vd. (2011) tarafından sunulan referans sonuçlarla bu çalışmadan elde edilen ortalama Nusselt sayısındaki bağıl farkların % 0.09 ile % 0.20 aralığında kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, Hartmann sayısının artmasıyla Lorentz kuvvetinin akış dolaşımını baskıladığını, izotermleri düşey doğrultuda daha düzenli hale getirdiğini ve buna bağlı olarak ortalama Nusselt sayısını azalttığını göstermiştir. Ayrıca, nanoparçacık ilavesinin ısı transferini artırıcı etkisinin düşük manyetik alan şiddetlerinde daha belirgin olduğu, yüksek Hartmann sayılarında ise bu etkinin zayıfladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler :** Doğal taşınım, nanoakışkan, manyetik alan, Hartmann sayısı, Nusselt sayısı.

**Not:** Bu çalışma sorumlu yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

# NUMERICAL INVESTIGATION OF MAGNETIC FIELD EFFECTS ON NATURAL CONVECTION IN A NANOFLUID-FILLED SQUARE CAVITY

**YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK[1]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: 503720240032@ogrenci.ogu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-8582-8978

**Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK[2]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: nihalu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-9442-8248

**Doç. Dr. Zerrin SERT[3]**
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: zbocu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-6934-5443

## ÖZET

This study numerically validates the accepted literature on natural convection heat transfer in a square enclosed medium filled with water- $Al_2O_3$ nanofluid under the influence of a magnetic field (Ghasemi et al., 2011). In the validation, the effects of variations in Hartmann number and nanoparticle volume ratio on flow structure, temperature distribution, and heat transfer performance were considered for $Ra=10^5$. The problem is addressed under the assumptions of two-dimensional, steady, laminar, and incompressible flow; the effective thermophysical properties of the nanofluid are defined using classical mixture models. In the system, where the left wall is kept at a constant high temperature, the right wall at a constant low temperature, and the horizontal walls are assumed to be adiabatic, the flow and heat transfer behavior is evaluated as a function of Rayleigh number, Hartmann number, and nanoparticle volume ratio. The dimensionless governing equations are solved using the finite volume method, the SIMPLE algorithm is used for pressure-velocity coupling, and the second-order upwind scheme is used for discretization. The relative error in the average Nusselt number obtained from this study compared to the reference results presented by Ghasemi et al. (2011) were determined to be between 0.09-0.2%. The findings show that as the Hartmann number increases, the Lorentz force suppresses flow circulation, makes the isotherms more regular in the vertical direction, and consequently reduces the mean Nusselt number. Furthermore, it was observed that the heat transfer enhancing effect of nanoparticle addition was more pronounced at low magnetic field strengths, while this effect weakened at high Hartmann numbers.

**Keywords:**Natural convection, nanofluids, magnetic field, Hartmann number, Nusselt number.

**Note:** This study was produced from the postgraduate thesis of the corresponding author.

## 1.GİRİŞ

Kapalı hacimler içerisinde gerçekleşen doğal taşınım olgusu; elektronik bileşenlerin soğutulması, enerji depolama sistemleri, güneş kolektörleri, nükleer sistemler, metal döküm süreçleri ve çeşitli ısıl yalıtım uygulamaları gibi pek çok mühendislik probleminde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, sınırlı bir geometri içerisinde akış yapısı ile ısı transferi davranışının doğru biçimde anlaşılması, ilgili sistemlerin tasarımı ve performans iyileştirmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle elektriksel olarak iletken akışkanların kullanıldığı uygulamalarda, dış manyetik alanın akış alanı üzerindeki etkisi ayrıca dikkate alınmalıdır. Manyetik alan varlığında akışkan üzerinde oluşan Lorentz kuvveti, doğal taşınım kaynaklı dolaşım hareketlerini baskılayabilmekte ve buna bağlı olarak ısı transfer performansında azalmaya neden olabilmektedir. Bu durum, manyetik alanın bulunduğu ısıl sistemlerde taşınım mekanizmasının yalnızca kaldırma kuvvetiyle değil, aynı zamanda elektromanyetik etkileşimlerle de şekillendiğini göstermektedir.

Doğal konveksiyon ısı transferini iyileştirmeyi amaçlayan çalışmalarda, son yıllarda literatürde nanoakışkanların çalışma akışkanı olarak kullanımı önemli ölçüde ilgi görmüş ve bu akışkanların termal performans üzerindeki etkileri farklı geometriler, sınır koşulları ve fiziksel etki parametreleri altında kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Özellikle, deneysel bulgular, askıda bulunan metal nanopartiküllerin hacim oranının artırılmasının, temel akışkanın etkin termal iletkenliğini artırarak ısı transfer verimliliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir (Baiti vd., 2023; Khalili vd., 2024). Ayrıca, araştırmacılar bu konsantrasyonları optimal bir aralıkta, tipik olarak $0 \leq \varphi \leq 0.06$, tutmanın Nusselt sayısı gibi boyutsuz niceliklerde gözlemlenen iyileştirmeleri en üst düzeye çıkarırken parçacık kümelenmesini önlediğini tespit etmişlerdir (Abbas ve Hussein, 2023; Brahimi vd., 2024). Basit konsantrasyon ayarlamalarının ötesinde; bu süspansiyonların stabilitesi, parçacık kümelenmesinin konvektif akış modelleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için ultrasonik karıştırma ve pH kontrolü gibi gelişmiş tekniklerle sıklıkla yönetilir (Abbas ve Hussein, 2023; Rahman vd., 2024). Konsantrasyon seviyelerinin ötesinde, metal oksitlerden karbon bazlı nanotüplere kadar değişen nanopartikül malzemelerinin seçimi, ortaya çıkan konvektif ısı transferi özelliklerinin kritik bir belirleyicisi olmaya devam etmektedir (Atofarati vd., 2024; Kongassery vd., 2023). Bu araştırmalar, nanopartiküllerin eklenmesinin iki rakip mekanizmayı tetiklediğini göstermektedir: artan termal iletkenlik enerji transferini teşvik ederken, eş zamanlı olarak artan dinamik viskozite, kaldırma kuvvetiyle oluşan konvektif hareketi bastırma eğilimindedir. Sonuç olarak, net ısı transferi artışını yöneten baskın mekanizma, Rayleigh sayısına, parçacık geometrisine ve karışımın özelliklerini tahmin etmek için kullanılan spesifik reolojik modellere oldukça duyarlıdır (Baiti vd., 2023).

Son yıllarda nanoölçekli parçacıklar içeren nanoakışkanlar, taban akışkanlara kıyasla geliştirilmiş termo-fiziksel özellikler sunmaları nedeniyle ısı transferi uygulamalarında yoğun ilgi görmüştür. Nanoakışkanların özellikle etkin ısıl iletkenliği artırarak ısı taşınım performansını iyileştirebildiği birçok çalışmada rapor edilmiştir. Bununla birlikte, nanoakışkanların performansının yalnızca parçacık eklenmesiyle açıklanamayacağı, parçacık

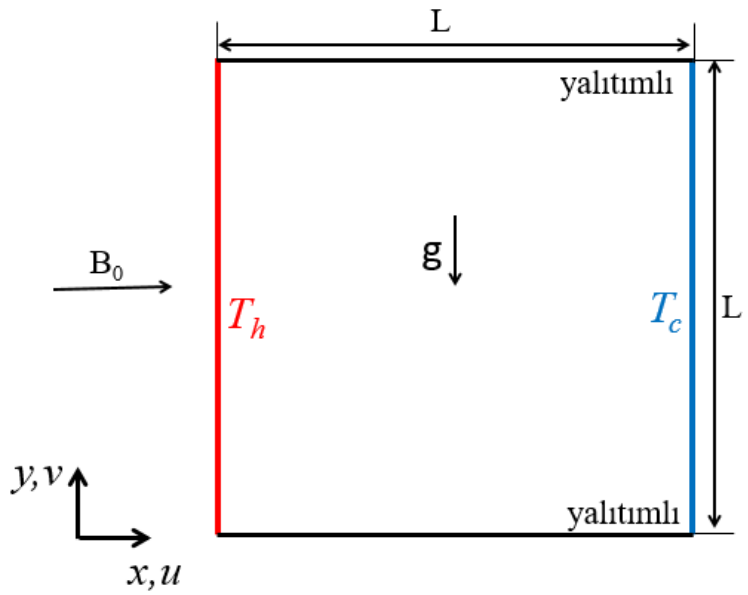
hacim oranı, akış rejimi, kullanılan özellik modelleri ve uygulanan dış alanlar gibi değişkenlere güçlü biçimde bağlı olduğu da bilinmektedir.

Literatürde, kapalı hacimlerde doğal taşınım, manyetik alan etkisi altındaki magnet hidrodinamik akışlar ve nanoakışkanların ısı transferine etkileri ayrı ayrı geniş biçimde incelenmiştir. Özellikle manyetik alanın doğal taşınımı bastırıcı etkisi ile nanoakışkan kullanımının ısı transferini iyileştirici etkisi arasındaki etkileşimin ayrıntılı biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Sadece termofiziksel iyileştirmeye odaklanan çalışmaların yanı sıra, manyetik alanların nanoakışkan dolu kapalı alanlardaki doğal konveksiyon üzerindeki etkisini inceleyen önemli bir araştırma grubu da bulunmaktadır; çünkü manyetik etkiler akış yapısını, sıcaklık dağılımını ve genel ısı transferi özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Özellikle, uygulanan manyetik alan ile elektriksel olarak iletken akışkan arasındaki etkileşimden kaynaklanan Lorentz kuvveti, konvektif hareketi genellikle azaltır ve bu da Hartmann sayısı arttıkça ısı transfer hızında ölçülebilir bir azalmaya yol açar (Abbas & Hussein, 2023; Hattab vd., 2023). Tersine, yüksek Rayleigh sayıları, kaldırma kuvvetlerini güçlendirerek bu baskılayıcı etkileri sıklıkla ortadan kaldırır ve daha güçlü termal karışımı ve enerji dağılımını kolaylaştırır (Hamida vd., 2025). Ayrıca, bakır veya çeşitli hibrit kombinasyonlar gibi nanopartiküllerin dahil edilmesinin bu etkileşimi düzenlediği ve karmaşık manyetik alan konfigürasyonlarının etkisi altında bile termal performansı sıklıkla artırdığı gösterilmiştir (Rajesh & Öztop, 2024).Son araştırmalar, dalgalı duvarlar veya iç engeller gibi geometrik karmaşıklıkların, sistem içindeki nihai entropi üretimini ve termal verimliliği belirlemek için bu manyetik kuvvetlerle sinerjik olarak etkileşime girdiğini daha da vurgulamaktadır (Elsaid vd., 2025; Sarker ve Alam, 2025). Örneğin, sayısal analizler, nanopartikül hacim oranının artırılmasının, özellikle yüksek termal kaldırma kuvveti ile karakterize edilen rejimlerde, küresel entropi üretimini etkili bir şekilde azaltabileceğini göstermiştir (Ghalambaz vd., 2023). Dahası, manyetik kaynakların uzamsal konumlandırılmasının kritik bir tasarım değişkeni olduğu kanıtlanmıştır, çünkü lokalize alan uygulamaları, düzgün alan tepkilerinden önemli ölçüde sapma gösteren yönlü akış değişikliklerine neden olabilir (Abbas ve Hussein, 2023; Abderrahmane vd., 2024). Alan yönelimine olan bu hassasiyet, enerji depolama ve güneş enerjisi uygulamalarında termal iletimi en üst düzeye çıkarmak için boşluk geometrisiyle birlikte manyetik parametrelerin optimize edilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır (Abderrahmane vd., 2024; Hussein vd., 2025). Sonuç olarak, araştırmacılar, bölümlere ayrılmış ısıtma veya dönen iç engeller içeren konfigürasyonlardaki bu karmaşık ısı transferi dinamiklerini haritalamak için sonlu hacim yöntemi gibi gelişmiş hesaplama yöntemlerini giderek daha fazla kullanmaktadır (Mahmood vd., 2022).

Bu çalışmada, kapalı bir kare kutu içerisinde bulunan su-$Al_2O_3$ esaslı nanoakışkanın doğal taşınım davranışı, düşey doğrultuda uygulanan manyetik alan etkisi altında sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada Rayleigh sayısı, Hartmann sayısı ve nanoparçacık hacim oranı gibi temel boyutsuz parametrelerin akış yapısı, sıcaklık dağılımı ve ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, manyetik alan altında çalışan ısıl sistemlerin tasarımı ve performans optimizasyonu açısından literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

## 2.PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada, kenar uzunluğu L olan kare kapalı bir kutu içerisinde bulunan su-$Al_2O_3$ esaslı nanoakışkanın iki boyutlu, sürekli ve laminer doğal taşınım davranışı manyetik alan altında incelenmiştir (Görsel 1). Geometrinin sol duvarı sabit yüksek sıcaklıkta ( $T_h$), sağ duvarı sabit düşük sıcaklıkta ($T_c$) tutulmuş, üst ve alt duvarlar ise adyabatik kabul edilmiştir. Sisteme ayrıca sol düşey doğrultuda düzgün şiddette bir manyetik alan uygulanmıştır.




**Görsel 1. Sistem geometrisi**

Bu çalışmada kullanılan yönetici denklemler ve nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar, doğrulama çalışmasıyla tutarlılığı sağlamak amacıyla Ghasemi vd. (2011) tarafından sunulan matematiksel model esas alınarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda, iki boyutlu, kararlı, laminer ve sıkıştırılamaz akış için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ile birlikte nanoakışkana ait etkin yoğunluk, özgül ısı, ısıl genleşme katsayısı, elektriksel iletkenlik, ısıl yayınım katsayısı, dinamik viskozite ve ısıl iletkenlik ifadeleri aynı yaklaşımla kullanılmıştır. Özellikle nanoakışkan özelliklerinin hesaplanmasında klasik karışım modeli esas alınmış; etkin viskozite için Brinkman tipi bağıntı, etkin ısıl iletkenlik için ise Maxwell modeline dayalı ifade tercih edilmiştir (Xuan vd., 2000; Brinkman vd., 1952; Maxwell, 1873). Böylece, hem yönetici denklemler hem de malzeme özelliklerinin tanımlanması bakımından referans çalışmayla yöntemsel uyum korunmuş ve elde edilen sonuçların doğrudan karşılaştırılabilir olması sağlanmıştır. Çizelge 1'de baz akışkan ve nanoparçacığın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 1. Baz akışkan ve nanoparçacığın termofiziksel özellikleri**

| | Su | Alumina ($Al_2O_3$) |
|---|---|---|
| $\rho$ (kg/m$^3$) | 997.1 | 3970 |
| $c_p$ (J/kg.K) | 4179 | 765 |
| $k$ (W/mK) | 0.613 | 40 |
| $\beta$ (K$^{-1}$) | $21\times10^{-5}$ | $0.85\times10^{-5}$ |
| σ (S/m) | 0.05 | $1\times10^{-10}$ |

Analizlerde nanoakışkanın Newtonian ve sıkıştırılamaz olduğu varsayılmıştır. Akışın iki boyutlu, kararlı ve laminer rejimde gerçekleştiği kabul edilmiştir. Baz akışkan ile nanoparçacıklar arasında termal dengenin sağlandığı varsayılmış, ışınım etkileri, Joule ısınması, viskoz disipasyon, indüklenen manyetik alan ve yer değiştirme akımları ihmal edilmiştir. Yoğunluk değişiminin yalnızca kaldırma kuvveti teriminde etkili olduğu kabul edilerek Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır.

Akış alanı süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ile modellenmiştir. Y-momentum denkleminde kaldırma kuvvetine ek olarak, uygulanan manyetik alanın etkisini temsil eden Lorentz kuvveti terimi dikkate alınmıştır.

Yönetici denklemler uygun boyutsuz değişkenler kullanılarak boyutsuz hale getirilmiş ve problem Rayleigh sayısı $(Ra)$, Hartmann sayısı $(Ha)$ ve nanoparçacık hacim oranı $(\phi)$ cinsinden ifade edilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve ortalama Nusselt sayısı değerlerine göre ısı transferi ve akış karakteristikleri değerlendirilmiştir.

## 3.DOĞRULAMA VE SAYISAL YÖNTEMİN ÖZELLİKLERİ

Boyutsuz yönetici denklemler ve sınır şartları, sonlu hacimler yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Basınç-hız bağlaşımının sağlanması için SIMPLE algoritması uygulanmış, taşınım ve difüzyon terimlerinin ayrıklaştırılmasında second-order upwind şeması tercih edilmiştir. Çözüm alanı, düzgün aralıklı bir ağ yapısına bölünmüş ve tüm hesaplamalar Ansys- Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yakınsama koşulu olarak her iterasyonda tüm denklemler için artık değerlerin belirlenen toleransın altına düşmesi esas alınmıştır. Bu çalışmada çözümün yakınsadığı, maksimum artık değerlerin $10^{-5}$ mertebesinin altına inmesiyle kabul edilmiştir.

Sayısal modelin doğrulanması amacıyla, elde edilen ortalama Nusselt sayıları, Ghasemi vd. (2011) tarafından su- $Al_2O_3$ nanoakışkan ile doldurulmuş kare kapalı ortam için Ra=$10^5$ koşulunda rapor edilen referans sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 2). İlgili çalışmada $Ha = 0$, 30 ve 60 ile $\phi = 0$, 0.02 ve 0.04 durumları için verilen ortalama Nusselt sayıları, bu

çalışmada hesaplanan değerlerle oldukça iyi bir uyum göstermiştir. Karşılaştırma sonucunda bağıl hataların yalnızca % 0.09 ile % 0.20 aralığında kaldığı görülmüş olup, tüm sapmaların % 1'in oldukça altında olması geliştirilen sayısal yöntemin doğruluğunu ve güvenilirliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu yüksek uyum, kullanılan sayısal yöntem yaklaşımının literatürdeki kabul görmüş sonuçları başarıyla yeniden üretebildiğini ve dolayısıyla sonraki parametrik incelemeler için sağlam bir doğrulama temeli sunduğunu göstermektedir.

**Çizelge 2. Literatür ile bulunan sonuçların kıyaslanması**

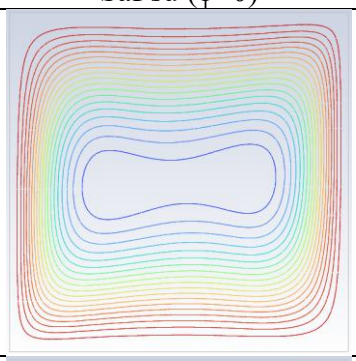
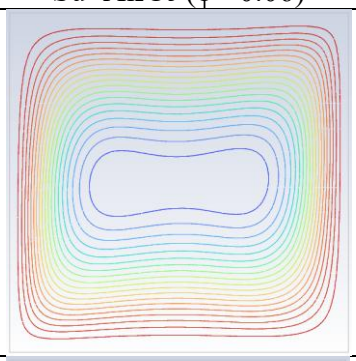
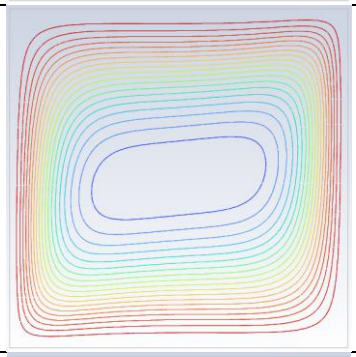
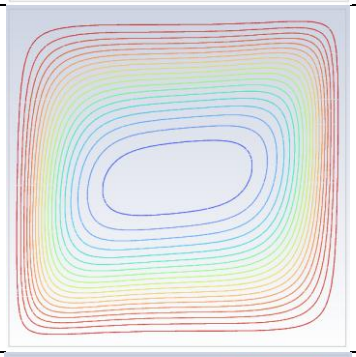
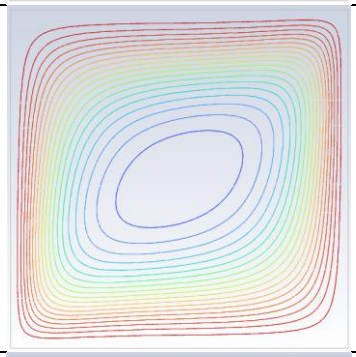
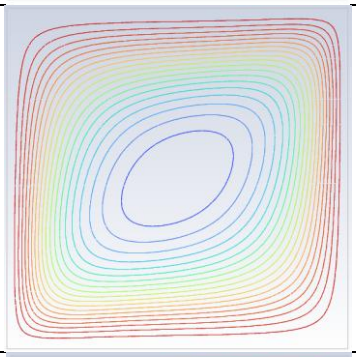
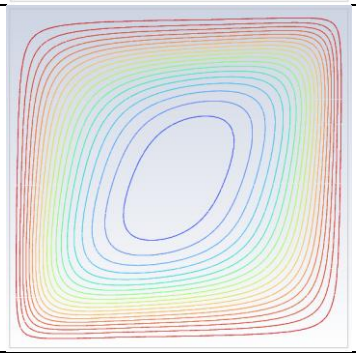
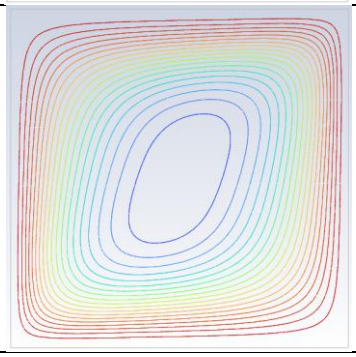
| | | Nusselt Sayısı | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\phi$ =0 | $\phi$=0.02 | $\phi$=0.04 |
| $Ha$=0 | Ghasemi vd. (2011) | 4.7380 | 4.8200 | 4.8960 |
| | Bu çalışma | 4.7284 | 4.8108 | 4.8874 |
| | Bağıl hata % | 0.20 | 0.19 | 0.17 |
| $Ha$=30 | Ghasemi vd. (2011) | 3.1500 | 3.1380 | 3.1240 |
| | Bu çalışma | 3.1456 | 3.1352 | 3.1180 |
| | Bağıl hata % | 0.14 | 0.09 | 0.19 |
| $Ha$=60 | Ghasemi vd. (2011) | 1.8510 | 1.8310 | 1.8150 |
| | Bu çalışma | 1.8476 | 1.8275 | 1.8128 |
| | Bağıl hata % | 0.18 | 0.19 | 0.12 |

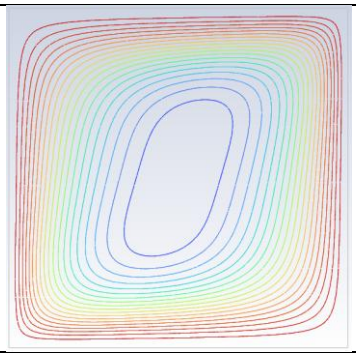
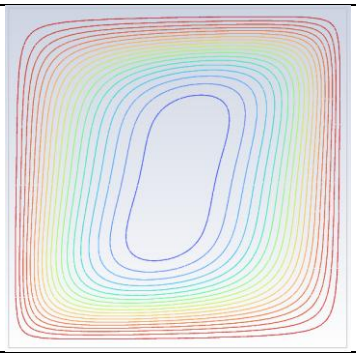
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Görsel 2'de, saf akışkan (su) ve ϕ=0.06 katkılı nanoakışkanın (su-$Al_2O_3$), beş farklı Ha sayısı için akım çizgileri $Ra = 10^5$ için verilmiştir. Görsel 2 incelendiğinde, tüm durumlarda akış alanının esas olarak tek baskın sirkülasyon hücresiyle karakterize edildiği, ancak Hartmann sayısı arttıkça bu dolaşımın zayıfladığı ve akım yapısının manyetik alan etkisiyle daha bastırılmış bir forma dönüştüğü görülmektedir. Nitekim $Ha = 0$ durumunda nanoakışkan için maksimum akım fonksiyonunun saf akışkana göre daha yüksek olduğu, buna karşılık manyetik alan uygulandığında ($Ha = 30$ ve $Ha = 60$) sirkülasyon şiddetinin azaldığı anlaşılmaktadır. $Ha$=0 durumunda merkezde oluşan dönel çekirdeğin yatayda uzarken, $Ha$ sayısı arttıkça yani $Ha$=60 durumunda merkezde oluşan dönel çekirdeğin dikey olarak konumlandığı gözlenmiştir. Ayrıca sabit Ha sayısında saf su ve nano parçacık katkılı iki durumun akım çizgilerinin birbirine çok benzer oluştuğu görülmektedir.

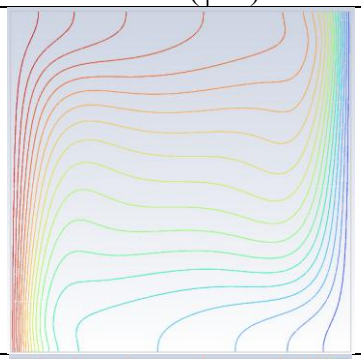
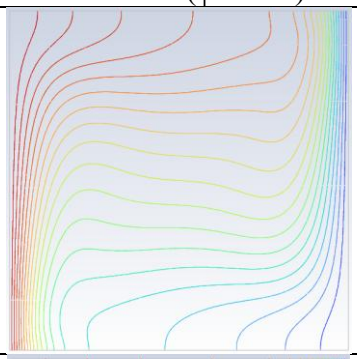
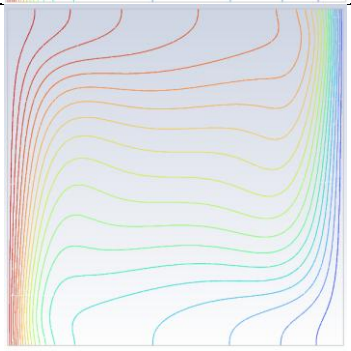
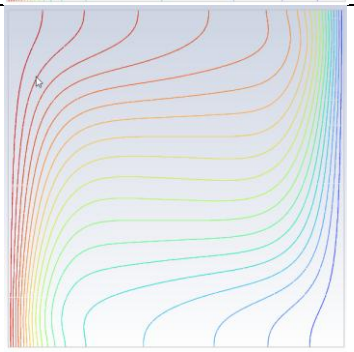
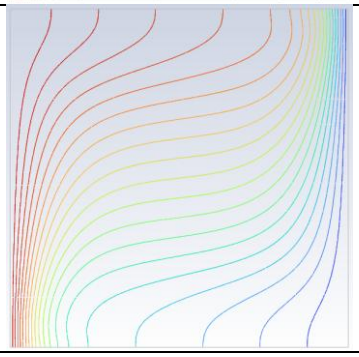
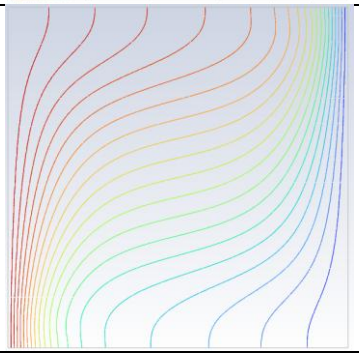
Görsel 3'de ise, saf akışkan ile ϕ=0.06 katkılı nanoakışkanın, beş farklı $Ha$ sayısı için eş sıcaklık dağılımları $Ra = 10^5$ için verilmiştir. İzotermler açısından bakıldığında, düşük manyetik alan koşullarında doğal taşınımın etkisiyle daha fazla eğrilmiş ve akış tarafından daha belirgin biçimde taşınan sıcaklık çizgileri gözlenirken, Hartmann sayısının artmasıyla izotermlerin daha düzenli ve düşey doğrultuya yakın bir yapıya dönüştüğü, yani taşınım etkisinin zayıflayıp iletim karakterinin baskın hale geldiği görülmektedir. Bu fiziksel eğilimler, referans çalışmada sunulan (Ghasemi vd., 2011) kontur yapılarıyla uyumlu biçimde elde

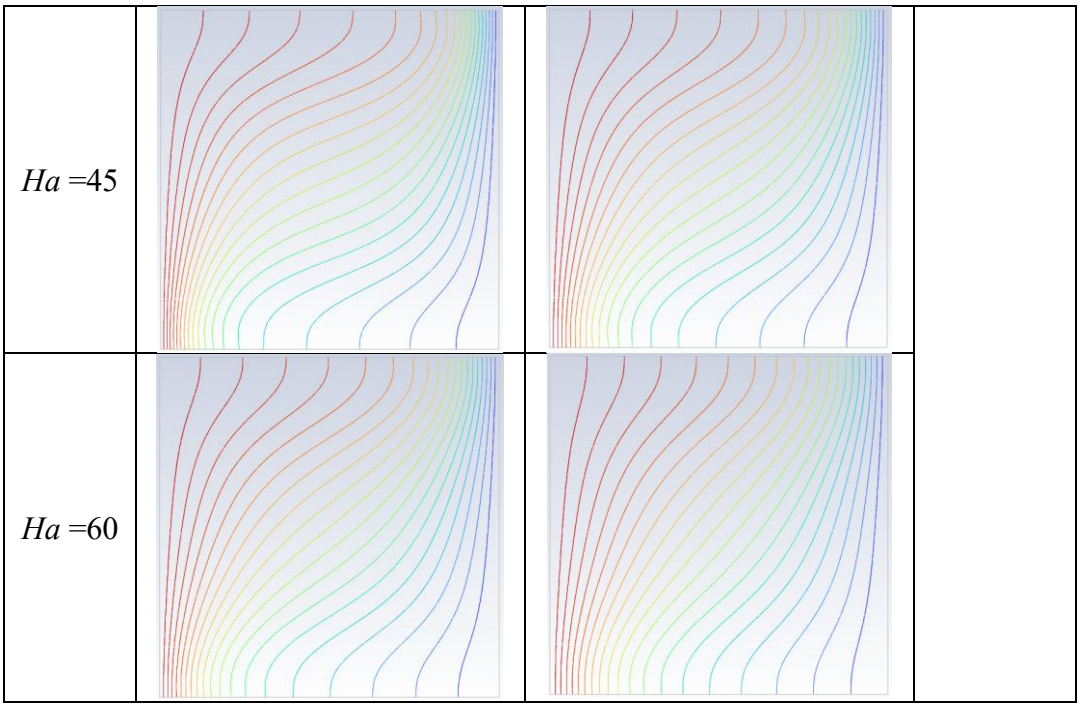
edilmiş; hem sıcaklık alanı hem de akım çizgileri açısından benzer dağılımlar gözlenmiş ve böylece modelin görsel doğrulaması da başarıyla sağlanmıştır.

| | Saf su ($\phi$=0) | Su- $Al_2O_3$ ($\phi$ =0.06) |
|---|---|---|
| *Ha*=0 |  |  |
| *Ha* =15 |  |  |
| *Ha* =30 |  |  |
| *Ha* =45 |  |  |

| | | |
|---|---|---|
| *Ha* =60 |  |  |

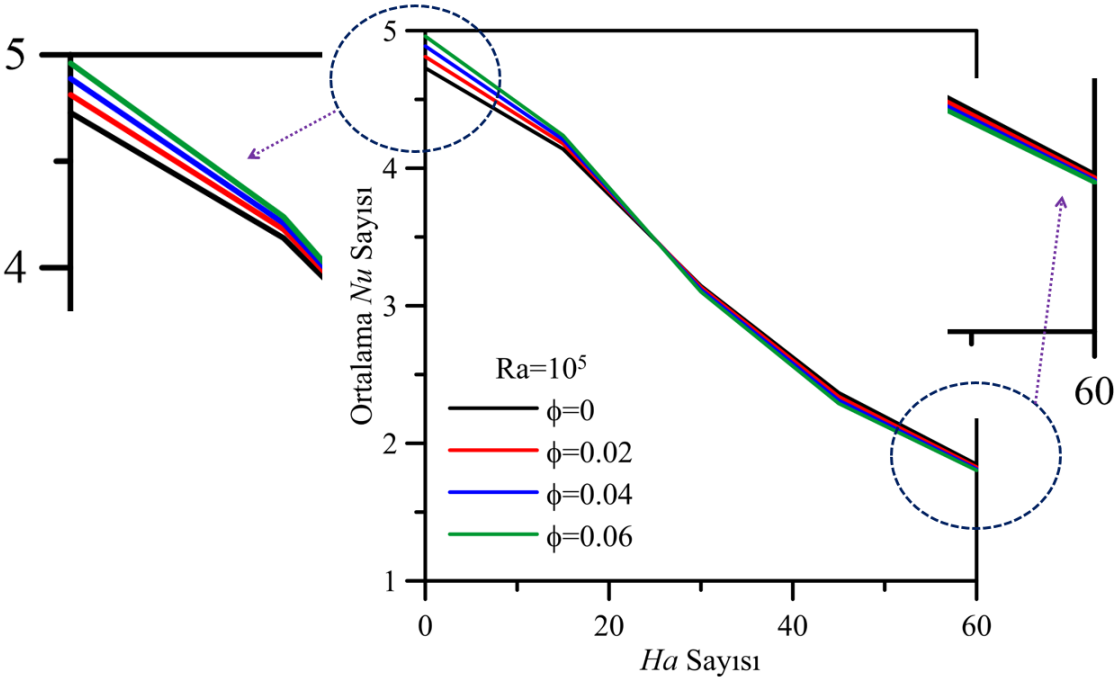
**Görsel 2:Saf su ve nanoakışkanlı (Su- $Al_2O_3$, $\phi$ =0.06) durumların *Ha* sayısına göre akım çizgileri (*Ra*=$10^5$).**

| | Saf su ($\phi$=0) | Su- $Al_2O_3$ ($\phi$ =0.06) |
|---|---|---|
| *Ha*=0 |  |  |
| *Ha* =15 |  |  |
| *Ha* =30 |  |  |




**Görsel 3. Saf su ve nanoakışkanlı (Su- $Al_2O_3$, $\phi$ =0.06) durumların *Ha* sayısına göre eş sıcaklık eğrileri. (*Ra*=$10^5$)**

Görsel 4'te, *Ra*=$10^5$ için nano parçacık hacim oranı ve *Ha* sayısının ortalama Nu sayısı üzerine etkisi verilmiştir. *Ha* sayısının ortalama Nu sayısı üzerine etkisi büyüktür. *Ha*=0 durumunun *Ha*=60'a göre ortalama Nu sayısı tüm nano parçacık hacim oranları için yaklaşık 2.5 kat daha fazladır. *Ha*=0 için nano parçacık hacim oranının ortalama Nu sayısı üzerine etkisi *Ha*=60'dakine göre daha fazladır. Örneğin *Ha*=60 için saf su ile 0.06 katkılı nano akışkanın ortalama Nu sayısı arası fark yaklaşık %5 iken, *Ha*=60'daki saf su ile 0.06 katkılı nano akışkanın ortalama Nu sayısı arası fark yaklaşık %2'dir.




**Görsel 4. *Ra*=10$^5$'te nanoparçacık katkı oranı ve *Ha* sayısı değişiminin ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi.**

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, literatürde kabul görmüş manyetik alan etkisi altında su-$Al_2O_3$ nanoakışkan ile doldurulmuş kare kapalı ortamdaki doğal taşınım ısı transferi çalışmasının (Ghasemi vd, 2011) sayısal doğrulaması yapılmıştır. Doğrulamada $Ra=10^5$ için, Hartmann sayısı ve nanoparçacık hacim oranı değişiminin akış yapısı, sıcaklık dağılımı ve ısı transfer performansı üzerindeki etkileri göz önüne alınmıştır.

- Hartmann sayısındaki artışın manyetik sönümleme etkisi nedeniyle akış şiddetini azalttığı, izotermleri daha düzenli ve düşey doğrultuya yakın hale getirdiği ve sonuç olarak ortalama Nusselt sayısında azalmaya yol açtığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, doğal taşınım temelli manyetohidrodinamik nanoakışkan problemlerinde ısı transfer performansının yalnızca nanoakışkan kullanımına değil, aynı zamanda manyetik alan şiddeti ve akış rejiminin doğru seçimine de güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

- Sabit *Ha* sayısı için saf su ve nanopartikül katkılı durumlarda elde edilen akım çizgileri ve sıcaklık dağılımların da benzer konturlar elde edilmektedir. *Ha*=0 için eş sıcaklık eğrileri daha fazla eğrilmiş iken, Hartmann sayısının artmasıyla izotermlerin daha düzenli ve düşey doğrultuya yakın bir yapıya dönüştüğü görülmektedir.

- Özetle bu çalışma, literatürde sıkça karşılaşılan manyetik alan etkisindeki nanoakışkanlı doğal taşınım problemlerinin çözümünü elde etmek ve doğrulamak amacıyla gerçekleştirilmiş olup, ileride yürütülmesi planlanan farklı geometriler, parametreler ve nanoakışkanlarla iki veya üç boyutlu sayısal analizler için başlangıç niteliğinde bir altlık sunmaktadır.

## KAYNAKÇA

**1.** Abbas, S. M., & Hussein, A. K. (2023). A Comprehensive Numerical Analysis of Natural Convection in Nanofluids within Various Enclosure Geometries: A Review [Review of A Comprehensive Numerical Analysis of Natural Convection in Nanofluids within Various Enclosure Geometries: A Review]. International Journal of Heat and Technology, 41(4), 977. International Information and Engineering Technology Association. https://doi.org/10.18280/ijht.410420

**2.** Atofarati, E. O., Sharifpur, M., & Huan, Z. (2024). Nanofluids for heat transfer enhancement: a holistic analysis of research advances, technological progress and regulations for health and safety. Cogent Engineering, 11(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2434623

**3.** Baiti, A., Salhi, H., & Chafai, N. (2023). Numerical investigation of turbulent natural convection in a round bottom flask using a hybrid nanofluid. Research Square (Research Square). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2893667/v1

**4.** Brahimi, M., Benderradji, R., Raouache, E., Chetbani, Y., & Chamkha, A. J. (2024). Numerical Study and Statistical Approach of the Impact of Nanofluids on Mixed Convection in a Ventilated Cavity. Research Square (Research Square). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4222199/v1

**5.** Khalili, R., Tavousi, E., Bahoosh, R., Noghrehabadi, A., & Taheripour, S. (2024). Lattice Boltzmann Method Simulation of Nanofluid Natural Convection Heat Transfer in a Square Cavity with Constant Heat Flux at Walls. Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Mechanical Engineering, 48(4), 1957. https://doi.org/10.1007/s40997-024-00750-5

**6.** Kongassery, A., Pillai, A. S., Enoch, I. V. M. V., Zhang, L., Solomon, A. B., Sharifpur, M., Meyer, J. P., & Tudu, D. (2023). Morphological Effects on Natural Convection Heat Transfer of Magnesium Ferrite Ferrofluid. Heat Transfer Engineering, 45(10), 892. https://doi.org/10.1080/01457632.2023.2227806

**7.** Rahman, M. A., Hasnain, S. M. M., Pandey, S., Tapalova, A., Akylbekov, N., & Zairov, R. (2024). Review on Nanofluids: Preparation, Properties, Stability, and Thermal Performance Augmentation in Heat Transfer Applications. ACS Omega, 9(30), 32328. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c03279

**8.** Abderrahmane, A., Younis, O., Mourad, A., Laidoudi, H., Oreijah, M., Guedri, K., & Tag, S. M. (2024). The baffle shape effects on natural convection flow and entropy generation in a nanofluid-filled permeable container with a magnetic field. Scientific Reports, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-53001-7

**9.** Elsaid, E. M., Ahmed, S. E., Morsy, Z., Alsemiry, R. D., & Eid, M. R. (2025). Influence of Variable Lorentz Force-Dependent Viscosity on Mixed Double Diffusion in Inclined Finned

Rectangular Containers: RSM Optimization and ANN Prediction. Journal of Nonlinear Mathematical Physics, 32(1). https://doi.org/10.1007/s44198-025-00312-6

**10.** Ghalambaz, M., Mozaffari, M., Yazdani, S., Abbaszadeh, M., Sheremet, M. A., Ghalambaz, M. (2023). Conjugate entropy generation and heat transfer of a dilute suspension of nano-encapsulated phase change material in a partially heated wall cavity. Reports in Mechanical Engineering, 1, 175. https://doi.org/10.31181/rme040115092023g

**11.** Hamida, M. B. B., Bhunia, A. K., Mandal, D. K., Manna, N. K., Biswas, N., & Alrasheedi, N. H. (2025). Effects of magnetic field orientation and buoyancy on heat transfer and entropy generation in a circular–trapezoidal magneto-nanofluidic system. The European Physical Journal Special Topics. https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-025-01877-5

**12.** Hattab, M. E., Boumhaout, M., & Oukach, S. (2023). MHD natural convection in a square enclosure using carbon nanotubewater nanofluid with two isothermal fins. DergiPark (Istanbul University). https://dergipark.org.tr/en/pub/sigma/issue/86513/1521719

**13.** Hussein, A. K., Togun, H., Rashid, F. L., Basem, A., Yaseen, Z.M., Al-Obaidi, M. A., Abdulrazzaq, T., Dhabab, J. M., Attia, M. E. H., Ali, B., & Rout, S. K. (2025). Mixed convection in trapezoidal enclosures containing mono and hybrid nanofluids: a comprehensive review [Review of Mixed convection in trapezoidal enclosures containing mono and hybrid nanofluids: a comprehensive review]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 47(4). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/s40430-025-05494-0

**14.** Mahmood, R., Khan, Y., Rahman, N. M., Majeed, A. H., Alameer, A., & Faraz, N. (2022). Numerical Computations of Entropy Generation and MHD Ferrofluid Filled in a Closed Wavy Configuration: Finite Element Based Study. Frontiers in Physics, 10. https://doi.org/10.3389/fphy.2022.916394

**15.** Rajesh, V., & Öztop, H. F. (2024). Conjugate free convection in a non-uniform heating walled enclosure filled by ternary hybrid nanofluid under magnetic field. Chinese Journal of Physics, 89, 210. https://doi.org/10.1016/j.cjph.2024.02.038

**16.** Sarker, S. P. K., & Alam, Md. M. (2025). Numerical Study of Heat Transfer in a Nanofluid-Filled Trapezoidal Enclosure with Star-Shaped Heat Sources under Magnetic Field. Open Journal of Fluid Dynamics, 15(3), 136. https://doi.org/10.4236/ojfd.2025.153009

**17.** Xuan Y., Roetzel W., Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer 43 (19) (2000) 3701-3707.

**18.** Brinkman H.C., The viscosity of concentrated suspensions and solution, The Journal of Chemical Physics 20 (1952) 571-581.

**19.** Maxwell J.C., A Treatise on Electricity and Magnetism, vol. II, Oxford University Press, Cambridge, UK, 1873, p. 54.

**20.** Ghasemi B., Aminossadati S.M., Raisi A., 2011, Magnetic field effect on natural convection in a nanofluid-filled square enclosure, International Journal of Thermal Sciences, 50 (9), 1748-1756.

# MANYETİK ALAN YÖNÜNÜN DOĞAL TAŞINIM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

**YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK**[1]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: 503720240032@ogrenci.ogu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-8582-8978

**Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK**[2]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: nihalu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-9442-8248

**Doç. Dr. Zerrin SERT**[3]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: zbocu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-6934-5443

## ÖZET

Bu çalışmada, kapalı bir kare kutu içerisinde su akışkanı için manyetohidrodinamik (MHD) etkiler altında doğal taşınım ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Analizler, ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, akış alanı iki boyutlu, laminer ve sürekli rejim varsayımları altında modellenmiştir. Çalışmada $Ra$=$10^5$ ve $Ha$=60 sabit tutulmuş, manyetik alanın farklı eğim açılarında uygulanmasının akış yapısı ve ısı transferi üzerindeki etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Manyetik alanın yönelimi, Lorentz kuvvetinin akış alanı üzerindeki bastırıcı etkisini doğrudan değiştirdiğinden, sıcaklık dağılımları, akım çizgisi yapıları ve ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Eğik doğrultuda uygulanan manyetik alanın, akış yapısındaki simetriyi bozarak boşluk içerisinde asimetrik girdapların oluşumuna yol açtığı tespit edilmiştir. Bu asimetrik akış karakteristiği, yerel ısı transferi dağılımlarında önemli farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, manyetik alanın yöneliminin, MHD etkili doğal taşınım sistemlerinde hem akış yapısını hem de ısıl performansı kontrol etmede belirleyici bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** MHD, doğal taşınım, CFD.

**Not:** Bu çalışma sorumlu yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

# NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD ORIENTATION ON NATURAL CONVECTION

**YL Öğrencisi Barış Kerem ŞEVİK**[1]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: 503720240032@ogrenci.ogu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-8582-8978

**Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK**[2]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: nihalu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-9442-8248

**Doç. Dr. Zerrin SERT**[3]
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
E-posta: zbocu@ogu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-6934-5443

## ABSTRACT

In this study, natural convection heat transfer under magnetohydrodynamic (MHD) effects for a water-filled closed square cavity was numerically investigated. The analyses were carried out using the ANSYS-Fluent commercial software package, and the flow field was modeled under two-dimensional, laminar, and steady-state assumptions. In the study, the Rayleigh number and Hartmann number were kept constant at $Ra = 10^5$and $Ha = 60$ respectively, while the effects of applying the magnetic field at different inclination angles on the flow structure and heat transfer characteristics were systematically examined. Since the orientation of the magnetic field directly alters the suppressive effect of the Lorentz force on the flow field, its influences on temperature distributions, streamline patterns, and the average Nusselt number were analyzed in detail. It was determined that the inclined magnetic field disrupted the symmetry of the flow structure, leading to the formation of asymmetric vortices within the cavity. This asymmetric flow behavior resulted in significant variations in local heat transfer distributions. Therefore, it is concluded that the orientation of the magnetic field is a critical parameter in controlling both the flow structure and thermal performance in MHD-driven natural convection systems.

**Keywords:** MHD, natural convection, CFD.

**Note:** This study was produced from the postgraduate thesis of the corresponding author.

## 1.GİRİŞ

Isı transferi, özellikle doğal taşınım mekanizması aracılığıyla gerçekleştiğinde; kapalı hacimler, elektronik bileşenlerin termal yönetimi, güneş enerjili ısıtma sistemleri ve yangın bastırma teknolojileri gibi birçok mühendislik uygulamasında kritik bir rol oynamaktadır. Doğal taşınım, akışkan içerisinde sıcaklık gradyanlarından kaynaklanan yoğunluk farklarının oluşturduğu kaldırma kuvvetleri etkisiyle ortaya çıkmakta olup, harici bir zorlayıcı etki gerektirmemesi nedeniyle enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, özellikle kapalı ortamlarda gerçekleşen doğal taşınımın akış ve ısı transfer karakteristiklerinin doğru bir şekilde modellenmesi ve analiz edilmesi, sistem performansının iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda, manyetohidrodinamik (MHD) etkilerin doğal taşınım üzerindeki rolü, hem temel bilimler hem de uygulamalı mühendislik alanlarında yoğun ilgi görmektedir. Elektriksel olarak iletken akışkanların manyetik alan etkisi altındaki davranışları; güneş enerjisi sistemleri, nükleer reaktörlerin soğutulması, elektronik cihazların termal kontrolü, gıda depolama teknolojileri, jeofizik akışlar ve mikroelektromekanik sistemler (MEMS) gibi geniş bir uygulama yelpazesinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Manyetik alanın varlığı, akış yapısını Lorentz kuvveti aracılığıyla baskılayarak veya yönlendirerek, taşınım şiddetini ve dolayısıyla ısı transfer performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, farklı manyetik alan şiddeti ve yönelimlerinin doğal taşınım üzerindeki etkilerinin incelenmesi, MHD tabanlı ısı transfer sistemlerinin optimize edilmesi açısından kritik bir araştırma konusudur.

Özellikle bu disiplinlerarası odak noktası, kaldırma kuvvetiyle yönlendirilen akışlar ile manyetik alanlar tarafından indüklenen Lorentz kuvvetleri arasındaki karmaşık etkileşimden kaynaklanmaktadır ve bu da ısı transfer mekanizmalarını derinden etkiler (Punia & Ray, 2024). Özellikle, manyetik alanların uygulanması, hız profillerini ve termal sınır katmanlarını önemli ölçüde değiştirebilir ve böylece elektriksel olarak iletken akışkanlarda ısı ve kütle transfer özelliklerini düzenleyebilir (Asjad vd., 2025). Muhammad vd. (2024), çalışmalarında manyetohidrodinamik güç jeneratörleri, metalurjik süreçler ve gelişmiş soğutma sistemleri de dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel uygulamalarda özellikle önemli olduğunu vurgulamışlardır. Dahası, manyetohidrodinamik etki göz önüne alınarak yapılan araştırmalar, manyetik akı dinamikleri ve manyetik alan üretimi konsantrasyonları gibi yönleri etkileyerek kimya mühendisliği ve meteoroloji gibi alanlara da uzanmaktadır (Siddique vd., 2023). Bu artan ilgi büyük ölçüde malzeme sentezi, biyomühendislik ve termal yönetim sistemleri gibi alanlardaki potansiyel uygulamalardan kaynaklanmaktadır (Jalili vd., 2023). Örneğin, manyetik alanın elektriksel olarak iletken akışkanlarda serbest konveksiyon akışını artırma yeteneği, MHD pompalarının bu tür akışkanların hareketini kolaylaştırdığı kimyasal enerji teknolojisini kullanan nükleer enerji tesislerinde kullanımına yol açmıştır (Ojemeri vd., 2023).

Manyetik alanların doğal taşınım ısı transferi üzerindeki etkisi özellikle incelenmiş olup, yapılan çalışmalar manyetik alanın sıvı metallerde ısı transferini önemli ölçüde etkileyebileceğini, ancak diğer akışkanlar üzerindeki etkisinin genellikle minimal olduğunu göstermiştir (Kandagal & Kempepatil, 2023). Bununla birlikte, son yıllarda yapılan sayısal araştırmalar, manyetik alanın özellikle hibrit nanoakışkanlarda Hartmann ve Rayleigh

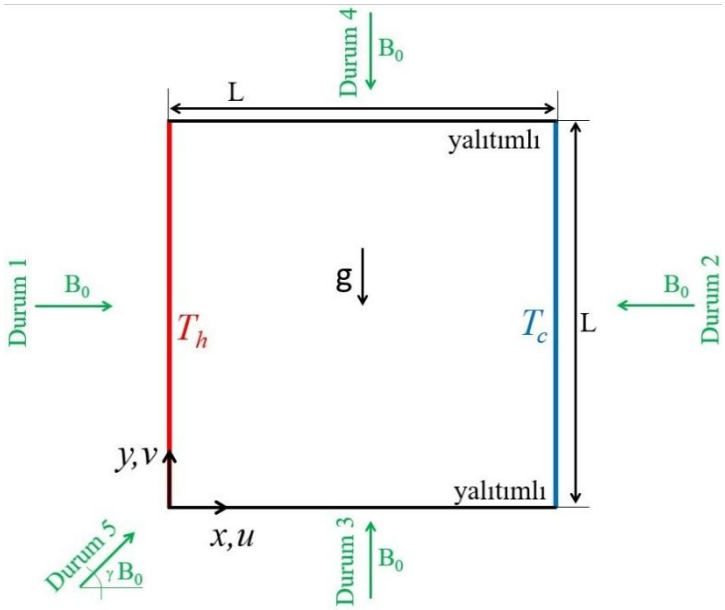
sayılarına bağlı olarak ısı transfer verimliliğini hem artırabileceğini hem de azaltabileceğini göstermiş ve geleneksel varsayımlara meydan okuyan karmaşık etkileşimler olduğunu öne sürmüştür (Benshab vd., 2024). Elektrik iletken akışkanları kontrol etmek ve özellikle sıvı metal soğutmasında ısı transfer süreçlerini iyileştirmek için manyetik alanların kasıtlı kullanımı, gelişmiş termal yönetim sistemlerinde manyetohidrodinamiğin faydasını desteklemektedir (El-Sayed vd., 2024).

Bu çalışmada, su ile doldurulmuş kapalı bir kare boşluk içerisinde manyetohidrodinamik (MHD) etkiler altında doğal taşınım ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Analizlerde, Rayleigh sayısı ($10^5$) ve Hartmann sayısı (60) sabit tutularak, manyetik alanın farklı açılarda uygulanmasının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, manyetik alan yönündeki değişimin sıcaklık dağılımları, akım çizgisi yapıları ve ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, manyetik alanın eğim açısının Lorentz kuvvetinin yönsel bileşenlerini değiştirerek akış yapısını önemli ölçüde modifiye ettiğini ve buna bağlı olarak ısı transfer performansında belirgin farklılıklara yol açtığını göstermektedir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL VE SAYISAL ANALİZ

Bilindiği üzere taşınım yoluyla ısı transferi genel olarak zorlanmış ve doğal taşınım olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Zorlanmış taşınımda akış, fan veya pompa gibi harici etkilerle sağlanırken; doğal taşınım tamamen kaldırma kuvvetlerine bağlı olarak kendiliğinden oluşmaktadır. Doğal taşınım sistemlerinin yaygın kullanımının temel nedenleri arasında, geometrik olarak daha basit yapılar sunmaları, hareketli parça içermemeleri ve buna bağlı olarak daha düşük kurulum ve işletme maliyetlerine sahip olmaları yer almaktadır. Bu tür akışlar çoğunlukla kapalı hacimler içerisinde, diferansiyel ısıtma-soğutma sınır şartları altında incelenmekte olup, akış ve ısı transferi davranışı büyük ölçüde Rayleigh, Prandtl ve Hartmann sayıları gibi boyutsuz parametrelere bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada, farklı yönlerde uygulanan (Durum 1-5) MHD etkilerinin dikkate alındığı, saf su ile doldurulmuş iki boyutlu kapalı kare bir alan içerisinde gerçekleşen doğal taşınım akışı $Ra=10^5$ ve $Ha=60$ için incelenmiştir. Çalışmada kullanılan geometri ve sınır koşulları Şekil 1'de şematik olarak sunulmuştur. Durum 5 için uygulanan manyetik alan yatay eksenle $\gamma= 45^o$ açı yapmaktadır.




**Görsel 1. Ele alınan geometri ve sınır koşulları.**

Akışın sürekli rejimde, sıkıştırılamaz, Newtonian ve doğal taşınım tarafından sürüklendiği kabul edilmiştir. İncelenen kare kapalı hacmin boyutu L olarak alınmıştır. Sağ duvar soğuk ($T_c$), sol duvar sıcak ($T_h$) olup, diğer tüm yüzeylerin adyabatik olduğu varsayılmıştır. Yerçekimi ivmesi y-eksenine ters yönde tanımlanmıştır. Suyun termofiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Suyun termofiziksel özellikleri.**

| $\rho$ | $c_p$ | $k$ | $\beta$ | σ |
|---|---|---|---|---|
| ($kg/m^3$) | (J/kg.K) | (W/mK) | ($K^{-1}$) | (S/m) |
| 997.1 | 4179 | 0.613 | $21\times10^{-5}$ | 0.05 |

Bu çalışmada kullanılan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini içeren genel korunum denklemleri, Faiaz vd. (2025)'nin çalışmasından alınmıştır. Söz konusu denklemlerin matematiksel türetilmesi, boyutsuzlaştırma süreci ve çözüm metodolojisine ilişkin ayrıntılı açıklamalar ilgili çalışmada kapsamlı biçimde sunulmuştur.

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri, ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı olan Ansys-Fluent® kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Çözüm sürecinde, taşınım terimlerinin ayrıklaştırılması için ikinci mertebe doğruluk sağlayan "Second Order Upwind" şeması tercih edilmiştir. Bu şema, özellikle konvektif baskın akış problemlerinde sayısal difüzyonu azaltarak daha kararlı ve yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmesine imkan tanımaktadır. Basınç-hız bağlaşımının sağlanması amacıyla ise SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, basınç ve hız alanları arasındaki etkileşimi iteratif olarak çözerek kütlenin korunumu şartını sağlamakta ve

kararlı bir çözüm süreci sunmaktadır. Kullanılan bu sayısal yaklaşım, doğal taşınım ve MHD etkilerinin birlikte ele alındığı problemlerde yaygın olarak tercih edilen güvenilir bir yöntem olup, elde edilen sonuçların doğruluğunu ve sayısal kararlılığını desteklemektedir.

Çizelge 2'de, su dolu kare içindeki doğal taşınımda *Ha*=0 (manyetik alan etkisiz), *Ha*= 60 (Durum 1) ve $Ra=10^5$ için elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerleri literatürle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar arasındaki sapmaların oldukça düşük seviyede olması, kullanılan yönteminin doğruluğunu ve sayısal çözüm güvenilirliğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

**Çizelge 2. $Ra=10^5$ için elde edilen ortalama Nusselt sayısı.**

| Ha | Ghasemi vd. (2011) | Bu çalışma | Bağıl hata % |
|---|---|---|---|
| 0 | 4.7380 | 4.7284 | 0.20 |
| 60 | 1.8510 | 1.8476 | 0.18 |

%1'in oldukça altında elde edilen bağıl hata, uygulanan sayısal modelin, sınır şartlarının ve çözüm stratejisinin literatürle tutarlı olduğunu göstermekte olup, model doğrulaması açısından önemli bir göstergedir. Dolayısıyla, kullanılan sayısal modelin, MHD etkili doğal taşınım problemlerinin çözümünde etkin ve güvenilir bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

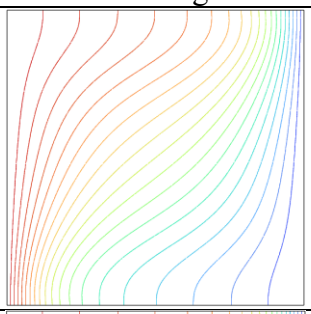
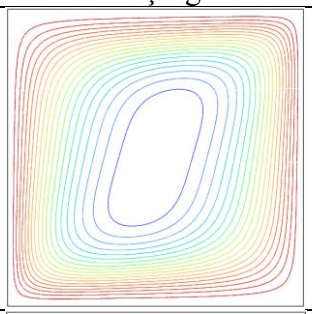
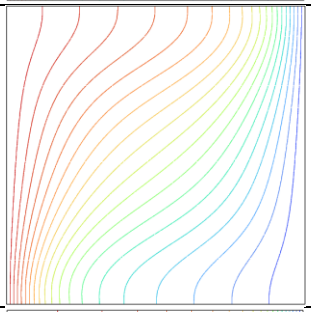
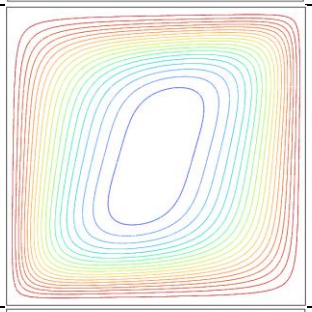
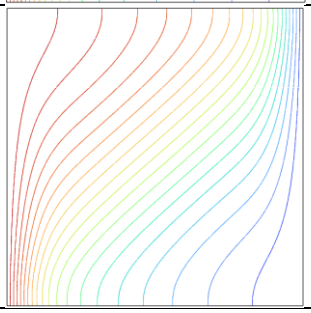
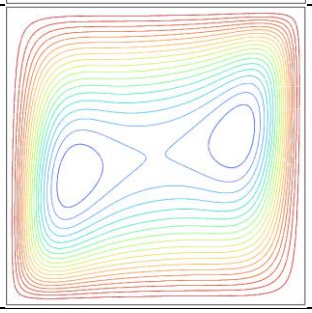
Bu bölümde, sayısal bulgular ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Çalışma kapsamında, iki boyutlu kare kapalı bir alan içerisinde gerçekleşen doğal taşınım problemi ele alınmış olup, tüm durumlar için termal sınır şartları sabit tutulurken, manyetik alan kaynaklı Lorentz (Bo) kuvvetinin farklı yönlerde uygulanmasının akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çerçevede, manyetohidrodinamik (MHD) doğal taşınım davranışının karakterizasyonu amacıyla akış yapısı akım fonksiyonu konturları (stream function) ile değerlendirilmiş, sıcaklık alanı izoterm dağılımları üzerinden analiz edilmiş ve ısı transfer performansı ortalama Nusselt sayısı yardımıyla nicel olarak ortaya konulmuştur. Bu analizler sayesinde, manyetik alan yöneliminin akış yapısı ve termal taşınım mekanizmaları üzerindeki belirleyici rolü sistematik olarak değerlendirilmiştir.

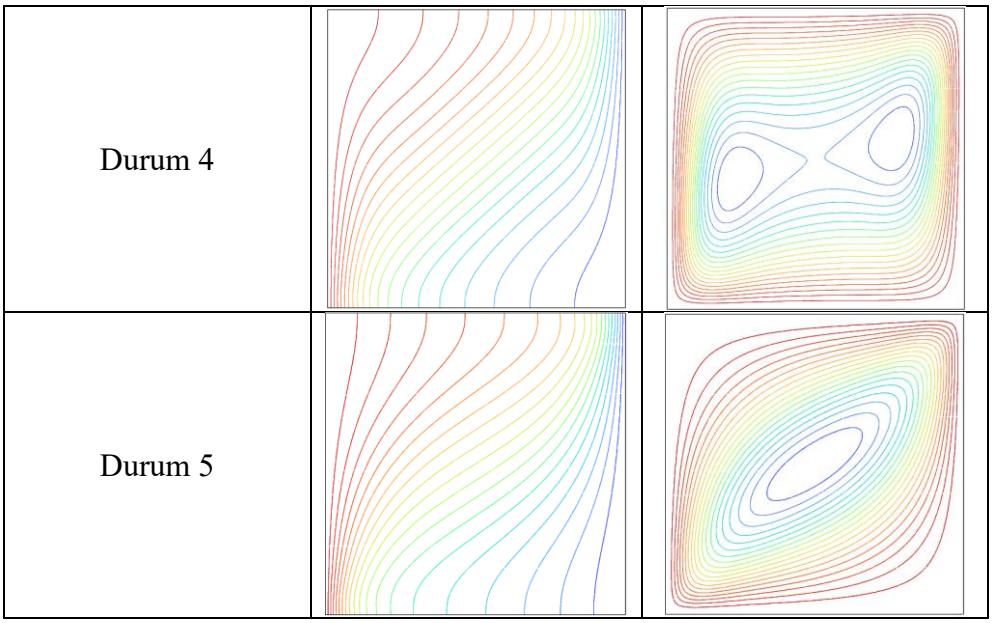
MHD (manyetohidrodinamik) etkili doğal taşınım problemlerinde "Bo sayısı" ifadesi çoğu çalışmada aslında manyetik etki parametresi olarak kullanılan Hartmann sayısı (Ha) ilişkili bir büyüklüğü temsil eder ve $Ha = Bo\ L\sqrt{\sigma_f/\mu_f}$ ile formüle edilir. Buradaki kritik nokta, manyetik alanın yalnızca şiddetinin değil, yönünün (açısının) da akış ve ısı transferi üzerinde belirleyici olmasıdır. Çalışmada $Ra=10^5$ ve *Ha*=60 sabit alınarak manyetik alanın 5 farklı

uygulama yönü için sıcaklık (solda) ve akım çizgilerinin (sağda) dağılımı Görsel 2'de verilmiştir.

Görsel 2'den elde edilen sıcaklık dağılımı sonuçlarına göre, manyetik alanın dik olduğu durumlarda yani Durum 1 ve Durum 2 için izotermlerin daha paralel hale geldiği gözlenmektedir. Durum 3 ve Durum 4 yani manyetik alanın yatay olduğu durumda izotermlerin sıcak ve soğuk yüzeylerde daha yatay olduğu görülmektedir. Buna göre izotermlerin, Bo'ın uygulama yönü değişimlerinden etkilendiği söylenebilir.

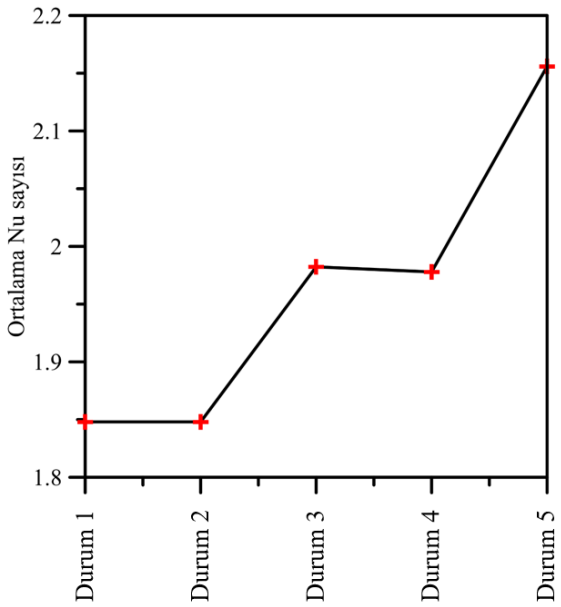
Elde edilen akım çizgilerine bakıldığında Durum 1 Durum 2'yle, Durum 3 Durum 4'le simetrik uygulandıkları için benzer özellik gösterir. Durum 1 ve Durum 2'deki merkezde oluşan tek çekirdekli akım dikey konumda oluşur. Yatayda manyetik etkiyen kuvvet ile Durum 3 ve Durum 4'teki merkezdeki akım döngüsü yatayda çift merkezli olarak meydana gelmiştir. Bo kuvvetinin yatayla $\gamma$=45° açıyla etki ettiğinde (Durum 5) ise merkezde oluşan tek döngü de 45° açıyla uzanarak oluşmaktadır. Ayrıca bu durumda oluşan merkezdeki çekirdek elips şeklinde oluşmuştur.

| Bo uygulama yönü | Sıcaklık Dağılımı | Akım Çizgileri |
|---|---|---|
| Durum 1 |  |  |
| Durum 2 |  |  |
| Durum 3 |  |  |




**Görsel 2. Bo uygulama yönüne göre elde edilen eş sıcaklık ve akım eğrileri. ($Ra$=$10^5$, $Ha$=60).**

Bo manyetik alan uygulama yönünün ortalama Nu sayısı üzerine etkisi Görsel 3'te verilmiştir. Farklı eksenlerde uygulanan manyetik alanın (Lorentz kuvveti) akış yapısını farklı biçimlerde yönlendirmesiyle ortalama Nusselt sayısı belirgin şekilde değişirken birbirine simetrik uygulanan yönlerdeki durumlarda (Durum 1-2 ve Durum 3-4) Nu sayıları birbirine yakın çıkmıştır. İncelenen durumlar içinde maksimum ortalama Nu sayısı Durum 5'te elde edilmiştir. Durum 5'in; Durum 1 ve 2' ye göre yaklaşık %17, Durum 3 ve 4 e göre ise %10 ısıl iyileşme sağladığı görülmüştür.




**Görsel 3. İncelenen Durumlar için ortalama Nu sayısı ($Ra$=$10^5$, $Ha$=60).**

Sonuç olarak; manyetik alan yönü, MHD doğal taşınım problemlerinde sadece akış şiddetini değil, aynı zamanda akış topolojisini da değiştirdiği için ortalama Nusselt sayısı üzerinde kritik bir parametredir. En güçlü bastırma yerçekimine dik doğrultuda uygulanan manyetik alan durumunda görülürken, diğer yönlerde ısı transferi görece daha az baskılanır.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, su ile dolu ve manyetik alandan etkilenen kapalı kare bir alanda doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada Rayleigh sayısı ve Hartmann sayısı sabit iken, Bo manyetik alan yönü değişken olarak ele alınmıştır. Bu parametrenin akış ve sıcaklık alanları ile ısı transfer hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan sayısal analizle aşağıdaki yargılara varılmıştır:

- ✓ Durum 1 ve Durum 2'de merkezde dikey konumda tek çekirdekli akım hücreleri görülmüştür.
- ✓ Durum 3 ve Durum 4'te yatay konumda çift merkezli akım girdapları oluşmuştur.
- ✓ Durum 5'te ($\gamma$=45$^{o}$) açılı manyetik alan uygulamasında boşluk merkezinde manyetik alan yönünde eliptik girdap oluşumları görülmüştür.
- ✓ Durum 5'in; Durum 1 ve 2' ye göre yaklaşık %17, Durum 3 ve 4' e göre ise %10 ısıl iyileşme sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, manyetik alan yönünün MHD doğal taşınım sistemlerinde akış ve ısı transferi performansını kontrol etmek için etkili bir parametre olduğu ortaya konmuştur.

## KAYNAKÇA

**1.** Asjad M. I., Saeed S. T., Younis J., Kebaïli I., Boukhris I., & Mir A. (2025). ANN-based thermal analysis of 3D MHD hybrid nanofluid flow over a shrinking sheet via LMA. Scientific Reports, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-18363-6

**2.** Benshab M., Feddaoui M., Dayf A., Bouchta J., Alla A. N., & Bouchta S. (2024). Numerical Study of the Free Convection of a Hybrid Nano-Fluid Filling a Three-Dimensional Cavity Exposed to a Horizontal Magnetic Field. Frontiers in Heat and Mass Transfer, 22(6), 1865. https://doi.org/10.32604/fhmt.2024.056551

**3.** El-Sayed E. A., Alwawi F. A., Aljuaydi F., Swalmeh M. Z. (2024). Computational insights into shape effects and heat transport enhancement in MHD-free convection of polar ternary hybrid nanofluid around a radiant sphere. Scientific Reports, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-47853-8

**4.** Ghasemi B., Aminossadati S.M., Raisi A.. (2011). Magnetic field effect on natural convection in a nanofluid-filled square enclosure, International Journal of Thermal Sciences, 50 (9), 1748-1756. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.04.010.

**5.** Jalili B., Shateri A., Akgül A., Bariq A., Asadi Z., Jalili P., & Ganji D. D. (2023). An investigation into a semi-porous channel's forced convection of nano fluid in the presence of a magnetic field as a result of heat radiation. Scientific Reports, 13(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-44275-4

**6.** Kandagal M., & Kempepatil R. (2023). Heat generation and assimilation-MHD model for convective flow of two immiscible fluids in a vertical channel. Research Square (Research Square). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3618218/v1

**7.** Faiaz M., Yaka M. F., Hossen M. A., Islam S., Neogi B., Yeasmin S., Jewel Rana B.M., Mamun Molla Md. (2025) Heat transfer analysis of an MHD natural convective partially-heated prismatic enclosure with Al2O3H2O nanofluid: ANN and RSM approaches, Thermal Advances, 5, 100083. https://doi.org/10.1016/j.thradv.2025.100083.

**8.** Muhammad M. Y., Lawan M. A., & Gambo Y. Y. (2024). Heat absorption effect of magneto-natural convection flow in vertical concentric annuli with influence of radial and induced magnetic field. Scientific Reports, 14(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-64779-x

**9.** Ojemeri O., Omokhuale E., Hamza M. K., Onwubuya I., & Shuaibu A. (2023). A Computational Analysis on Steady MHD Casson Fluid Flow Across A Vertical Porous Channel Affected By Thermal Radiation Effect. International Journal of Science for Global Sustainability, 9(1), 13. https://doi.org/10.57233/ijsgs.v9i1.393

**10.** Punia A., & Ray R. K. (2024). Effect of Uniform and Non-uniform wall heating on Three-Dimensional Magneto-Hydrodynamics Natural Convection and Entropy Generation: A computational study using New Higher Order Super Compact Scheme. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2408.01853

**11.** Siddique I., Adrees R., Ahmad H., & Askar S. (2023). MHD Free convection flows of Jeffrey fluid with Prabhakar-like fractional model subject to generalized thermal transport. Scientific Reports, 13(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-36436-2

# SERVO KONTROLLÜ FİLM BESLEME–YERLEŞTİRME MEKANİZMASININ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

**Yüksek Lisans Öğrencisi Rahmi KARAKAŞ**

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

rahmikarakas@hotmail.com - ORCID ID: 0009-0002-1072-1285

## ÖZET

Bu çalışmada, HDPE film malzemesinin rulodan kontrollü olarak çözülmesi, belirli boyda kesilmesi ve ana üretim hattında doğru konumda yerleştirilmesi amacıyla servo kontrollü bir film besleme-yerleştirme mekanizması tasarlanmış ve mühendislik hesaplarıyla değerlendirilmiştir. Sistem; bobin çözme ünitesi, kılavuz merdaneler, dansör mekanizması, çekici-baskı merdane çifti, giyotin kesim ünitesi ve gripper tabanlı alma-taşıma mekanizmasından oluşturulmuştur. Besleme hattında film taşıma için gerekli normal kuvvet, üstten ayarlı mekanik cıvata ile manuel olarak uygulanmıştır. Kinematik analiz sonuçları, sistemin hedeflenen film besleme ve çevrim gereksinimlerini karşılayabildiğini göstermiştir. Dinamik ve kuvvet analizleri, sistemin kayma oluşturmadan kararlı ve tekrarlanabilir biçimde çalışabileceğini göstermiştir. Bobin çapındaki değişimin süreç boyunca hız ayarı gerektirdiği belirlenmiş ve dansör mekanizmasının gerginlik dengesine etkin katkı sağladığı görülmüştür. Sonuçlar, önerilen mekanizmanın endüstriyel ambalaj hatlarında güvenilir ve uygulanabilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: film besleme mekanizması, servo kontrol, dansör sistemi, giyotin kesim, ambalaj otomasyonu

# IOT BASED VIBRATION MONITORING AND ANOMALY DETECTION SYSTEM

**ZÜBEYDE ELİF ARAL**
Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dep. of Mechanical Engineering, zubeydeelifaral@hotmail.com - 0009-0001-9975-7091

**M.Sc. Mechanical Engineer MERVE CANATA ŞEN**
Vansan Mak.San. ve Tic. A.Ş, mervecanata17@gmail.com@-0000-0002-8731-2108

**Prof.Dr. ÖZGE CİHANBEĞENDİ**
Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Dep. of Electrical and Electronics Eng., ozge.sahin@deu.edu.tr- 0000-0001-7839-2954

## ABSTRACT

The rapid growth of the Internet of Things (IoT) has enabled smart devices equipped with embedded sensors and communication capabilities to continuously monitor industrial processes. In industrial environments, unexpected machine failures can lead to production losses, increased maintenance costs, and safety risks. Therefore, early fault detection and predictive maintenance have become critical requirements for ensuring reliable system operation.

Vibration analysis is widely recognized as an effective method for monitoring the condition of rotating machinery. Mechanical faults such as imbalance, misalignment, and bearing degradation, and related defects often result in abnormal vibration patterns.

In this study, a preliminary IoT-based vibration monitoring and anomaly detection framework for potential application in vertical shaft water pumps is presented. To evaluate the system, a small-scale laboratory prototype was developed. The acquired measurements were analyzed using the Isolation Forest algorithm, an unsupervised machine learning technique for anomaly detection. The algorithm was selected due to its low computational complexity, ease of implementation, and effectiveness in scenarios where limited labeled data are available.

Due to the limited amount of vibration data that can be collected from the laboratory-scale prototype, the publicly available PredictiveMaintenance_Vibration_WaterPump_2025-v1.0 dataset developed by Airnazar was utilized for anomaly detection model development and validation. The dataset contains three-axis vibration measurements collected from an industrial water pump under various operating conditions. The evaluation results demonstrate that the proposed approach can successfully identify abnormal vibration behavior, highlighting the potential of combining low-cost IoT hardware with machine learning techniques for predictive maintenance applications.

**Keywords :** Anomaly Detection, Vibration Monitoring, IIoT

## 1.INTRODUCTION

Recent advancements of the Internet of Things (IoT) has enabled the development of intelligent systems capable of collecting, transmitting, and processing large amounts of data. According to the International Telecommunication Union (ITU), the Internet of Things is defined as "a global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies [1].

This concept has also been adopted in industrial applications in the form of the Industrial Internet of Things (IIoT). IIoT has provided a promising opportunity to build powerful industrial systems and applications by leveraging the growing ubiquity of radio-frequency identification (RFID), wireless, mobile, and sensor devices. A wide range of industrial IoT applications have been developed and deployed in recent years [2].

Thanks to the AI evolution, these connected devices can now make better decisions by using various ML algorithms, deep neural networks, etc. So implementing IIoT systems is very important. It brings a lot of benefits; not only reducing costs and saving time, but also minimizing human errors, improving workplace safety, and enabling predictive maintenance to prevent unexpected machinery failures.

In this context, rotating machinery takes a huge part in the industry. To give an example, literature shows that water supply pumps typically account for 80–85% of a plant's total energy usage [6], so predictive maintenance or failure prevention is very important for the system. For this reason, such a system is intended to be implemented in a vertical shaft pump. This research presents the first prototype of an IoT-based vibration monitoring and anomaly detection framework for potential application in vertical shaft water pumps, allowing us to better understand the system before deploying it in a real-world environment.

For prototype development, a 1000 RPM geared micro DC motor, an L298N motor driver, an OLED display, and an MPU6050 vibration sensor interfaced with an ESP32 microcontroller were selected. Vibration measurements served as the basis for anomaly detection, and machine learning-based analysis was performed using the Isolation Forest algorithm. The reasons behind the selection of the hardware components and the algorithm are discussed in subsequent sections.

## 2. METHODS

A systematic methodology was adopted to develop the proposed anomaly detection system. The following subsections present the causes of pump faults and the rationale for vibration monitoring, followed by the dataset and machine learning algorithm selection, system architecture, signal processing procedures, and the overall system workflow implemented in this study.

### 2.1 Pump Fault Causes and the Selection of Vibration Monitoring

Industrial water pumps can fail or lose operational efficiency due to a wide variety of interconnected mechanical dynamics. According to the ANSI/HI 9.6.4-2009 American National Standard for Rotodynamic Pumps for Vibration Measurements and Allowable Values **[3]**, high pump vibration levels are directly tied to specific mechanical and structural root causes. These critical defects can be categorized based on standard diagnostics:

**Imbalance and Mechanical Resonance:** Common causes include impeller imbalance, motor imbalance, component clogging, and weak foundation and piping supports.

**Alignment and Structural Issues:** Caused by coupling misalignment, a bent shaft, or structural foundation bolt looseness.

**Component Wear:** Resulting from degrading antifriction bearings or failing mechanical seals.

Evaluating, tracking, and diagnosing each of these failure modes separately is highly complex and requires multiple specialized measurement systems. However, vibration monitoring is chosen as our primary metric because almost all of these physical defects immediately distort the pump's normal structural dynamics and directly manifest as unique, high-intensity vibration signatures (such as specific rotational frequency peaks like 1 x RPM or N x RPM) as defined in the ANSI/HI guidelines [3].

### 2.2. Dataset Selection and Description

This study the focused on the development of a monitoring system for vertical shaft pumps. Since the Isolation Forest algorithm requires a large amount of data representing normal operating conditions, a high-quality public dataset was used to establish a reliable baseline. Therefore, the "PredictiveMaintenance_Vibration_WaterPump_2025-v1.0" dataset hosted on GitHub [4] was used to train and validate the machine learning model before hardware implementation.

This dataset contains raw vibration data collected from an actual industrial water pump under controlled but highly realistic operational conditions. The setup used an Adafruit ADXL345 accelerometer coupled with an ESP32-S3 microcontroller logging data at a sampling rate of 100 Hz (100 samples per second). Instead of utilizing artificial numerical simulations, real physical anomalies were generated by attaching screws of different sizes and weights onto the rotating shaft of the motor. These screws introduced precise rotational imbalances, enabling a systematic assessment of anomaly detection algorithms under realistic conditions without causing actual mechanical failure.

The structural configuration of the dataset used in this research is detailed below:

**Data Format:** The data is organized into 1-second segments (chunks), where each CSV file contains 100 samples with no headers. Each file consists of four columns: Timestamp (recorded at 0.01-second intervals), X-axis acceleration, Y-axis acceleration, and Z-axis acceleration. All vibration metrics are measured in gravitational acceleration (g).

**Selected Operational Categories:** While the original dataset outlines five distinct operational scenarios this research specifically utilizes three key categories to train and test the model:

**Normal_data:** The motor operating under standard operational conditions.

**Abnormal_data_medium**: The motor operating with medium-sized screws attached, resulting in medium-intensity physical vibrations.

**Abnormal_data_high**: The motor operating with large screws attached, generating high-intensity vibrations.

### 2.3. Selection of the Machine Learning Algorithm

Nowadays, machine learning (ML), artificial intelligence (AI), and deep neural network algorithms have become powerful tools for improving decision-making processes and predicting system behaviors. A review of anomaly detection systems for pump fault diagnosis reveals that various traditional machine learning classifiers and deep learning architectures are widely employed in the literature.

Modern predictive maintenance frameworks frequently utilize deep learning-based models for anomaly detection and fault diagnosis. For instance, the study in [5] applied architectures such as Autoencoders (AE), Variational Autoencoders (VAE), and Long Short-Term Memory (LSTM) networks to capture complex temporal patterns in machine data. In another approach, the study presented in [6] employed Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), an unsupervised clustering method used to detect abnormal operating conditions without requiring labeled data.

Since not all sensor-derived features contribute equally to fault classification, using the full feature set may introduce redundancy and increase computational complexity. As shown in [7], twelve statistical time-domain features were first extracted from vibration signals, and feature selection was then performed using a J48 decision tree to identify the nine most relevant features. Several classifiers, including J48, Logistic Model Tree (LMT), Random Tree, Naïve Bayes Tree, and Random Forest (RF), were evaluated, with Random Forest achieving the highest accuracy of 92%.

In a different approach, the study in [8] transformed vibration signals into images and extracted morphological features in the spatial domain. Both classical feature descriptors such as Hu’s Moments, GLCM, and LBP, and deep CNN-based architectures including DenseNet169, ResNet50, VGG19, and MobileNet were used for feature extraction. These features were then classified using k-NN, Random Forest (RF), SVM, MLP, and GNB, achieving accuracies above 99%, with k-NN performing best when combined with Hu’s Moments.

Similarly, in [9], a sliding window technique was applied to segment vibration signals, and nine statistical time-domain features were extracted and normalized to the range of −1 to 1 before training. Various classifiers such as Gaussian Naïve Bayes (GNB), k-Nearest Neighbors (k-NN), Recurrent Neural Networks (RNN), and Support Vector Machines (SVM) were evaluated, achieving up to 99.92% accuracy for general motor faults and 100% accuracy for gear fault detection.

Despite these advances, conventional industrial monitoring systems still commonly rely on threshold-based classification methods to assess machine health. These approaches typically use physical indicators such as Root Mean Square (RMS) velocity (v_rms), where operating conditions are classified as Normal (<1.8 mm/s), Bearing Contamination (1.8–2.6 mm/s), Mass Unbalance (2.6–6.9 mm/s), and Shaft Misalignment (>7.0 mm/s) [10]. Although these methods are simple and computationally efficient, they depend heavily on predefined thresholds and domain expertise, which may limit their adaptability to complex operating conditions.

As observed in the literature, various approaches have been proposed for anomaly detection in machine learning-based predictive maintenance systems. In general, machine learning algorithms can be categorized into two main types: supervised and unsupervised learning methods. Supervised learning approaches require labeled datasets, including both normal and faulty operating conditions, to effectively train the model.

However, in the context of vertical turbine pump systems, obtaining fault-related data is highly challenging. Generating such datasets typically requires the intentional induction of mechanical faults (e.g., bearing damage, imbalance, or misalignment), which is both costly and impractical in real industrial environments. Therefore, the applicability of supervised learning methods is limited in this domain.

For this reason, unsupervised learning and deep learning-based anomaly detection techniques are considered more suitable alternatives, as they do not rely on labeled fault data. Since this study focuses on an initial prototype development, the main objective is to design a fast, lightweight, and computationally efficient solution capable of providing reliable preliminary results.

In this context, Isolation Forest was selected for anomaly detection. Although several anomaly detection methods have been proposed in the literature, Isolation Forest has been widely recognized as an effective approach, particularly for large-scale and high-dimensional datasets. The algorithm isolates anomalies by recursively partitioning the feature space using randomly selected features and split values. As a result, anomalous observations tend to require fewer partitions to be isolated compared to normal data points, making the method both efficient and scalable.

Therefore, due to its simplicity, low computational cost, and suitability for unsupervised anomaly detection tasks, Isolation Forest was adopted as the primary algorithm in this study.

## 2.4. System Architecture and Experimental Setup

### 2.4.1. Hardware Configuration

The experimental prototype setup of the proposed IoT-based anomaly detection system is illustrated in Figure 1. The system consists of an ESP32 microcontroller, an MPU6050 accelerometer, an OLED display, an L298N motor driver, and a DC motor powered by a 7 V

DC supply. The MPU6050 sensor continuously acquires vibration signals and transmits them to the ESP32 for processing. The OLED display provides real-time information regarding the operating status of the system, while the L298N motor driver enables the ESP32 to control the motor operation.

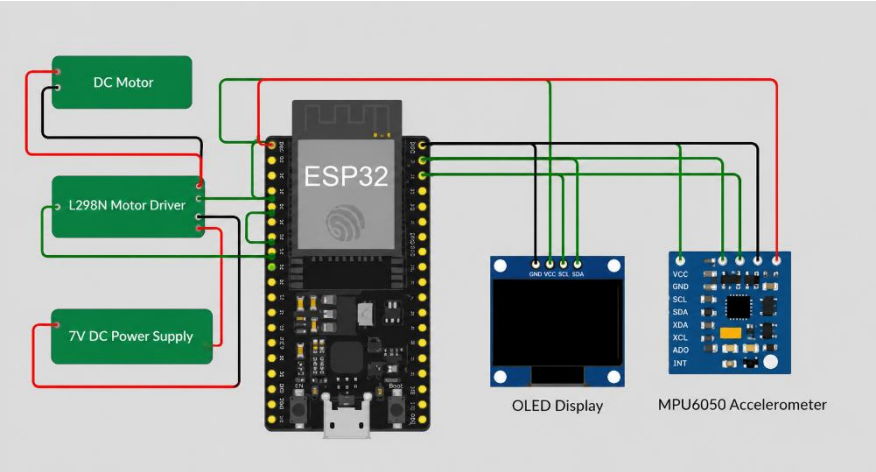



**Figure 1 System Setup**

### 2.4.2. Signal Processing and Feature Extraction

The signal processing and feature extraction procedure adopted in this study is illustrated in Figure 2. Although the proposed system is capable of acquiring real-time vibration signals directly from the MPU6050 accelerometer, a dataset was used during the model development and evaluation stages. Since machine learning algorithms generally require a sufficiently large amount of representative and well-structured data to achieve reliable performance, the use of a dataset provided a more suitable basis for training and validating the anomaly detection model.

Raw vibration signals obtained either from the MPU6050 sensor or the dataset are first processed using Fast Fourier Transform (FFT) to convert the signals from the time domain to the frequency domain. Based on the resulting spectrum, several characteristic features are extracted, including the Root Mean Square (RMS) value, ISO velocity, and the amplitudes corresponding to the fundamental rotational frequency (1×RPM) and its harmonics (2×RPM and 3×RPM). These features are combined to form a feature vector representing the vibration characteristics of the monitored system.

Prior to anomaly detection, the feature vector is standardized and subsequently supplied to the Isolation Forest model. The model assigns an anomaly score to each observation, which is then used to distinguish between normal and abnormal operating conditions.

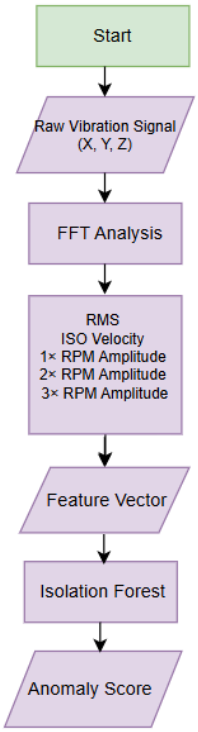



**Figure 2 System Setup Flowchart** **the signal processing and feature extraction procedure**

### 2.4.3. Overall System Workflow

The overall workflow of the proposed anomaly detection system is illustrated in Figure 3. The system is capable of processing vibration signals acquired directly from the MPU6050 sensor as well as data obtained from a dataset. The input data are transmitted to the ESP32 microcontroller, where feature extraction and standardization are performed. The processed feature vector is then supplied to the Isolation Forest model, which evaluates the health condition of the monitored system.

Based on the anomaly score generated by the model, the operating condition is classified as either normal or abnormal. Under normal operating conditions, the system status is periodically updated on both the OLED display and the Streamlit-based user interface at one-minute intervals. In contrast, when an anomaly is detected, the system automatically stops the motor to prevent potential damage and generates warning messages on both interfaces.

Following anomaly detection, the user can manually restart the system through the user interface. Once restarted, the monitoring process resumes, forming a closed-loop architecture that enables continuous condition monitoring and early fault detection.

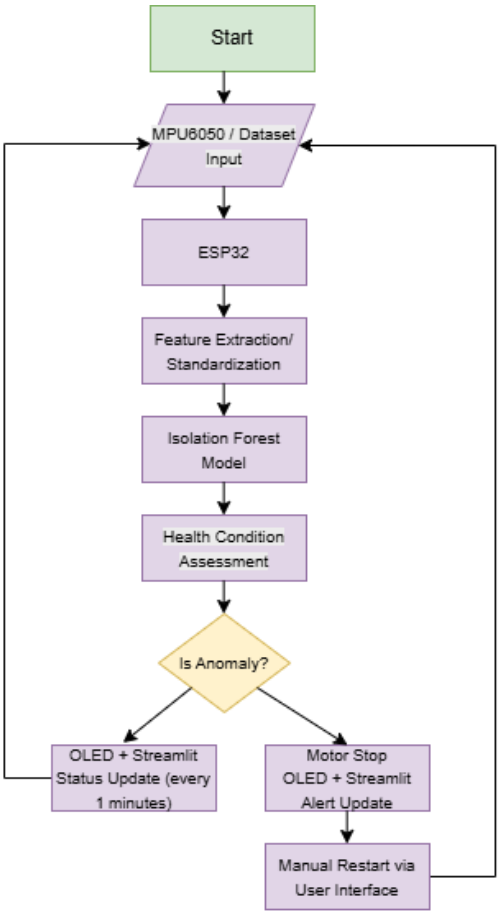



**Figure 3 Overall workflow of the proposed IoT-based anomaly detection system.**

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The performance metrics of the proposed Isolation Forest model are summarized in Table 1. The model achieved an accuracy of 97.22%, indicating that the majority of the samples were classified correctly. In addition, the precision, recall, and F1 score were all found to be 98.33%, demonstrating the model's ability to reliably distinguish between normal and abnormal operating conditions. The high F1 score indicates a good balance between precision and recall, confirming the robustness of the proposed anomaly detection approach.

The confusion matrix obtained from the test results is presented in Figure 4. As shown, 55 normal samples and 295 anomalous samples were correctly classified, while only five samples from each class were misclassified. Specifically, five normal samples were incorrectly identified as anomalies, and five anomalous samples were classified as normal. Considering the total number of samples, these results demonstrate that the proposed model provides highly accurate and reliable anomaly detection performance.

**Table 1 Performance metrics of the proposed Isolation Forest model.**

**Performance Metrics**

| Metric | Value |
|---|---|
| Accuracy | 97.22% |
| F1 Score | 98.33% |
| Precision | 98.33% |
| Recall | 98.33% |

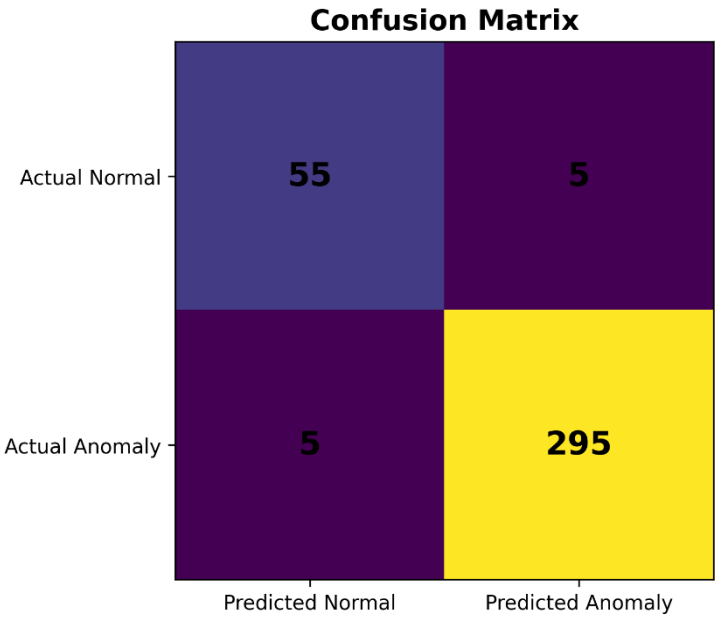



**Figure 4 Confusion matrix obtained from the test dataset.**

## 4. FUTURE WORKS

Although the proposed system produced practically applicable and promising results, there is still room for further improvement. In future studies, more advanced deep learning approaches, particularly Autoencoder-based models, will be implemented to improve the performance of the anomaly detection system. Recent studies have reported accuracy rates of up to 99% for deep learning techniques in fault diagnosis and condition monitoring applications, highlighting their potential for future developments.

Furthermore, the proposed architecture will be integrated with an actual vertical shaft pump system to validate its performance under real operating conditions. The collection of vibration data from industrial pumps will enable the development of larger and more representative

datasets, improving the reliability and accuracy of the anomaly detection model. These future studies are expected to enhance the proposed system and provide a more reliable anomaly detection solution.

**REFERENCES**

1. ITU-T, "Overview of the Internet of things," ITU-T Recommendation Y.2060, Jun. 2012. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I
2. L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2233-2243, Nov. 2014.
3. ANSI/HI 9.6.4-2009, American National Standard for Rotodynamic Pumps for Vibration Measurements and Allowable Values, Hydraulic Institute, Parsippany, NJ, 2009.
4. Airnazar, PredictiveMaintenance_Vibration_WaterPump_2025-v1.0, GitHub Repository, 2025. [Online]. Available: https://github.com/Airnazar/PredictiveMaintenance_Vibration_WaterPump_2025-v1.0 (Accessed: 31.05.2026)
5. Sperli, G., & Vignali, A. (2024). Anomaly detection in cyber-physical systems: A case study on pump health monitoring. 2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Workshops (ICASSPW), 361–364.
6. Choi, J., Han, J., Park, S., Park, W.-K., & An, S. (2025). Anomaly detection for pumps in water treatment plants via frequency-domain vibration analysis. 2025 Sixteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 638–640.
7. Vishwakarma, A., & Elangovan, M. (2018). A study on fault diagnosis of a centrifugal pump using vibration signals. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 118(24), 1-10.
8. Hu, Q., Ohata, E. F., Silva, F. H. S., Ramalho, G. L. B., Han, T., & Filho, P. P. R. (2020). A new online approach for classification of pumps vibration patterns based on intelligent IoT system. Measurement, 151, 107138 .
9. Mian, T., Choudhary, A., Fatima, S., & Panigrahi, B. K. (2023). Artificial intelligence of things based approach for anomaly detection in rotating machines. Computers and Electrical Engineering, 109, 108760.
10. Mahazani, M. M., Oktaviadri, M., Jamaludin, A. S., & Yusoff, A. R. (2025). IoT-based vibration condition monitoring system for rotating machinery fault detection. Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES), 11, 855-861 .

# OTOMOTİV AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN LEDLİ ELEKTRONİK DEVRE KARTLARINDAKİ BAKIR KALINLIĞININ TERMAL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Mustafa Ercan AYDIN**

Bursa Uludağ Üniversitesi,

mustafaercanaydin@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-8334-2764

**Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU**

Bursa Uludağ Üniversitesi,

aetem@uludag.edu.tr- https://orcid.org/0000-0001-8022-1185

## ÖZET

Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte LED (Light Emitting Diode)'li otomotiv aydınlatma ürünlerinin ampullere göre verimli çalışmaları, ampullere göre daha az termal yük oluşturmaları ve ampullere göre daha az hacimde işlevsel olmaları sebebiyle ampullerin yerini almıştır. LED'lerin verimli çalışma sıcaklıkları, sıcaklığa bağlı verimli ışık çıktıları, optik fotometrik beklentileri ve uzun ömürlü kullanımları için LED'li elektronik devre kartlarının termal yönetimini doğrudan etkili hale getirmiştir. Bu etkiler kapsamında otomotiv aydınlatma sektöründe yaygın olarak kullanılan LED'li elektronik devre kartlarının hesaplamalı termal analizleri ve deneysel testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada uygun katı datanın oluşturulması için Altium ve Catia paket programlarından yararlanılmıştır. Nümerik çalışmalar sürecinde komponent ve PCB'nin ortam sıcaklığı etkileşimiyle oluşan ısı transferinin hesaplanması için FloEFD paket programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarının testlerle doğrulanması ve test korelasyonlarının sağlanabilmesi için Nuve FN400 marka fırın içerisinde TT21-K220-2 tipi termokupl kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen simülasyonlar ve deneysel çalışmalarla birlikte PCB'lerdeki farklı bakır kalınlıklarının termal davranış üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiş; LED'lerin elektronik, termal ve optik davranışları değerlendirilerek elektronik devre kartlarında termal yönetimin LED'ler için önemi ortaya konmuştur. Elde edilen analiz bulguları, fiziksel devre kartları üzerinde gerçekleştirilen deneysel testler ile karşılaştırmalı olarak, sıcaklık dağılımı, ısı yayılımı ve termal performans açısından analiz edilmiştir. Yapılan testler sonucunda 35 mikron ile 70 mikron PCB'ler arasında en yüksek sıcaklık farkının ±2,65 °C olduğu görülmüştür. PCB bakır katman kalınlığının azalmasının termal direnç değerinde lineer bir artışa ve toplam ısı geçiş katsayısında düşüşe neden olduğu görülmüştür. PCB'nin bakır katman kalınlığının ısıl yönetime doğrudan etki ettiği görülmüştür. Bakır kalınlığının artmasıyla LED'li devre kartları üzerinde ısı dağılımında iyileşmelere neden olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LED, PCB, Bakır Kalınlığı, Hesaplamalı Isıl Analiz, Isıl test

## 1. GİRİŞ

Elektrikli ve hibrit araçların giderek daha yaygın hale gelmesi, otomotiv sektöründe enerji verimliliği ve akıllı sistemlere olan ihtiyacı artırmış; bu durum aydınlatma teknolojilerindeki ilerleme ve yeniliklerin de hız kazanmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda, aydınlatma sistemlerinde kullanılan ışık üreten cihaz ve bileşenler sürekli olarak iyileştirilmiş ve daha yüksek performanslı hale getirilmiştir. Özellikle günümüz aydınlatma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan LED'li baskılı devre kartları hem tasarım hem de üretim açısından ileri teknoloji gerektiren çözümler olarak öne çıkmaktadır. LED (Light Emitting Diode) tabanlı sistemler, yalnızca aydınlatma fonksiyonunu yerine getirmekle kalmayıp aynı zamanda araçların enerji tüketimini azaltan, uzun ömürlü kullanım sunan ve hızlı tepki süreleri sayesinde sürüş güvenliğini artıran önemli avantajlar sağlamaktadır. Elektronik kontrol üniteleri ile entegre şekilde çalışan bu sistemler, adaptif aydınlatma, otomatik far ayarlamaları ve ortam koşullarına duyarlı ışık dağılımı gibi gelişmiş fonksiyonların uygulanmasına da olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra LED teknolojisi, tasarım esnekliği sayesinde otomotiv üreticilerine estetik açıdan yenilikçi çözümler sunarken, daha kompakt ve dayanıklı yapısıyla araçların genel performansına katkıda bulunmaktadır. Tüm bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda, LED tabanlı aydınlatma sistemlerinin otomotiv endüstrisinde vazgeçilmez bir standart haline gelmesini sağlamaktadır.

Tüm bu avantajlarının yanı sıra, baskılı devre kartı (PCB) üzerinde bulunan komponentler ve LED'lerdeki termal aktiviteler birim lümen başına düşen akım ile verimin azalmasına, parça ve komponent bazlı ürün yaşam döngüsündeki ömürlerinin kısalmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum LED'li elektronik devre kartlarının termal yönetiminin optimum seviyede tutulması için termal analizler yapılmasını mücbir duruma getirmektedir. Isıl analizler ile birlikte LED'li aydınlatma ürünlerinde beklenen fotometrik değerler, ürün yaşam döngüsü standartlarında çalışma ömrü ve daha verimli çalışmasını mümkün hale gelmektedir.

Otomotiv aydınlatma regülasyonları ile daha önemli hale gelen otomotiv aydınlatma ürünleri, yakın geçmişe kadar genel adıyla ampul diye adlandırılan halojen, Xenon ve akkor lambaların kullanımıyla giderilmişti. LED teknolojisinin ucuzlaması ve daha ulaşılabilir hale gelmesiyle birlikte bu ampullerin yerini almaktadır. Bu duruma ek olarak, LED teknolojisi otomotiv aydınlatma endüstrisinde az ısı yayılımı ile birlikte daha kompakt, dar hacimli, estetik tasarımların oluşmasına, LED yönetimine bağlı estetik ışık çıktılarına, kalitesel hataların azalmasına ve daha uzun ömürlü kullanım sağlamasından kaynaklı gelecek dönemlerde de ismini sıkça duyacağımız otomotiv aydınlatma endüstrisinin alt parçası olarak yerini alacaktır. Bu duruma bağlı olarak araç aydınlatmasında elektronik tasarım hatırı sayılı bir önem kazanmıştır. Ürünün devre tasarımı yapılırken başta müşteri istekleri olmak üzere araç tarafı ile uyumlu olması, EMC (elektromanyetik uyumluluk) standartlarına uygun çalışması ve termal kondisyonun yönetilebilir olması önem arz etmektedir.

LED' li sistemlerin geçmişte kullanılan Akkor, Halojen ve Xenon ampullerden daha kaliteli ışık çıktısına sahip olması, ışığın çeşitli plastik parçalar (ışık tüpü vb.) içerisinden geçirilmesi veya reflektif yüzeylerden yansıtılmasıyla daha estetik ve kaliteli görseller oluşturması ile birlikte otomotiv endüstrisinin içten yanmalı motorlardan elektrikli ve hibrit motorlara

geçmesiyle birlikte oluşan verimlilik ve düşük tüketim ihtiyaçları ile otomotiv üreticileri için LED' li sistemleri daha cazip hale getirmiştir. LED'lerin bu avantajlarıyla birlikte küçülen hacimler ve kompakt tasarımlar, daha estetik parçalar ile birlikte termal problemler gün yüzüne çıkmıştır. LED'lerin üzerinden geçen akımın %70'den fazlasını ısıya dönüştürmesi ve baskılı devre kartı üzerinde bulunan diğer komponentlerin ısı yaymasıyla birlikte LED' li elektronik devre kartında aşırı ısınma meydana gelmektedir. Bu durumda LED' li elektronik devre kartlarının uygun sıcaklıkta ve verimde çalışması, LED'lerin uygun fotometri değerlerini sağlayabilmesi için termal yönetim önem arz eden bir durum oluşturmaktadır.

Tüm bu avantajlar ile birlikte LED'li elektronik devre kartlarının kullanımı endüstride de giderek artmaktadır.

Mevcut literatürde, otomotiv aydınlatma sistemlerine dayandırılmış birçok bilimsel araştırma bulunmaktadır. Mesela;

Yerkes ve Faghri (1992), iç ısı kaynaklarına sahip büyük bölmeli kapalı hacimlerde karışık konveksiyonun akış yapısı üzerindeki etkilerini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemiştir.

Wulf (1998), modern otomobil farlarındaki termal yükleri öngörmek amacıyla Bilgisayar Destekli Aydınlatma (CAL) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) tabanlı simülasyonları kullanmıştır.

Moore vd. (1999), otomobil farlarındaki termal yükleri doğru bir şekilde öngörmek amacıyla ADINA-F şirketi tarafından geliştirilen ADINA-F CFD yazılımını kullanarak aynasal radyasyon ve doğal konveksiyonun birleşik bir analizini gerçekleştirmiştir.

Qureshi ve Ahmad (1987), homojen ısı akısına maruz yatay bir silindir etrafındaki doğal konveksiyonu, tam iki boyutlu Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanarak hem sayısal hem de deneysel yöntemlerle incelemişlerdir.

Senin vd. (2008), otomobil farları gibi şeffaf bileşenlerin iç yüzey sıcaklık dağılımlarını belirlemek amacıyla termokromik sıvı kristallerin (TLC) parlaklık (lüminans) ölçümüne dayalı yeni bir deneysel yöntem geliştirmişlerdir.

Shiozawa vd. (2000), otomobil farlarındaki ısıl hava akış karakteristiklerini ve ısı transferini incelemek amacıyla akrilik bir "iskelet model" üzerinden deneysel ve sayısal bir çalışma yürütmüşlerdir.

Shukla vd. (2018), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, elektronik kontrol ünitelerinde kullanılan ısı kanatçıklarının geometrik yerleşiminin ve boyutsal parametrelerinin ısı transferi performansı üzerindeki etkisi sayısal analiz yöntemleriyle incelenmiştir.

Zhang ve Liu (2010), dikey dikdörtgen ısı kanatçığı doğal konveksiyon ile gerçekleşen ısı transferini maksimize etmek için ısı kanatçıkları arası optimum boşluk mesafesini sayısal yöntemler kullanarak araştırmıştır.

Morrison (1992), yaptığı sayısal çalışmada doğal taşınım yoluyla dikdörtgen kesitli ısı kanatçıklarının optimum geometrisini belirlemeyi amaçlamıştır.

Saeed ve Kim (2016) tarafından yürütülen araştırmada, yüksek ısı transferi performansının korunup pompalama ihtiyacını ise minimumda tutmak ve ısı alıcı geometrisini belirlemek için su soğutmalı mini kanallı ısı alıcıların ısıl ve hidrolik performansları sayısal yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Majumder vd. (2016), mikroelektronik aletlerin küçülmesiyle önemli bir sorun haline gelen yüksek ısı akışı ve termal yönetimin zorlukları düşünülerek, mini kanallı ısı alıcılarda hava ve suyun eşzamanlı kullanıldığı çift akışkanlı (dual-medium) bir soğutma sisteminin tasarımının sayısal analizleri incelenmiştir.

Pavlova ve Amitay (2006), elektronik sistemlerin soğutulması için sabit ısı akışına sahip bir yüzeyde sentetik jet çarptırma yöntemiyle soğutulmasını inceleyerek bulduğu sonucu sürekli çarpan jet yöntemiyle kıyaslamıştır.

Pal ve Joshi (2001), yüksek genişlik ve uzunluk ölçülerine sahip dikey kapalı hacim içerisinde n-triacontane organik faz değiştiren maddesinin erime evresini sayısal yöntemlerle incelemiştir. Elektronik soğutma kriterlerini rasyonel şekilde modelleştirmek amacıyla tekdüze ısı dağılımını sağlayan bir ısı kaynağı kullanılarak sayısal analizlerde entalpi-gözeneklilik tutumu benimsenmiştir.

Yung vd. (2014), baskılı devre kartları (PCB) üzerindeki yüksek parlaklığı olan LED dizilerinin farklı yerleşim kombinasyonları altında ısı kontrolü ve optik verimi üzerine çalışılmıştır.

Jajja vd. (2014), ısı seviyesi yüksek olan mikroişlemcilerin termal yönetimine ilişkin su soğutmalı minikanallı termal alıcılarda kanatçık aralığının verime etkisi araştırılmıştır. Araştırmada 0,2 mm, 0,5 mm, 1,0 mm ve 1,5 mm kanatçık aralıkları bulunan dört farklı bakır ısı alıcı ile bir adet referans düz plaka ısı alıcı incelenmiştir.

Xiao vd. (2017), Gücü yüksek olan LED'lerin etkin termal yönetimine yönelik ısı boruları, PWM kontrollü fan ve mikrodenetleyiciden meydana gelen otomatik bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada MCS-52 yapısına sahip bir mikrodenetleyici ile PID kontrol algoritması kullanılarak; fan hızı, LED taban sıcaklığına göre eşzamanlı olarak ayarlanmıştır.

Zhong vd. (2010), Gücü yüksek olan LED sistemlerinin termal yönetimi üzerine yapılan çalışmalar, değişik soğutma yöntemlerinin kıyaslanarak değerlendirilmesini öne çıkarmaktadır. Bu kapsamda, gücü yüksek olan LED paketleme sistemlerinde etkin termal dağılımı elde etmeye yönelik olarak üç farklı soğutma konfigürasyonunu (doğal konveksiyonlu ısıtıcı, fanlı ısıtıcı ve termoelektrik soğutucu (TEC) destekli fanlı ısıtıcı) deneysel ve analitik yöntemlerle incelemiştir.

Krishna vd. (2017), elektronik cihazlarda fazla güç kullanımı ve periyodik termal yayılımından kaynaklı termal yönetim sorunları, verimli soğutma yöntemlerine duyulan ihtiyacı giderek arttığını belirterek bu ihtiyacı karşılamak için deneysel araştırmalar yapmıştır. Isı boruları ile nano-güçlendirilmiş faz değiştiren malzemelerin (Ne-PCM) birlikte kullanımının elektronik soğutma sistemleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Kandasamy vd. (2008), faz değiştiren madde (PCM) tabanlı ısı alıcıların elektronik cihazların geçici termal yönetimindeki verimliliğini deneysel ve nümerik yollarla incelemiştir.

Tikadar vd. (2016), su soğutmalı mini-kanal ısı alıcısı üzerinde farklı çip konumlarının ısıl performansa etkisini üç boyutlu sayısal yöntemlerle incelemiştir. Isı alıcı malzeme için silikon, soğutucu akışkan içinse su tercih edilmiş; her bir çip için 150 W ısı yükü belirlenmiş ve giriş hızı 0,06 m/s ile 2 m/s arasında değiştirilerek termal performans ölçümleri yapılmıştır.

Schatzel (2009), uzay elektroniği programları için yapılan baskılı devre kartlarında (PCB) termal performansın kütle artırılmadan geliştirilmesi için karbon çekirdekli laminat (Carbon Core Laminate, CCL) teknolojisinin işlevselliğini test etmiştir.

Geisler vd. (2004), askeri ve havacılık programları için kullanılan ticari hazır donanımların (COTS) ısı yönetimi kapsamında pasif daldırmalı sıvı soğutma yönteminin uygulanma ihtimalini araştırılmıştır.

Behi vd. (2017), Gücü yüksek olan bilgisayar çiplerinde oluşan güçlü ısı üretiminin ince iç bileşenlere aktarılma ihtimali olan kalıcı hasarları önlemek için faz değiştiren malzeme (PCM) destekli yatay bir ısı borusu sistemi tasarlanmış ve bu sistemin verimliliği detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Kim ve Go (2018), elektrikli araç bataryalarının soğutulmasına ilişin yatay paralel yassı mini kanallı tüplerde iki fazlı soğutucu akışkanın (R-134a) dağılımı araştırılmıştır. 600 W'lık bir güç kaynağıyla yapılan testlerde 280–480 $kg \cdot m^{-2}s^{-1}$ kütle akısı bandında ve 0,2 giriş kalitesi baz alınmış; giriş portu yönünün (yatay/dikey) ve ısı değiştirici eğiminin (0°–5°) akış dağılımı ile basınç kayıplarındaki etkileri incelenmiştir.

Beitelmal vd. (2000), elektronik soğutma programlarında aktif olarak tercih edilen hava jetlerinin jet çıkış hızlarını ve jet yüzey mesafelerini dikkate alarak düz bir yüzey üzerindeki ısı transferi davranışını ele almıştır.

Snyder vd. (2006), mikroişlemcilerde yerel sıcak noktaların sistemdeki güvenilirlik hakkında risk oluşturması sorunu için, paketleme içindeki ısı dağıtıcıya birleştirilen gömülü termoelektrik soğutucuların (eTEC) kullanımını araştırmıştır.

Huang vd. (2010), eski model su soğutma sistemlerine termoelektrik soğutucu (TEC) dahil edilmesinin ısı verimliliğine katkısını hem deneysel hem de teorik olarak ele almıştır.

Kharat vd. (2015), modern otomobillerde küçülen yarı iletken cihazların kullanımıyla birlikte yükselen ısı yoğunluğunun Elektronik Kontrol Üniteleri (ECU) üzerindeki ısıl etkilerini araştırmıştır.

Yang ve Wang (2012), kompakt elektronik cihazların soğutulması dahilinde PCM tabanlı hibrit bir ısı emici sisteminin geçici ısı transferinin özellikleri araştırılmıştır.

Nayak vd. (2006), PCM'nin düşük ısıl iletkenlik sorununu çözebilmek için Eicosane içerisine konulan alüminyum bazlı ısıl iletkenlik artırıcıların (TCE) verimliliğini sayısal olarak incelemiştir.

Dong ve Joshi (2004), periyodik ısıl yükler (35 W) altında PCM entegre edilmiş plaka ve çubuk tipi kanatçıklı ısı emicilerin ısıl performansını ve enerji verimliliğini araştırmıştır.

Furkan ve Osman (2019), bir LED modülü ve modüle eşlik eden elektronik bileşenlerin jonksiyon sıcaklığı üzerinde via (geçiş yolu) uygulamasının etkisini incelemiştir.

An vd. (2018), çalışmalarında gücü yüksek olan işlemci sistemleri için iki fazlı daldırmalı soğutmanın performansını incelemiştir.

Heo vd. (2012), Gücü yüksek olan LED aydınlatma sistemleri özelinde alüminyum ısı emici plaka üzerine cam-seramik yalıtım tabakası ve ayrıca gümüş iletken desenlerin serigrafi yöntemiyle basılıp düşük sıcaklıkta beraber fırınlandığı (LTCC) orijinal bir seramik-metal tasarım oluşturarak incelemeler yapmıştır.

Andonova vd. (2009), baskılı devre kartı (PCB) yapılarındaki metal katmanların yerleşimi ve yerel bakır dağılımından kaynaklı ısıl iletkenlik değişimlerini araştırmıştır.

Bu çalışma kapsamında LED'li elektronik devre kartlarındaki termal performansın baskılı devre kartında bulunan bakır kalınlığıyla ilişkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ve sayısal simülasyonlarda, farklı bakır kalınlıklarına sahip baskılı devre kartlarının ısı iletim mekanizmaları incelenmiş; iletim, taşınım etkileri dikkate alınarak çoklu fizik yaklaşımıyla termal davranış analizleri yapılmıştır.

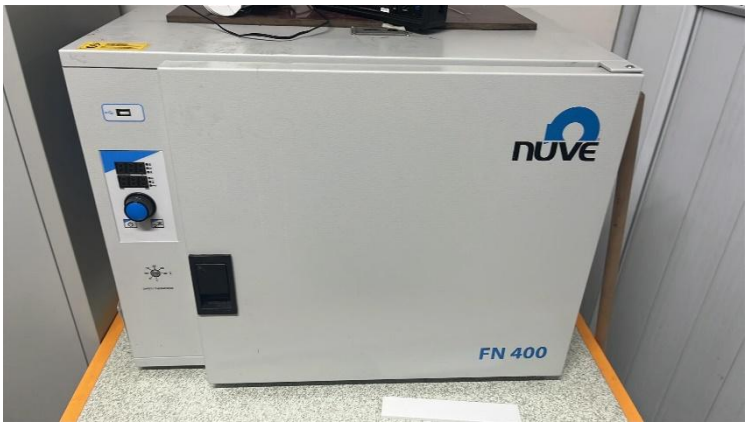
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Yazılım

LED'li elektronik devre kartlarının (PCB) nümerik analizlerini gerçekleştirmek için FloEFD programı kullanılmıştır. SimCenter FloEFD programı Siemens tarafından geliştirilmiştir. Solidworks, Solid Edge, PTC Altium ve Catia gibi sektörde sıkça kullanılan bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile entegre bir şekilde çalışan ısıl analiz ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi yapılan analiz programıdır. FloEFD, gelenekselleşmiş CFD programlarına göre mesh oluşturma ve geometrilerin düzenlenmesi süreçlerini kendi iç bünyesindeki araçlarla otomatik, hatasız ve pratik olarak gerçekleştirmesini sağlamaktadır. FloEFD sektörde ısı transferi hesaplamaları, laminer – türbülanslı akışlar gibi akış simülasyonları, aerodinamik gibi çoklu fizik uygulamalarının çözümünde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kullanılan FloEFD ticari programı FEKA Automotive tarafından sağlanmıştır.

### 2.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Deneylerde test koşullarına uygun sıcaklığı sağlayabilmek için Nuve marka FN400 endüstriyel statik fırın kullanılmıştır. Statik fırın maksimum 250 °C'ye çıkabilen ve nemi uzaklaştıran endüstriyel kuru hava sterilizatörüdür. Fırının sıcaklık dengesini sağlamadaki toleransı ±7 °C'dir. LED'li PCB'ler için testlerde farklı sıcaklık değerleri seçilmiş ve test süresi boyunca belirlenen değere göre fırın çalıştırılmıştır.

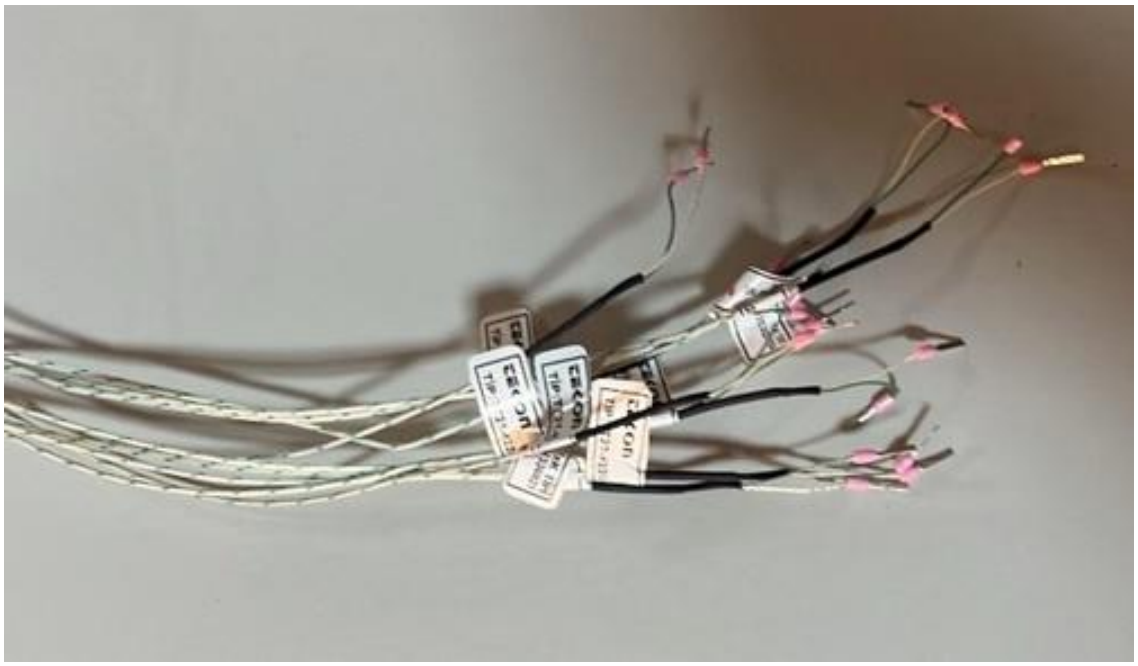



**Görsel 1. Nuve FN400 Statik Fırın**



**Görsel 2. Nuve FN400 Statik Fırın**

LED' li elektronik devre kartlarının belirlenen ölçüm noktalarından veri alınabilmesi için TT21-K220-2 tipi genellikle yüzey sıcaklıklarının -200 °C ile 1300 °C gibi geniş bir aralıkta ölçüm aralığı veren nikel-krom alaşımlı termokupl kullanılmıştır. Termokupllar endüstriyel sıcaklık ölçümlerinde tepki süreleri hızlı portatif ölçüm aletleridir. Termokupllardan gelen verilerin dönüştürülmesi için Graphtec midi Logger GL840 data logger kullanılmıştır. Çalışmalarda gerçekleştirilen testler için FEKA Automotive firması tarafından sağlanan statik fırın ve termokupllar ile gerçekleştirilmiştir.

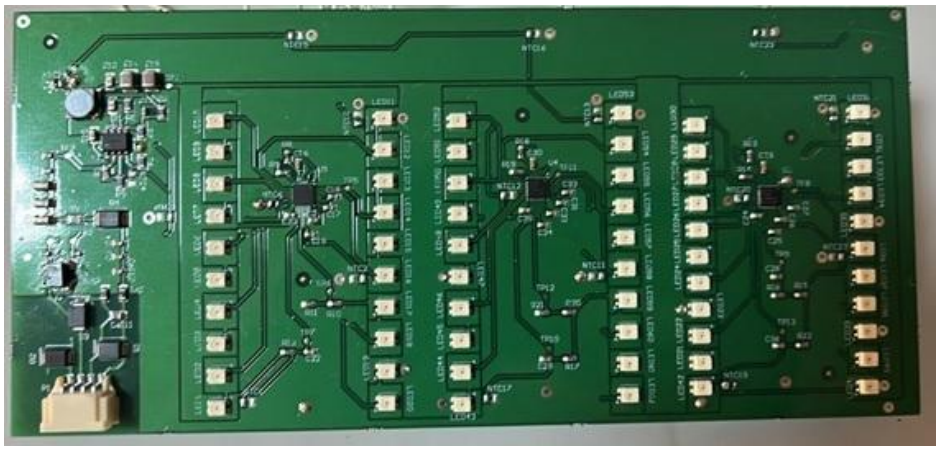


**Görsel 3. TT21-K220-2 Termokupl**




**Görsel 4. Graphtec midi Logger GL840**

LED'li elektronik devre kartları Catia paket programında oluşturulmuştur. Seçilen elektronik komponentler ve bakır kalınlıkları, termokupl ölçüm noktaları Altium programında belirlenerek üretimi yapılmıştır. Tüm mekanik, elektronik tasarım süreçleri ve elektronik devre kartının temini FEKA Automotive firması tarafından sağlanmıştır.



**Görsel 5. LED' li elektronik devre kartı**

2.3. LED' li Elektronik Devre Kartı Testi

LED'li elektronik devre kartlarının fırın içerisindeki durum sıcaklığı ve çalışma süreci otomotivde kullanılan test şartnamelerine göre gerçekleştirilmiştir. Kapalı hacimde LED'lerin çalışır durumda olduğu ve belirlenen sıcaklık koşullarına göre yapılmıştır. Belirlenen koşullar altında başlatılan her test saatlerce sürmüş ve her iki saniyede bir termokupllar vasıtasıyla anlık ölçümler alınmıştır.

2.4. LED' li Elektronik Devre Kartı Nümerik Analizi

LED'li elektronik devre kartlarının nümerik analizi, üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz yazılımı olan FloEFD 2406 (NX 2306) sürümü ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen nümerik analizler süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözümlenmesiyle yapılmıştır.

Eşitlik 2.1' de üç boyutlu süreklilik denklemi yer almaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{2.1}$$

Eşitlik 2.2, Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4'te kartezyen koordinatlar yönünde momentum denklemleri yer almaktadır.

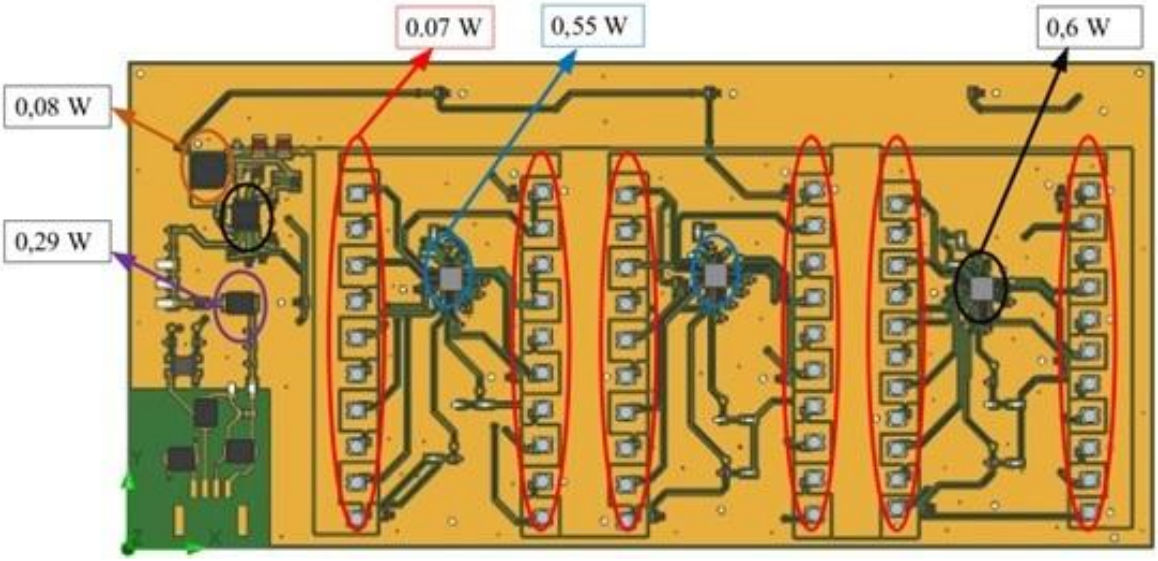
$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{u\,\partial u}{\partial x}+\frac{v\,\partial u}{\partial y}+\frac{w\,\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)+F_x \tag{2.2}$$

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{u\,\partial v}{\partial x}+\frac{v\,\partial v}{\partial y}+\frac{w\,\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)+F_\gamma \tag{2.3}$$

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{u\,\partial w}{\partial x}+\frac{v\,\partial w}{\partial y}+\frac{w\,\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+F_z \tag{2.4}$$

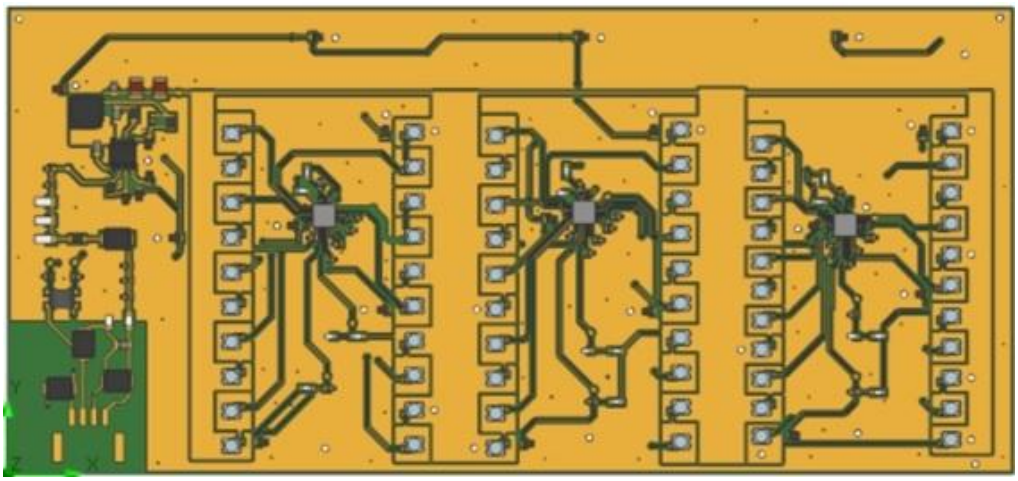
Eşitlik 2.5' de enerji denklemi yer almaktadır.

$$\rho C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{u\,\partial T}{\partial x}+\frac{v\,\partial T}{\partial y}+\frac{w\,\partial T}{\partial z}\right)=\left(\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{u\,\partial P}{\partial x}+\frac{v\,\partial P}{\partial y}+\frac{w\,\partial P}{\partial z}\right)+k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)+\mu\phi \tag{2.5}$$




**Görsel 6. PCB' de kompenetlerin ürettikleri güç miktarı**

Nümerik analizlerde, Görsel 6'da baskılı devre kartında yer alan komponentlerin ürettiği ısı miktarları dikkate alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Baskılı devre kartında yer alan kapasitör gibi az ısı üreten devre elemanları analize dahil edilmemiştir.



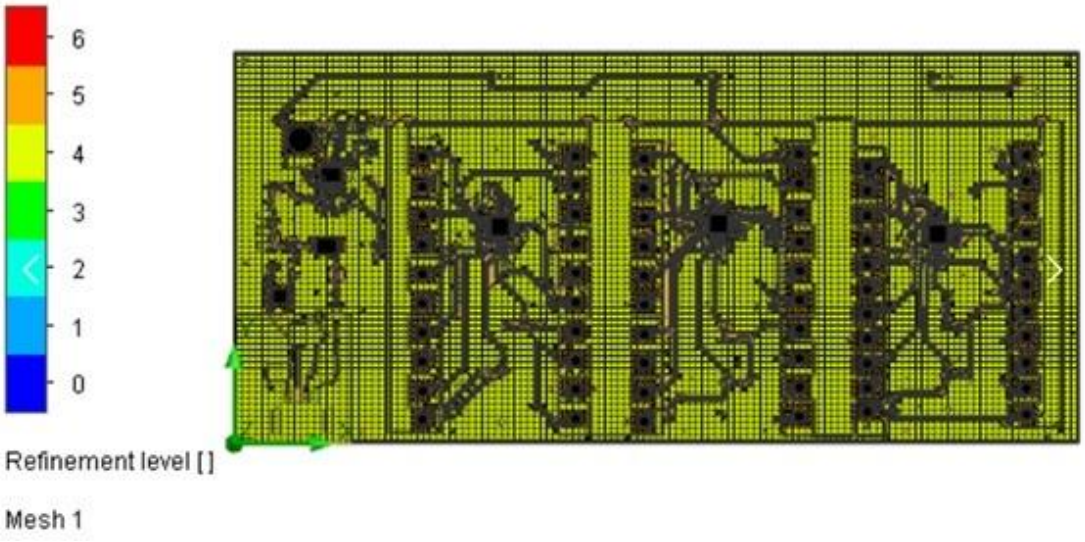
**Görsel 7. Elektronik devre kartının 3D görünümü**

Görsel 7'de 3D görünümü verilen PCB'nin Catia ve Altium programlarında tasarımı yapılarak analiz çalışmaları yapılmıştır.

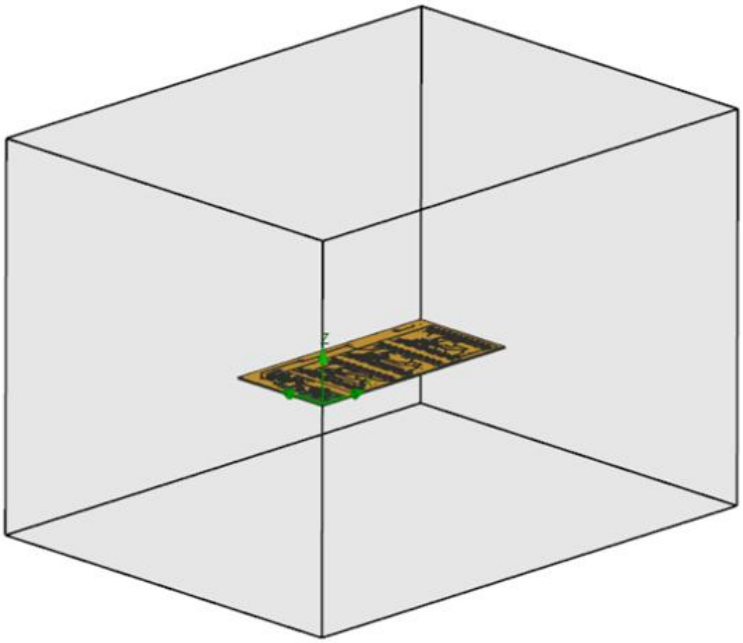
Nümerik analiz çalışmalarında izlenen çalışma yolu şu şekildedir.

1. İlk aşamada birim sistemi olarak SI birim sistemi seçilmiştir.
2. Analiz tipi ve fiziksel unsurlar belirlenmektedir.

3. Otomotiv aydınlatma ürünleri ve test şartları havanın bulunduğu ortamda çalıştığı için akışkan türü olarak hava seçilmiştir.
4. PCB'nin özelliklerine uygun FR4 malzeme seçimi ve komponent malzeme seçimi gerçekleştirilmiştir.
5. Şartnamelere göre uygun başlangıç ve ortam parametreleri belirlenmiştir.
6. Nümerik analizin yapılacağı kontrol hacmi belirlenmiştir.
7. Kontrol hacmine, PCB'ye ve devre elemanlarına mesh atma işlemi gerçekleştirilmiştir.
8. Komponentlerin ürettiği ısı miktarları belirlenmiştir. Hacim kaynağı seçimi yapılarak komponentlerin ürettiği ısı miktarları girilmiştir.
9. PCB ve komponentlerin sıcaklık değerleri elde etmek için hedefler atanmaktadır. Hedefler kısmından hacim hedefleri tercih edilmiştir. PCB ve komponent elemanları için seçilmiş parametre olarak katı sıcaklık seçilmiştir.




**Görsel 8. PCB' ye uygulanan mesh yapısı**



**Görsel 9. Nümerik analiz için kullanılacak kontrol hacmi**

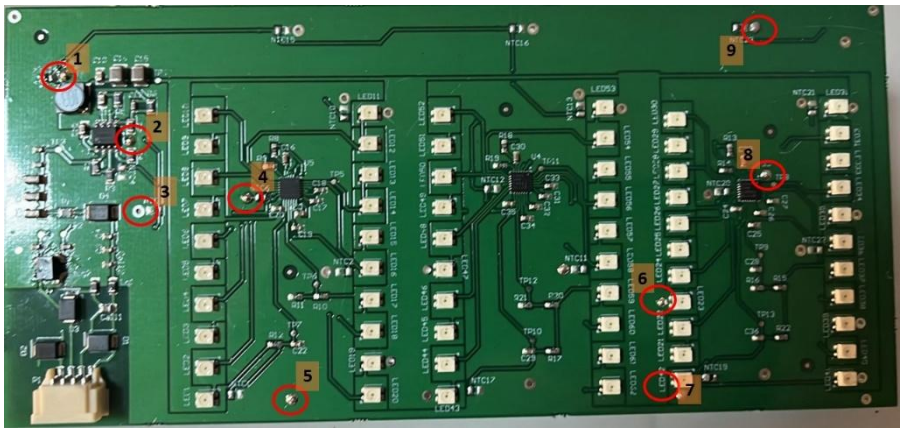
## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. LED' li Elektronik Devre Kartı Deneysel Analizi

Çalışma kapsamında, 70 mikron ve 35 mikron bakır kalınlığına sahip devre elektronik devre kartı başlangıç sıcaklığı 50 °C'ye sahip bir ortamda çalıştırılarak LED, driver, NTC, PTC ve diğer belirlenen bölgelere toplam 9 adet termokupl lehimlenmiştir. Bir termokupl ucu boşta bırakılarak ortam sıcaklığının ölçümünde kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları data loggerın her iki saniyede bir ölçüm almasıyla kaydedilmiştir.

Çalışmada, deneysel testlerin tekrarlanabilirliği de dikkate alınarak 2 farklı test düzeneği oluşturulmuştur. Testler sırasıyla;

1. **Test-1:** 70 µm bakır kalınlığına sahip iki PCB arasında yapılmıştır.
2. **Test-2:** 70 µm ve 35 µm kalınlığına sahip iki PCB arasında yapılmıştır.




**Görsel 10. PCB' de yer alan sıcaklık ölçüm noktaları**

## Test-1: 70 µm bakır kalınlığına sahip iki PCB arasındaki testler

70 µm bakır kalınlığına sahip elektronik devre kartları arasında yapılan testlerde maksimum ortam sıcaklığının 60,45 °C olduğu sıcaklık değerlerinde nominal sıcaklık test sonunda ölçülen 54,85 °C'deki sıcaklık değerleri referans alınmıştır. Data loggerda 20 adet veri girişi olduğundan, 3 numaralı ölçüm noktası boş bırakılarak ortam sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Test esnasında LED'lerin açık, yani stop fonksiyonu aktif ve 13,5 V ile beslendiği şartlarda testler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1'de test-1 70 µm bakır katmanlı PCB-1 için maksimum ve nominal sıcaklık değerlerinde ölçüm noktalarından alınan değerler verilmiştir.

**Çizelge 1. 70 µm bakır katmanlı PCB-1 maksimum ve nominal sıcaklıklara göre sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm Noktası | Maksimum Sıcaklık (°C) | Nominal Sıcaklık (°C) |
|---|---|---|
| 1 | 77,35 | 71,9 |
| 2 | 84,9 | 79,5 |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | 60,45 | 54,85 |
| 4 | 86,05 | 80,75 |
| 5 | 74,65 | 69,25 |
| 6 | 78,9 | 73,55 |
| 7 | 79,2 | 73,7 |
| 8 | 76,4 | 70,9 |
| 9 | 82,8 | 77,3 |
| 10 | 68,55 | 62,95 |

Çizelge 1'de de görüldüğü gibi, 70 µm bakır katmanlı PCB'de maksimum ve nominal sıcaklık şartlarında en yüksek sıcaklık 4 numaralı ölçüm noktasından alınmıştır. 4 numaralı ölçüm noktası LED driver ile LED'ler arasında bulunan en çok güç tüketiminin olduğu noktalardan biridir. En düşük sıcaklık ise güç tüketen komponentlerden en uzak olan 10 numaralı ölçüm noktasıdır. Çizelge 2'de Test-1 70 µm bakır katmanlı PCB-2 için maksimum ve nominal sıcaklık değerlerinde ölçüm noktalarından alınan değerler verilmiştir.

**Çizelge 2. 70 µm bakır katmanlı PCB-2 makimum ve nominal sıcaklıklara göre sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm Noktası | Maksimum Sıcaklık (°C) | Nominal Sıcaklık (°C) |
|---|---|---|
| 1 | 77,3 | 71,8 |
| 2 | 84,85 | 79,35 |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | 60,45 | 54,85 |
| 4 | 85,2 | 79,8 |
| 5 | 74,2 | 68,75 |
| 6 | 78,85 | 73,35 |
| 7 | 78,8 | 73,3 |
| 8 | 75,9 | 70,4 |
| 9 | 82,65 | 77,15 |
| 10 | 69,55 | 64,1 |

Çizelge 2'de görüleceği gibi 70 µm bakır katmanlı PCB'de maksimum ve nominal sıcaklık şartlarında en yüksek sıcaklık 4 numaralı ölçüm noktasından alınmıştır. 4 numaralı ölçüm noktası LED driver ile LED'ler arasında bulunan en çok güç tüketiminin olduğu noktalardan biridir. En düşük sıcaklık ise güç tüketen komponentlerden en uzak olan 10 numaralı ölçüm noktasıdır. Yapılan ölçümlerin karşılaştırması ve farkların belirlenmesi için PCB-1 ve PCB-2 için Çizelge 3'te maksimum ve nominal sıcaklık değerlerine göre sıcaklık farkları verilmiştir.

**Çizelge 3. Test-1 70 µm bakır katmanlı PCB-1 maksimum ve nominal sıcaklıklara göre sıcaklık dağılımı**

| Kanal Numarası | Maksimum Sıc. Farkı (°C) | Maksimum Sıc. Farkı (%) | Nominal Sıc. Farkı (°C) | Nominal Sıc. Farkı (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,05 | -0,07% | 0,1 | 0,14% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 0,05 | -0,06% | 0,15 | 0,19% |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | 0 | 0,00% | 0 | 0,00% |
| 4 | 0,85 | -1,07% | 0,95 | 1,19% |
| 5 | 0,45 | -0,65% | 0,5 | 0,73% |
| 6 | 0,05 | -0,07% | 0,2 | 0,27% |
| 7 | 0,4 | -0,55% | 0,4 | 0,55% |
| 8 | 0,5 | -0,71% | 0,5 | 0,71% |
| 9 | 0,15 | -0,19% | 0,15 | 0,19% |
| 10 | -1 | 1,56% | -1,15 | -1,79% |

PCB'ler karşılaştırıldığında maksimum sıcaklık şartlarında ölçüm noktaları arasında yapılan karşılaştırmada en yüksek sıcaklık farkının 10 numaralı ölçüm noktasında -1 °C ve yüzdelik olarak %1,56 olduğu görülmüştür. Nominal sıcaklık şartlarında -1,15 °C ve yüzdelik olarak %-1,79 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Sıcaklık şartları aynı olmasına rağmen, ölçüm noktalarında çıkan sıcaklık farkları, ölçüm noktasına termokupl ile yapılan nitel lehimleme, komponentlerin kendi iç tolerans değerlerinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklık farkı değerleri karşılaştırıldığında, ortam sıcaklığı yükseldikçe ölçüm noktaları arasındaki sıcaklık farkının düştüğü gözlemlenmiştir.

**Test-2: 70 µm ve 35 µm kalınlığına sahip iki PCB arasındaki testler**

70 µm ve 35 µm bakır kalınlığına sahip elektronik devre kartları arasında yapılan testlerde maksimum ortam sıcaklığının 55,65 °C olduğu sıcaklık değerlerinde nominal sıcaklık test sonunda ölçülen 53,1 °C'deki sıcaklık değerleri referans alınmıştır. Data loggerda 20 adet veri girişi olduğundan, 3 numaralı ölçüm noktası boş bırakılarak ortam sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Test esnasında LED'lerin açık, yani stop fonksiyonu aktif ve 13,5 V ile beslendiği şartlarda testler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4' te test-2 35 µm bakır katmanlı PCB-1 için maksimum ve nominal sıcaklık değerlerinde ölçüm noktalarından alınan değerler verilmiştir.

**Çizelge 4. Test-2 35 µm bakır katmanlı PCB-1 maksimum ve nominal sıcaklıklara göre sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm Noktası | Maksimum Sıcaklık (°C) | Nominal Sıcaklık (°C) |
|---|---|---|
| 1 | 73,9 | 71,15 |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | 81,1 | 78,3 |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | 55,65 | 53,1 |
| 4 | 81,75 | 79,25 |
| 5 | 70,55 | 68 |
| 6 | 75,15 | 72,8 |
| 7 | 75,45 | 73,15 |
| 8 | 71,95 | 69,5 |
| 9 | 79,4 | 77,2 |
| 10 | 66,15 | 63,95 |

Çizelge 4.'te de görüldüğü gibi, 35 µm bakır katmanlı PCB'de maksimum ve nominal sıcaklık şartlarında en yüksek sıcaklık 4 numaralı ölçüm noktasından alınmıştır. 4 numaralı ölçüm noktası Led driver ile LED'ler arasında bulunan en çok güç tüketiminin olduğu noktalardan biridir. En düşük sıcaklık ise güç tüketen komponentlerden en uzak olan 10 numaralı ölçüm noktasıdır. Çizelge 5'te Test-2 70 µm bakır katmanlı PCB-2 için maksimum ve nominal sıcaklık değerlerinde ölçüm noktalarından alınan değerler verilmiştir.

**Çizelge 5. Test-2 70 µm bakır katmanlı PCB-2 maksimum ve nominal sıcaklıklara göre sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm Noktası | Maksimum Sıcaklık (°C) | Nominal Sıcaklık (°C) |
|---|---|---|
| 1 | 72,7 | 69,9 |
| 2 | 80 | 77,2 |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | 55,65 | 53,1 |
| 4 | 81,1 | 78,45 |
| 5 | 71,55 | 68,85 |
| 6 | 75 | 72,25 |
| 7 | 75,35 | 72,65 |
| 8 | 72,55 | 69,85 |
| 9 | 77,15 | 74,55 |

| | | |
|---|---|---|
| 10 | 65,7 | 63,1 |

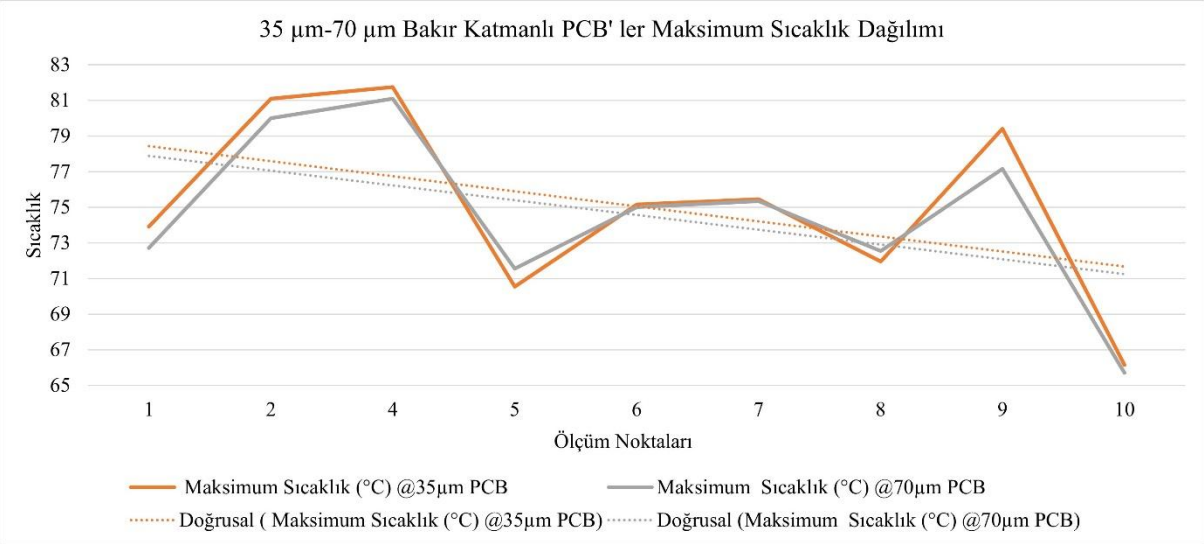
Çizelge 5'te görüleceği gibi, 70 µm bakır katmanlı PCB'de maksimum ve nominal sıcaklık şartlarında en yüksek sıcaklık 4 numaralı ölçüm noktasından alınmıştır. 4 numaralı ölçüm noktası Led driver ile LED'ler arasında bulunan en çok güç tüketiminin olduğu noktalardan biridir. En düşük sıcaklık ise güç tüketen komponentlerden en uzak olan 10 numaralı ölçüm noktasıdır. Yapılan ölçümlerin karşılaştırması ve PCB bakır kalınlığının etkisinin incelenmesi için PCB-1 ve PCB-2 için Çizelge 6'da maksimum ve nominal sıcaklık değerlerine göre sıcaklık farkları verilmiştir.

**Çizelge 6. Test-2 35 µm ve 70 µm PCBler arasındaki sıcaklık farkı dağılımı**

| Kanal Numarası | Maksimum Sıc. Farkı (°C) | Maksimum Sıc. Farkı (%) | Nominal Sıc. Farkı (°C) | Nominal Sıc. Farkı (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,2 | 1,65% | 1,25 | 1,79% |
| 2 | 1,1 | 1,38% | 1,1 | 1,42% |
| 3(Ortam Sıcaklığı) | - | - | - | - |
| 4 | 0,65 | 0,80% | 0,8 | 1,02% |
| 5 | -1 | -1,40% | -0,85 | -1,23% |
| 6 | 0,15 | 0,20% | 0,55 | 0,76% |
| 7 | 0,1 | 0,13% | 0,5 | 0,69% |
| 8 | -0,6 | -0,83% | -0,35 | -0,50% |
| 9 | 2,25 | 2,92% | 2,65 | 3,55% |
| 10 | 0,45 | 0,68% | 0,85 | 1,35% |

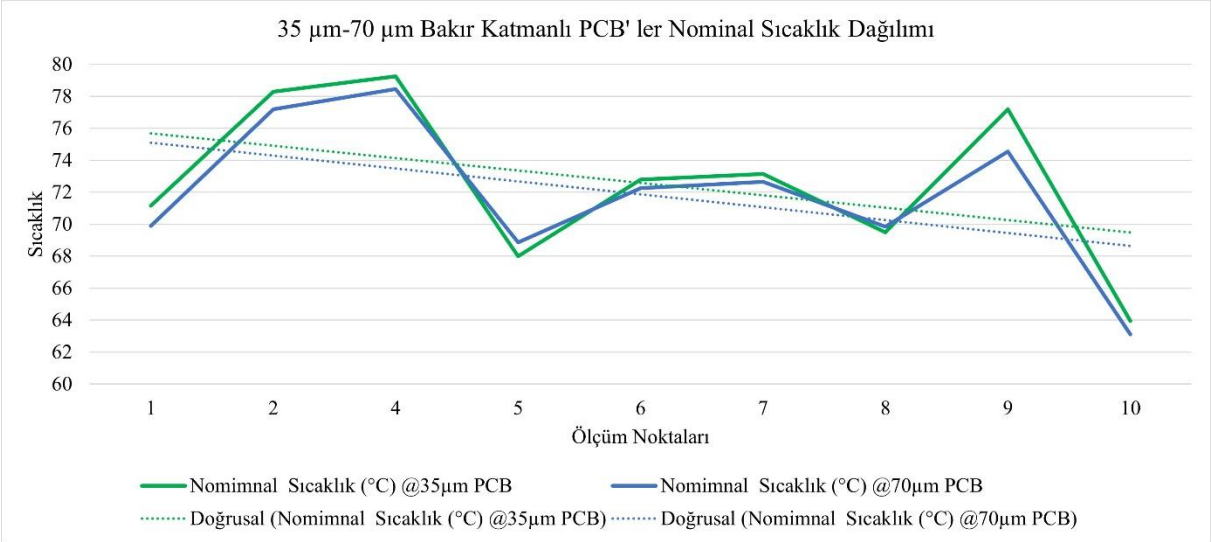
PCB'ler karşılaştırıldığında maksimum sıcaklık şartlarında ölçüm noktaları arasında yapılan karşılaştırmada en yüksek sıcaklık farkının 9 numaralı ölçüm noktasında 2,25 °C ve yüzdelik olarak %2,92 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Nominal sıcaklık şartlarında 2,65 °C ve yüzdelik olarak %3,55 olarak gerçekleştiği görülmüştür.

Görsel 11'de 35 µm bakır katmanlı PCB ile 70 µm bakır katmanlı PCB'lerin maksimum sıcaklıkta ölçüm noktasından alınan değerleri grafik halinde verilmiştir.




**Görsel 11. 70 µm- 35 µm bakır Katmanlı PCB' lerin maksimum sıcaklık dağılımı**

Görsel 12'de 35 µm bakır katmanlı PCB ile 70 µm bakır katmanlı PCB'lerin nominal sıcaklıkta ölçüm noktasından alınan değerleri grafik halinde verilmiştir.

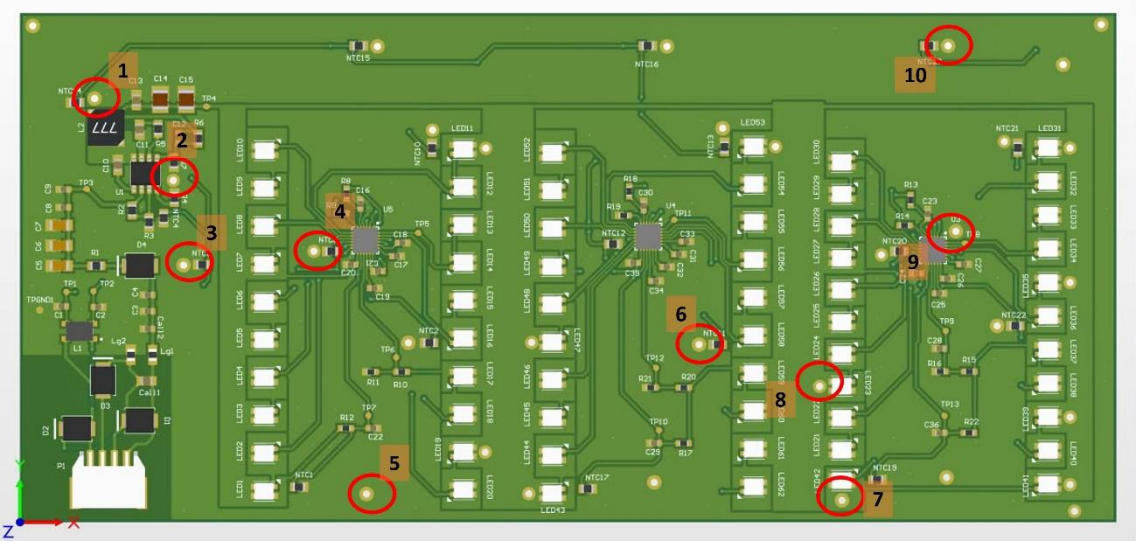



**Görsel 12. 70 µm- 35 µm bakır Katmanlı PCB' lerin nominal sıcaklık dağılımı**

Grafikler karşılaştırıldığında, PCB'ler ısı transferi açısından ele alındığında, 70 µm bakır katmanlı PCB'ler 35 µm katmanlı PCB'ye göre ısı transfer özelliklerinin daha iyi olduğu çıkarılabilmektedir.

### 3.2. LED' li Elektronik Devre Kartı Nümerik Analizi

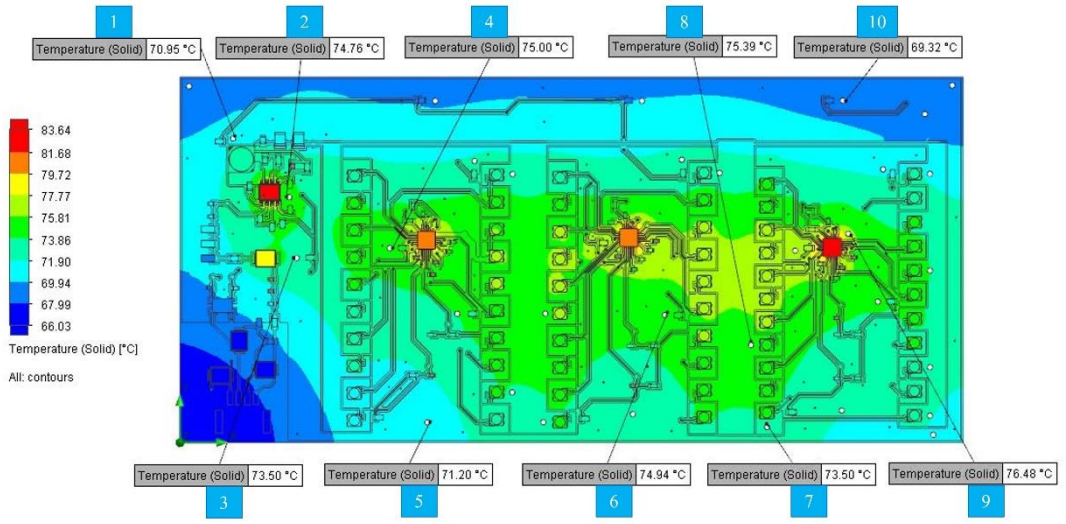
Çalışmada, 70 mikron ve 35 mikron bakır katmanlara sahip elektronik devre kartının termal performansı incelenmiştir. Veri ölçüm noktaları ise Görsel 13'te verilmiştir.




**Görsel 13. PCB' de yer alan sıcaklık ölçüm noktaları**

Nümerik analiz kapsamında, PCB sert tabaka malzemesi 1,6 mm kalınlığa sahip FR4 olarak tanımlanmıştır. PCB üzerindeki bakır katman kalınlığı 0,035 mm (35 µm) ve 0,070 mm (70 µm) olacak şekilde iki ayrı PCB tanımlanmıştır.

35 mikron bakır katmanlı PCB'de ölçülen sıcaklık değerleri Görsel 14'te ve Çizelge 7'de verilmiştir.

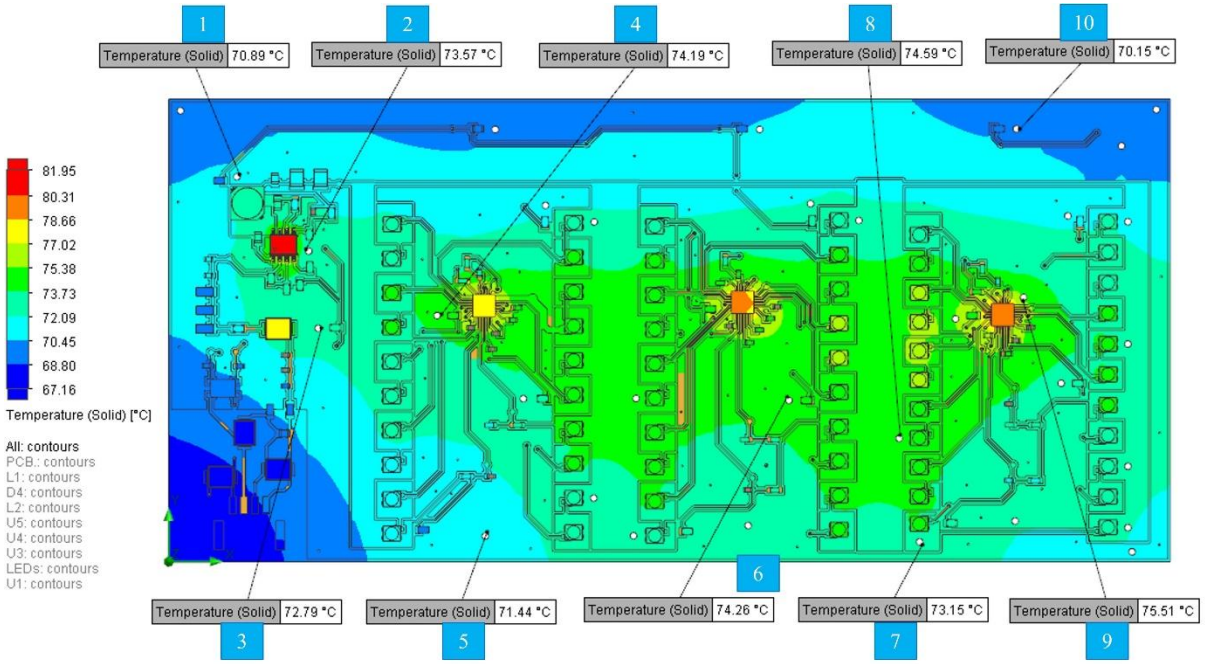



**Görsel 14. 35 mikron bakır katmanlı PCB' de sıcaklık dağılımı**

**Çizelge 7. 35 mikron katmanlı PCB' de sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm noktası | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sıcaklık Dağılımı °C | 70,95 | 74,76 | 73,5 | 75 | 71,2 | 74,94 | 73,5 | 75,39 | 76,48 | 69,32 |

70 mikron bakır katmanlı PCB'de ölçülen sıcaklık değerleri Görsel 15'te ve Çizelge 8'de verilmiştir.




**Görsel 15. 70 mikron bakır katmanlı PCB' de sıcaklık dağılımı**

**Çizelge 8. 70 mikron katmanlı PCB' de sıcaklık dağılımı**

| Ölçüm noktası | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sıc. Dağılımı °C | 70,89 | 73,57 | 72,79 | 74,19 | 71,44 | 74,26 | 73,15 | 74,59 | 73,51 | 70,15 |

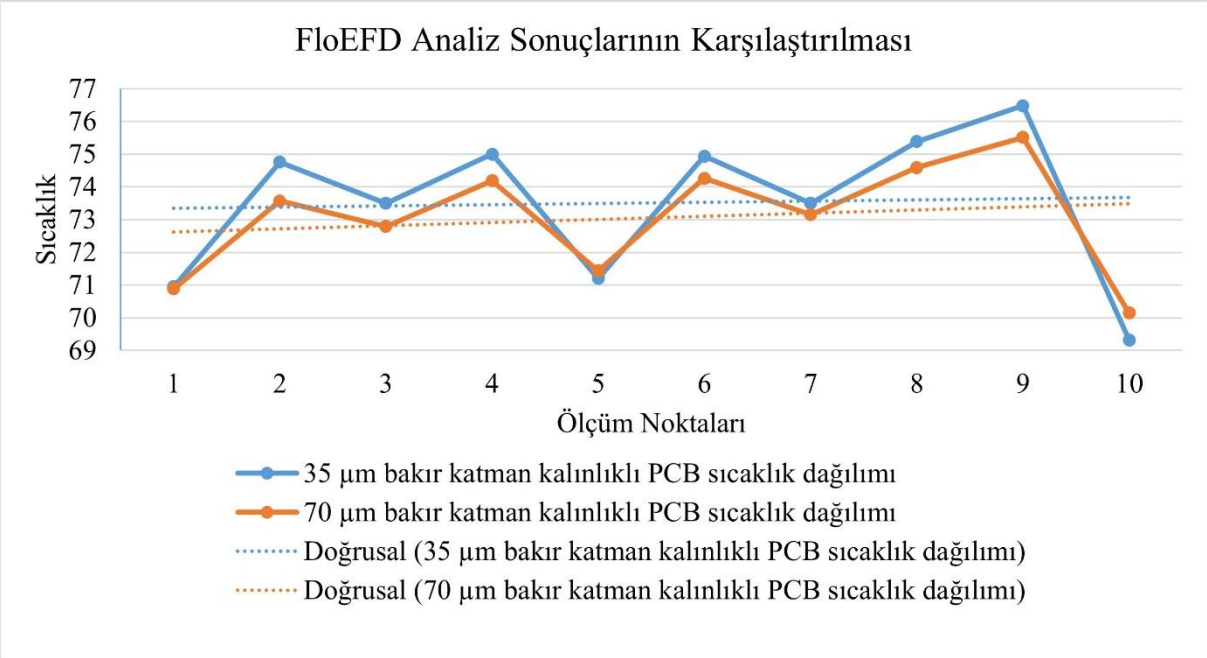
Analiz sonuçlarının test koşulları ile de karşılaştırılabilmesi için alınan maksimum ortam sıcaklığı değerleri aşağıda Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 9. 35 µm ve 70µm PCB'lerin sıcaklık dağılımı ve farkı**

| Ölçüm noktası | 35 µm PCB | 70 µm PCB | Sıcaklık Farkı |
|---|---|---|---|
| 1 | 70,95 | 70,89 | 0,06 |
| 2 | 74,76 | 73,57 | 1,19 |
| 3 | 73,5 | 72,79 | 0,71 |
| 4 | 75 | 74,19 | 0,81 |
| 5 | 71,2 | 71,44 | -0,24 |
| 6 | 74,94 | 74,26 | 0,68 |
| 7 | 73,5 | 73,15 | 0,35 |
| 8 | 75,39 | 74,59 | 0,8 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **9** | 76,48 | 75,51 | 0,97 |
| **10** | 69,32 | 70,15 | -0,83 |

35 mikron ve 70 mikron PCB'lerde sıcaklık dağılımı incelendiğinde, 70 mikron bakır katmanlı elektronik devre kartlarındaki ölçüm noktası sıcaklıklarının 35 mikron bakır katmanlı elektronik devre kartlarındaki ölçüm noktası sıcaklıklarından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum 70 mikron bakır katman kalınlığına sahip baskılı devre kartında ısının PCB boyunca daha etkin yayıldığını, ısı transferinin daha etkin olduğunu göstermektedir.




**Görsel 16. 35-70 µm bakır katman kalınlı PCB' lerin sıcaklık dağılımı**

Deneysel testler ve analiz sonuçları arasında anlamlı ilişki çıkarılmıştır. Hata oranının saptanması için eşitlik 3.1 aşağıda verilmiştir.

$$Bağıl\ Hata\ (\%) = \frac{\text{Mutlak}|T_{FEA} - T_{Test}|(°C)}{T_{Test}(°C)} x100 \qquad (3.1)$$

Analiz ve test sonuçlarının karşılaştırılmasını Eşitlik 3.1'e göre gerçekleştirdiğimizde, 35 mikron PCB için Çizelge 10'da; 70 mikron PCB için Çizelge 11'de hata oranlarına ulaşabiliriz.

**Çizelge 10. 35µm PCB Analiz-Test Bağıl Hata oranı**

| Test Maksimum Sıc. (°C) 35µm PCB | FEA Sıc. (°C) 35µm PCB | Bağıl Hata (%) 35µm PCB |
|---|---|---|
| **73,9** | 70,95 | 3,99% |
| **81,1** | 74,46 | 8,19% |
| **81,75** | 75 | 8,26% |
| **70,55** | 71,2 | 0,92% |
| **75,15** | 74,94 | 0,28% |
| **75,45** | 73,5 | 2,58% |
| **71,95** | 75,39 | 4,78% |
| **79,4** | 76,48 | 3,68% |
| **66,15** | 69,32 | 4,79% |

Yapılan analiz ve test sonuçlarına göre hata oranının dağılımı incelendiğinde, 35 mikron PCB için %5 bağıl hata payının altında 7 değer bulunurken, %5 bağıl hata payının üzerinde 2 değer bulunmaktadır. En düşük bağıl hata oranı %0,28 olurken, en yüksek bağıl hata oranı %8,26 olarak çıkmaktadır. Genel ortalamada %4,16 bağıl hata payı oluştuğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 11. 70µm PCB Analiz-Test Bağıl Hata oranı**

| Test Maksimum Sıc. (°C) 70µm PCB | FEA Sıc. (°C) 70µm PCB | Bağıl Hata (%) @70µm PCB |
|---|---|---|
| **72,7** | 70,89 | 2,49% |
| **80** | 73,57 | 8,04% |
| **81,1** | 74,19 | 8,52% |
| **71,55** | 71,44 | 0,15% |
| **75** | 74,26 | 0,99% |
| **75,35** | 73,15 | 2,92% |
| **72,55** | 74,59 | 2,81% |
| **77,15** | 75,51 | 2,13% |
| **65,7** | 70,15 | 6,77% |

Yapılan analiz ve test sonuçlarına göre hata oranının dağılımı incelendiğinde, 70 mikron PCB için %5 bağıl hata payının altında 7 değer bulunurken, %5 bağıl hata payının üzerinde 2 değer bulunmaktadır. En düşük bağıl hata oranı %0,15 kaydedilirken, en yüksek bağıl hata oranı %8,52 olarak kaydedilmiştir. Genel ortalamada %3,87 bağıl hata payı oluşmaktadır.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Modern dünyada teknoloji ile birlikte elektronik devre kartlarındaki üretilen güç miktarları artmış ve buna bağlı olarak elektronik devre kartlarında ısınmalar meydana gelmiştir. Sıcaklıkların artışıyla birlikte elektronik elemanların uygun sıcaklık aralığında çalışabilmesi ve güvenliği elzem bir durum halini almıştır. Bu bağlamda elektronik devre kartlarının soğutulması ve yöntemlerin gelişmesi devam etmektedir. Lakin elektronik devre kartları ve soğutulması için gereken yöntemler alan darlığından ve maliyetlerden dolayı tercih edilmeyip alternatif metot ve önerilere kapı açmaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı bakır katman kalınlığına sahip LED'li elektronik devre kartlarının ısı transfer performansları, ısı yayılımları incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, 35 µm bakır katmanına sahip LED’ li elektronik devre kartı ile 70 µm bakır katman kalınlığına sahip devre kartlarının deneysel ölçümleri yapılmıştır. Deneysel testlerde tes-1’de iki özdeş aynı güç üreten komponentlere sahip 70 µm bakır katmanlı LED’ li elektronik devre kartları ölçülerek devre kartları arasındaki hata oranı ve sıcaklık farkları incelenmiştir. Test’ 2 de 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartı ile 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartı için deneysel ölçümler yapılarak bakır katman kalınlığının ısı yayılımına etkisi incelenmiştir. Daha sonra 35 µm ve 70 µm bakır katman kalınlığına sahip kabul edilen LED’ li elektronik devre kartları ile sayısal analiz çalışmaları yapılarak deneysel testler simüle edilmiş ve test ile sayısal analiz arasındaki hata oranları belirlenmiştir.

Deneysel test sonuçlarında Test 1’de özdeş komponentlere ve aynı bakır kalınlığına sahip LED’ li elektronik devre kartlarında en yüksek sıcaklık farkı; maksimum sıcaklık şartlarında -1 °C tespit edilirken nominal sıcaklık şartlarında -1,15 °C sıcaklık farkı tespit edilmiştir. Bu fark yüzdesel olarak hesaplandığında, maksimum sıcaklık şartlarında %1,56 olduğu, nominal sıcaklık şartlarında %-1,79 fark olduğu tespit edilmiştir. En düşük sıcaklık farkı ise; maksimum sıcaklık şartlarında 0,05 °C nominal sıcaklık şartlarında 0,1 °C sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yüzdesel olarak hesaplandığında, maksimum sıcaklık şartlarında %0,07 olarak, nominal sıcaklık şartlarında %0,14 olarak tespit edilmiştir. Bu fark termokuplların toleransları, termokupl bağlama hassasiyeti, elektronik komponentlerin iç toleransları, elektronik devre kartının pozisyonu ve toleransları gibi nitel ve nicel durumlardan kaynaklanabileceğinden,

elektronik devre kartları arasındaki sıcaklık farkları ve sıcaklık farkı yüzdeleri ihmal edilebilecek seviyede olduğu görülmüştür.

Test-2'de özdeş komponentlere sahip 35 µm bakır katmanlı ve 70 µm bakır katmanlı LED' li elektronik devre kartlarında en yüksek sıcaklık farkı; maksimum sıcaklık şartlarında 2,25 °C tespit edilirken nominal sıcaklık şartlarında 2,65 °C sıcaklık farkı tespit edilmiştir. Bu fark yüzdesel olarak hesaplandığında, maksimum sıcaklık şartlarında %2,92, nominal sıcaklık şartlarında %3,55 fark olduğu tespit edilmiştir. En düşük sıcaklık farkı ise; maksimum sıcaklık şartlarında 0,1 °C, nominal sıcaklık şartlarında 0,5 °C sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yüzdesel olarak hesaplandığında, maksimum sıcaklık şartlarında %0,13 olarak, nominal sıcaklık şartlarında %0,69 olarak tespit edilmiştir. PCB bakır katman kalınlığının azalmasının termal direnç değerinde bir artışa ve toplam ısı geçiş katsayısında ve ısı yayılım değerinde düşüşe neden olduğu görülmüştür. 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartının 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartına göre daha iyi ısıl yayılım gösterdiği gözlemlenmiştir.

Nümerik analiz sonuçları incelendiğinde 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartının ısıl yayılımının 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartından daha iyi olduğu görülmektedir. 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartında maksimum sıcaklık şartlarında ölçüm noktalarından birinde en yüksek sıcaklık 76,48 °C iken, 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartında 75,51 °C olarak görülmektedir. Genel sıcaklık farkına bakıldığında ise 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartlarındaki ölçüm noktası sıcaklıklarının 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartlarındaki ölçüm noktası sıcaklıklarından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum 70 µm bakır katman kalınlığına sahip baskılı devre kartında ısının PCB boyunca daha etkin yayıldığını, ısı transferinin daha etkin olduğunu göstermektedir.

Analiz ve test sonuçları kolektif edildiğinde ve deneysel testlerden kaynaklanan hata türleri de dikkate alındığında, analiz ile deneysel testler arasında yakınlık bulunmaktadır. 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartında ölçüm noktaları arasındaki en yüksek bağıl hata oranı %8 olarak hesaplanırken, 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartında %9 olarak hesaplanmaktadır. Genel bağıl hata oranı 35 µm bakır katmanlı elektronik devre kartlarında aritmetik olarak %4,16; 70 µm bakır katmanlı elektronik devre kartlarında %3,87 olarak görülmektedir. Söz konusu değerler gerçek test sonuçlarına göre %95 ve üzerinde bir yakınsama gösterdiği için ürün geliştirme süreçlerinde söz konusu durumun termal simülasyonlar ile kullanılabilmesi olanağı da mevcuttur.

## KAYNAKÇA

An, X., Arora, M., Huang, W., Brantley, W. C., & Greathouse, J. L. (2018). 3D Numerical Analysis of Two-Phase Immersion Cooling for Electronic Components. 2018 17th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 2018 17th IEEE Intersociety Conference On, 609–614. https://doi.org/10.1109/ITHERM.2018.8419528

Andonova, A., Kafadarova, N., Videkov, V., & Andreev, S. (2009). Investigation of thermal conductivity of PCB. 2009 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology, Electronics Technology, 2009. ISSE 2009. 32nd International Spring Seminar On, 1–5. https://doi.org/10.1109/ISSE.2009.5207019

Behi, H., Ghanbarpour, M., & Behi, M. (2017). Investigation of PCM-assisted heat pipe for electronic cooling. Applied Thermal Engineering, 127, 1132–1142. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.109

Beitelmal, A. H., Saad, M. A., & Patel, C. D. (2000). The effect of inclination on the heat transfer between a flat surface and an impinging two-dimensional air jet. International Journal of Heat and Fluid Flow, 21(2), 156–163. https://doi.org/10.1016/S0142-727X(99)00080-6

Daliang Zhong, Hong Qin, Changhong Wang, & Zecheng Xiao. (2010). Thermal performance of heatsink and thermoelectric cooler packaging designs in LED. 2010 11th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging, Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP), 2010 11th International Conference On, 1377–1381. https://doi.org/10.1109/ICEPT.2010.5582819

Dong-won Yoo, & Joshi, Y. K. (2004). Energy efficient thermal management of electronic components using solid-liquid phase change materials. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, Device and Materials Reliability, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Device Mater. Relib, 4(4), 641–649. https://doi.org/10.1109/TDMR.2004.840854

Geisler, K., Straznicky, I., & Bar-Cohen, A. (2004). Immersion cooling module for military COTS applications. The Ninth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena In Electronic Systems (IEEE Cat. No.04CH37543), Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2004. ITHERM '04. The Ninth Intersociety Conference on, Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2, 67. https://doi.org/10.1109/ITHERM.2004.1318254

Heo, Y. J., Kim, H. T., Nahm, S., Kim, J., Yoon, Y. J., & Kim, J. (2012). Ceramic-metal package for high power LED lighting. Frontiers of Optoelectronics, 5(2), 133–137. https://doi.org/10.1007/s12200-012-0252-3

Huang, H.-S., Weng, Y.-C., Chang, Y.-W., Chen, S.-L., & Ke, M.-T. (2010). Thermoelectric water-cooling device applied to electronic equipment. International Communications in Heat and Mass Transfer, 37(2), 140–146. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.08.012

Jajja, S. A., Ali, W., Ali, H. M., & Ali, A. M. (2014). Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling: Effect of fin spacing. Applied Thermal Engineering, 64(1–2), 76–82. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.007

Kandasamy, R., Wang, X.-Q., & Mujumdar, A. S. (2008). Transient cooling of electronics using phase change material (PCM)-based heat sinks. Applied Thermal Engineering, 28(8), 1047–1057. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.06.010

Kim, N.-H., & Go, M.-G. (2018). Horizontal distribution of two-phase refrigerant in parallel flat mini-channels. Experimental Thermal and Fluid Science, 93, 139–152. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2017.12.028

Kharat, A., Ingole, S., & Meshram, V. (n.d.). HEAT TRANSFER ANALYSIS IN ELECTRONIC CIRCUIT BOARD. https://doi.org/10.2348/ijset07150940

Krishna, J., Kishore, P. S., & Solomon, A. B. (2017). Heat pipe with nano enhanced-PCM for electronic cooling application. Experimental Thermal and Fluid Science, 81, 84–92. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.10.014

Majumder, S., Majumder, A., & Bhaumik, S. (2016). 3-Dimensional numerical study of cooling performance of a heat sink with air-water flow through mini-channel. AIP Conference Proceedings, 1754. https://doi.org/10.1063/1.4958401

Moore, W. I., Donovan, E. S., & Powers, C. R. (1999). Thermal analysis of automotive lamps using the ADINA-F coupled specular radiation and natural convection model. Computers and Structures, 72(1–3), 17–30. https://doi.org/10.1016/S0045-7949(99)00014-0

Morrison, A. T. (1992). Optimization of heat sink fin geometries for heat sinks in natural convection. [1992 Proceedings] Intersociety Conference on Thermal Phenomena in Electronic Systems, Thermal Phenomena in Electronic Systems, 1992. I-THERM III, InterSociety Conference On, 145–148. https://doi.org/10.1109/ITHERM.1992.187753

Nayak, K. C., Saha, S. K., Srinivasan, K., & Dutta, P. (2006). A numerical model for heat sinks with phase change materials and thermal conductivity enhancers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 49(11), 1833–1844. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.10.039

Pal, D., & Joshi, Y. K. (2001). Melting in a side heated tall enclosure by a uniformly dissipating heat source. International Journal of Heat and Mass Transfer, 44(2), 375–387. https://doi.org/10.1016/S0017-9310(00)00116-2

Pavlova, A., & Amitay, M. (2006). Electronic cooling using synthetic jet impingement. Journal of Heat Transfer, 128(9), 897–907. https://doi.org/10.1115/1.2241889

Qureshi, Z. H., & Ahmad, R. (1987). Natural convection from a uniform heat flux horizontal cylinder at moderate rayleigh numbers. Numerical Heat Transfer, 11(2), 199–212. https://doi.org/10.1080/10407788708913550

Saeed, M., & Kim, M.-H. (2016). Numerical study on thermal hydraulic performance of water cooled mini-channel heat sinks. International Journal of Refrigeration, 69, 147–164. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.05.004

Schatzel, D. V. (2009). Improving heat transfer performance of printed circuit boards. 2009 IEEE Aerospace Conference, Aerospace Conference, 2009 IEEE, 1–6. https://doi.org/10.1109/AERO.2009.4839529

Senin, S., Langebach, J., & Karcher, C. (2008). Determination of Interior Surface Temperature Using Luminance Measurement of Thermochromic Liquid Crystals. Experimental Heat Transfer, 21(2), 133–142. https://doi.org/10.1080/08916150701815754

Shiozawa, T., Nakanishi, A., Ozawa, T., Oki, T., Tsuda, N., Saga, T., & Kobayashi, T. (2000). Thermal Air Flow Analysis of an Automotive Headlamp –The PIV Measurement and the CFD Simulation by Using a Skeleton Model. SAE Transactions, 109, 1098–1104.

Shukla, A., Chaurasia, M., Deshmukh, P., Kumar, V., & Shukla, S. (2018). Thermal analysis of ECU controlled. International Research Journal of Engineering and Technology, 5(05), 886-893.

Snyder, G. J., Soto, M., Alley, R., Koester, D., & Conner, B. (2006). Hot spot cooling using embedded thermoelectric coolers. Twenty-Second Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement And Management Symposium, Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 2006 IEEE Twenty-Second Annual IEEE, 135–143. https://doi.org/10.1109/STHERM.2006.1625219

Sökmen, K. F., & Karataş, O. B. (2019, June). Örnek Bir Elektronik Baskı Devresinde Soğutma

Performansını Arttırmak için Kullanılan Via Uygulamasının Jonksiyon Sıcaklığına Etkilerinin Araştırılması. In SETSCI-Conference Proceedings (Vol. 4, pp. 656-659). SETSCI-Conference Proceedings.

Tikadar, A., Hossain, M. M., & Morshed, A. K. M. M. (2016). Numerical investigation of thermal performance of a water-cooled mini-channel heat sink for different chip arrangement. AIP Conference Proceedings, 1754. https://doi.org/10.1063/1.4958398

Wulf, J. (1998). Calculation of Temperature Loads in Headlamps. SAE Transactions, 107, 676–681.

Xiao, C., Liao, H., Wang, Y., Li, J., & Zhu, W. (2017). A novel automated heat-pipe cooling device for high-power LEDs. Applied Thermal Engineering, 111, 1320–1329. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.041

Yang, Y.-T., & Wang, Y.-H. (2012). Numerical simulation of three-dimensional transient cooling application on a portable electronic device using phase change material. International Journal of Thermal Sciences, 51, 155–162. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.08.011

Yerkes, K. L., & Faghri, A. (1992). Mixed convection analysis in large baffled rectangular chambers with internal heat sources. International Journal of Heat and Mass Transfer, 35(5), 1209–1228. https://doi.org/10.1016/0017-9310(92)90180-Z

Yung, K. C., Liem, H., & Choy, H. S. (2014). Heat transfer analysis of a high-brightness LED array on PCB under different placement configurations. International Communications in Heat and Mass Transfer, 53, 79–86. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.02.014

Zhang, X., & Liu, D. (2010). Optimum geometric arrangement of vertical rectangular fin arrays in natural convection. Energy Conversion and Management, 51(12), 2449–2456. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.009

# ÜÇ BOYUTLU ÖKZETİK ÇEKİRDEK YAPILARIN ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

**Emre DİLER**
Fırat Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
emrediler23@hotmail.com-ORCID ID: 0009-0009-1432-3648

**Mustafa GÜR**
Fırat Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
mgur@firat.edu.tr-ORCID ID:0000-0002-4761-0215

## ÖZET

Bu çalışmada, negatif Poisson oranına sahip özel geometrik yapılardan oluşan ökzetik yapıların üretimi ve düşük hızlı darbe davranışı incelenmiştir. Klasik mühendislik malzemelerinden farklı olarak, ökzetik yapılar basma kuvveti altında hem boyuna hem de enine yönde genişleyerek sıra dışı bir deformasyon davranışı sergiler. Bu özellik, bu tür yapılara yüksek enerji absorpsiyonu, darbe dayanımı ve deformasyon kararlılığı gibi avantajlar kazandırmaktadır. Son yıllarda üç boyutlu (3B) hücresel yapılar üzerine yapılan çalışmalarla birlikte, ökzetik yapıların potansiyeli daha da artmıştır. Özellikle, ökzetik yapıların sandviç kompozit yapılarda çekirdek malzeme olarak kullanılmasıyla birlikte, yapıların darbe direnci, burkulma dayanımı ve enerji absorpsiyon özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Bu bağlamda 3B hücre geometrisine sahip ökzetik çekirdek yapılar, 3B yazıcı kullanılarak PLA malzemesi ile üretilmiş ve hazırlanan numuneye düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ökzetik çekirdek yapının vurucu temas bölgesinde lokal hasara sebep olduğunu, geometrisi nedeniyle kırılmaların birim hücre bazlı gerçekleştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üç boyutlu ökzetik yapılar, üç boyutlu yazıcı, PLA, düşük hızlı darbe testi.

# POLİMER KAPLAMA UYGULAMASININ DÜŞÜK YOĞUNLUKLU AHŞAP ESASLI YAPILARIN MEKANİK PERFORMANSINA ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ

**Nisanur TAŞTAN[1]**

[1]Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Müh. ABD, Malatya, Türkiye
[1]nisanurtastan44@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-3437-6204

**Dr. Ögr. Üyesi Tuğberk ÖNAL [2]**

[2]Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Malatya, Türkiye
[2] tugberk.onal@ozal.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3491-7939

**Dr. Ögr. Üyesi Serhat AKSUNGUR[3]**

[3]Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Arapgir Meslek Yüksekokulu, Malatya, Türkiye
[3]serhat.aksungur@ozal.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9707-3799

## ÖZET

Ahşap malzemeler, düşük yoğunlukları, kolay işlenebilirlikleri ve sürdürülebilir yapıları nedeniyle mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle yüksek özgül dayanım ve düşük ağırlık gerektiren yapısal uygulamalarda önemli bir kullanım alanına sahiptir. Ancak doğal hücresel yapılarından kaynaklanan heterojenlik ve sınırlı yük taşıma kapasiteleri, mekanik performanslarını kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle, ahşap malzemelerin yüzey modifikasyonu ve kaplama uygulamalarıyla mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, düşük yoğunluk ve yüksek özgül dayanım özellikleri sayesinde tercih edilen balsa odununun mekanik dayanımı, farklı kalınlıklardaki epoksi kaplama uygulamaları ile deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı kalınlıklarda uygulanan epoksi kaplamanın balsa odununun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Kaplamasız ve farklı kaplama kalınlıklarına sahip numunelere çekme testleri uygulanmış, kopma davranışları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Balsa odununun çekme mukavemeti 23,16 MPa olarak belirlenmiş ve bu değer referans alınarak sayısal analizlerde bu değerin aşılması durumunda malzemenin hasara uğradığı kabul edilmiştir. Kaplamasız ile kaplamalı numunelerdeki kritik hasar yükleri tespit edilmiştir.

Deneysel sonuçlar, farklı kalınlıklardaki epoksi kaplama uygulamalarının kopma yükünü kaplamasız numuneye kıyasla %43,75 ile %265,63 arasında artırdığını ortaya koymuştur. Artan kaplama kalınlığı ile birlikte dayanımda düzenli bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca sonlu

elemanlar analizi ile elde edilen gerilme dağılımı sonuçları, kaplama uygulamasının yük transferini iyileştirerek gerilme yığılmalarını azalttığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, epoksi kaplamanın balsa odununun mekanik performansını önemli ölçüde artırdığını ve kaplama kalınlığının mekanik performansın iyileştirilmesinde kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler**: Balsa, Kaplama, Çekme, Epoksi, sonlu elemanlar analizi.

## NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYMER COATING APPLICATION ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF LOW-DENSITY WOOD-BASED STRUCTURES

## ABSTRACT

Wood materials are widely preferred in engineering applications due to their low density, ease of machinability, and sustainable structure. Particularly in structural applications requiring high specific strength and low weight, the mechanical durability of wood-based materials is one of the fundamental parameters determining service performance. However, their heterogeneous structure resulting from their natural cellular composition and their limited load-bearing capacity may restrict their mechanical performance. Therefore, improving the mechanical performance of wood materials through surface modification and coating applications has emerged as an important research topic.

In this study, the mechanical strength of balsa wood, which is preferred due to its low density and high specific strength properties, was investigated using experimental and numerical methods through epoxy coating applications with different thicknesses. Within the scope of the study, the effects of epoxy coatings applied at different thicknesses on the mechanical properties of balsa wood were examined using both experimental and numerical approaches. Tensile tests were performed on uncoated specimens and specimens with different coating thicknesses, and their fracture behaviors were comparatively evaluated. The tensile strength of balsa wood was determined as 23.16 MPa, and this value was taken as a reference in numerical analyses; when this value was exceeded, the material was assumed to have failed. The critical failure loads of both uncoated and coated specimens were determined.

Experimental results revealed that epoxy coating applications with different thicknesses increased the fracture load by between 43.75% and 265.63% compared to the uncoated specimens. A consistent increase in strength was observed with increasing coating thickness. Furthermore, stress distribution results obtained from finite element analysis showed that the coating application improved load transfer and reduced stress concentrations. The findings demonstrate that epoxy coating significantly enhances the mechanical performance of balsa wood and that coating thickness is a critical parameter in improving mechanical performance.

**Keywords:** Balsa wood, veneer, tensile strength, epoxy, finite element analysis.

## 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin kullandığı en eski ve çok yönlü yapı malzemelerinden biri olan ahşap; ağaçsı bitkilerin gövde ve dallarından elde edilen, karmaşık hücresel yapıya sahip doğal bir mühendislik malzemesidir [1]. Ahşap malzemeler yüksek özgül dayanımları, düşük yoğunlukları, kolay işlenebilirlikleri ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilmeleri nedeniyle mühendislik uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir [2]. Özellikle havacılık, denizcilik, otomotiv ve hafif yapı uygulamalarında düşük ağırlık ile yeterli mekanik dayanımın bir arada sağlanabilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır [2]. Bununla birlikte, doğal hücresel yapılarından kaynaklanan heterojenlik, anizotropik mekanik davranış ve sınırlı yük taşıma kapasiteleri, ahşap malzemelerin performansını kısıtlayan temel faktörler arasında yer almaktadır [1].

Ahşap esaslı malzemeler içerisinde balsa odunu, oldukça düşük yoğunluğu ve hücresel yapısı sayesinde çok yüksek özgül dayanım-ağırlık oranına sahip olup özellikle hafif yapısal uygulamalarda öne çıkan doğal bir mühendislik malzemesidir [3,4]. Hücresel katı yapılar içerisinde değerlendirilen balsa odunu, düşük yoğunluğu nedeniyle düşük mutlak dayanım göstermekle birlikte, özgül mekanik performansı açısından önemli bir potansiyele sahiptir [3]. Bu nedenle mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik yüzey iyileştirme ve kaplama uygulamaları önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Epoksi reçineler, epoksit grupları içeren termoset polimerler olup, genellikle iki bileşenli (reçine ve sertleştirici) sistemler halinde kullanılan mühendislik polimerleridir [5]. Kürleşme süreci sonucunda üç boyutlu çapraz bağlı bir ağ yapısı oluşturarak yüksek mekanik dayanım, üstün yapışma kabiliyeti ve kimyasal direnç kazanmaktadır [5]. Düşük çekme büzülmesi ve farklı yüzeylere yüksek aderans gösterebilmesi nedeniyle kaplama, yapıştırıcı ve kompozit uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Yapıştırıcı sistemlerde aderans, iki farklı malzeme arasındaki arayüzey bağlanma kuvvetlerini ifade etmekte olup yük transferi açısından kritik bir parametredir [5].

Ahşap malzemelerin mekanik performansının iyileştirilmesi amacıyla yüzey modifikasyonu ve kaplama teknikleri önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [2]. Özellikle polimer esaslı kaplamalar, ahşap yüzeyinde koruyucu ve yük transferini iyileştirici bir tabaka oluşturarak gerilme yığılmalarını azaltmakta ve mekanik dayanımı artırmaktadır [2,5]. Bu kapsamda epoksi reçineler, yüksek aderans kabiliyetleri ve mekanik özellikleri sayesinde ahşap esaslı malzemelerin performans geliştirilmesinde etkin bir kaplama malzemesi olarak öne çıkmaktadır [5].

Balsa odunu, düşük yoğunluğu ve yüksek özgül dayanımı nedeniyle hafif yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan doğal bir lignoselülozik malzemedir. Bununla birlikte hücresel yapısının yüksek poroziteye sahip olması, mekanik dayanımının yoğunluk dağılımına bağlı olarak değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Ahşabın bu heterojen yapısı, özellikle yüzey modifikasyonu ve kaplama uygulamalarında mekanik davranış üzerinde belirleyici rol oynamaktadır [6].

Ahşap malzemelerin yüzey özellikleri; hücre boşlukları, damar yapısı ve yüzey pürüzlülüğü gibi anatomik faktörlerden etkilenmektedir. Bu özellikler, kaplama malzemesinin yüzeye nüfuz etmesini ve arayüzey aderansını doğrudan belirlemektedir [6], [7]. Özellikle düşük yoğunluklu türlerde, yüzey boşluklarının polimerik malzemeler tarafından doldurulması yüzey yoğunluğunda artış sağlayabilmektedir [7].

Epoksi reçineler, yüksek yapışma dayanımı, düşük büzülme oranı ve iyi mekanik performansları nedeniyle ahşap yüzey modifikasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Ahşap-polimer arayüzeyinde oluşan mekanik kenetlenme, uygulanan kaplamanın yüzey sertliği ve rijitlik üzerinde iyileştirici etkiler göstermesine olanak sağlamaktadır [8].

Balsa odununun epoksi esaslı kompozit sistemlerde çekirdek malzeme olarak kullanıldığı deneysel çalışmalar, epoksi destekli yapıların mekanik performansının önemli ölçüde iyileştirilebildiğini göstermektedir. Tüfekçi, M. vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karbon fiber-epoksi-balsa sandviç yapıların düşük şekil değiştirme hızlarında eğilme davranışı incelenmiş ve epoksi esaslı yüzey katmanlarının yapısal rijitlik ve dayanım üzerinde belirgin katkı sağladığı rapor edilmiştir [9]. Bu çalışma, balsa ile epoksi arasındaki arayüzey etkileşiminin mekanik performans açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Ahşap modifikasyonu üzerine yapılan temel çalışmalar, polimer penetrasyonunun hücre lümenlerini doldurarak mekanik özellikleri iyileştirebildiğini ortaya koymaktadır [7, 8]. Bununla birlikte bu iyileşmenin uygulanan kaplama kalınlığına, reçinenin viskozitesine ve ahşabın başlangıç yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir [8].

Sandviç kompozit yapılar, iki ince ve rijit yüzey tabakası ile düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemeden oluşur. Bu yapılandırma, yüzey tabakalarının çekme ve basma gerilmelerini, çekirdek malzemenin ise kesme gerilmelerini taşıması sayesinde eğilme rijitliğini önemli ölçüde geliştirmektedir. Zenkert (1995), sandviç yapıların performansının büyük ölçüde çekirdek malzemenin kesme modülü ve yüzey-çekirdek arayüzey bağlanmasına bağlı olduğunu belirtmiştir. Balsa odunu, sandviç kompozit yapılarda düşük yoğunluklu fakat yeterli kesme dayanımına sahip doğal bir çekirdek malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [10].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada epoksi reçine ile kaplanan balsa odununun mekanik davranışındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis, FEA) yöntemi ile incelenmiştir. Sayısal analizler ANSYS yazılımı ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çekirdek malzeme olarak balsa odunu kullanılmıştır. Balsa odununa ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Kaplama malzemesi olarak Epoksi Reçine kullanılmıştır. Balsa odunu ve epoksi reçineye ait gerekli fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Balsa odunu numunelerine 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 mm kalınlığında epoksi reçine kaplaması yapılmıştır.

**Çizelge 1. Balsa odunu mekanik ve fiziksel özellikleri [11].**

| Yoğunluk ($kg/m^3$) | Çekme Mukavemeti (MPa) | Basma Mukavemeti (MPa) | Kayma Mukavemeti (MPa) |
|---|---|---|---|
| 170 | 23,16 | 17,32 | 3,29 |

**Çizelge 2. Epoksi reçine mekanik ve fiziksel özellikleri*.**

| Yoğunluk ($kg/m^3$) | Elastisite Modülü (MPa) | Poisson Oranı | Hacim Modülü (MPa) | Kayma Modülü (MPa) | Akma Dayanımı (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1160 | 3780 | 0,35 | 4200 | 1400 | 54,6 |

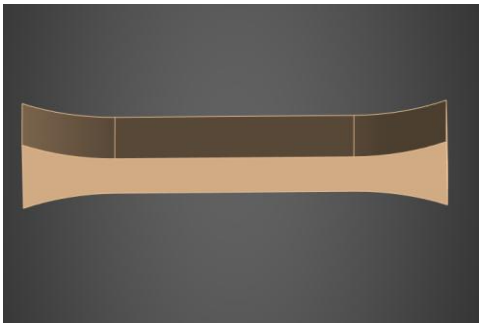
**Değerler ANSYS programı Engineering Data parametreler tablosundan alınmıştır.*

## 2.1. Modelleme

Çalışmada epoksi kaplama uygulanmış balsa numunesinin çekme yükü altındaki mekanik davranışı "Sonlu Elemanlar Yöntemi" kullanılarak incelenmiştir. Sayısal analizler ANSYS Workbench ortamında gerçekleştirilmiştir. Numune geometrisi Görsel 1'de gösterilmiş olup model, ilgili çekme testi standartları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Analizlerde üç boyutlu katı elemanlar kullanılmıştır.

Balsa ahşabı alt tabaka malzemesi olarak tanımlanırken epoksi reçine numunenin dış yüzeyine homojen bir kaplama tabakası şeklinde uygulanmıştır. Kaplama ve alt tabaka arasında tam yapışma (bonded contact) kabul edilerek ara yüzeyde herhangi bir ayrılma veya kayma oluşmadığı varsayılmıştır. Malzeme davranışları doğrusal elastik olarak tanımlanmış ve literatürde yaygın olarak kullanılan mekanik özelliklerden yararlanılmıştır.

Epoksi kaplama kalınlığının numunenin mekanik performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla parametrik bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda kaplama kalınlığı 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm ve 3 mm olacak şekilde değiştirilmiş ve her bir durum için ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde numunenin bir ucu sabitlenirken diğer ucuna eksenel çekme yükü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar toplam deformasyon, eşdeğer gerilme (Von Mises gerilmesi) ve gerinim dağılımları açısından değerlendirilerek kaplama kalınlığının mekanik davranış üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır.



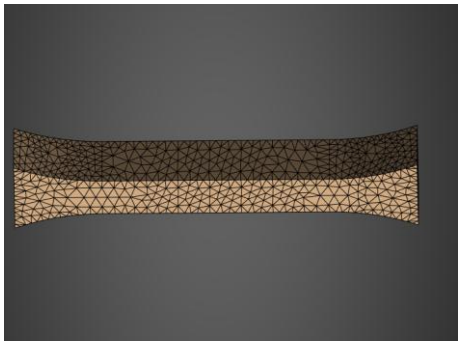
**Görsel 1- Sayısal analizlerde kullanılan epoksi kaplamalı numune geometrisi**

## 2.2. Malzeme Özellikleri

Balsa odunu için ortotropik malzeme modeli kullanılmıştır. Malzemenin elastik mekanik özellikleri (elastisite modülleri, Poisson oranları ve kayma modülleri) literatürden alınarak Engineering Data parametreler tablosuna eklenmiş ve modele tanımlanmıştır. Epoksi kaplama ise izotropik, doğrusal elastik malzeme olarak kabul edilmiştir.

## 2.3. Ağ (Mesh) Yapısı

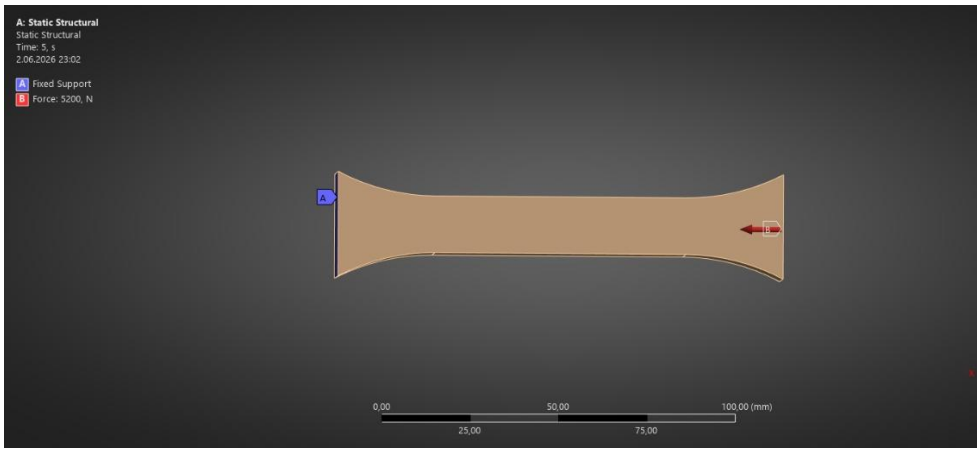
Model, ANSYS ortamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak üç boyutlu olarak ağ (mesh) yapısına ayrılmıştır. Ağ modellemesinde tetrahedral (dörtyüzlü) elemanlar tercih edilmiştir. Görsel 2'de yüzey üzerinde görülen üçgensel elemanlar, tetrahedral hacim elemanların yüzeylerini temsil etmektedir. Kaplama–ahşap arayüzeyinde oluşması muhtemel yüksek gerilme gradyentlerinin doğru şekilde yakalanabilmesi amacıyla bu bölgelerde ağ yoğunluğu artırılmıştır. Modelde referans ağ boyutu 2 mm olarak tanımlanmış olup, bu parametre tetrahedral elemanların karakteristik uzunluk ölçeğini ifade etmektedir. Görsel 2'de oluşturulan mesh yapısına ait örnek görünüm sunulmaktadır.



**Görsel 2 –Ağ (mesh) yapısı**

## 2.4. Sınır Şartları ve Yükleme

Sonlu elemanlar modelinde numunenin bir ucu tamamen ankastre (sabit mesnet) olarak tanımlanmış, böylece bu bölgede tüm yer değiştirme ve dönme serbestlikleri kısıtlanmıştır. Numunenin karşı ucuna ise çekme deneyi koşullarını temsil edecek şekilde eksenel doğrultuda çekme yükü uygulanmıştır. Yükleme, malzemenin lineer elastik davranış gösterdiği kabulü altında kademeli olarak artırılmış ve numunenin gerilme – şekil değiştirme tepkisi incelenmiştir. Bu sınır şartları sayesinde deneysel çekme testlerinde oluşan yükleme durumu sayısal ortama aktarılmıştır. Analiz süresince yükün numune boyunca homojen şekilde iletildiği ve kaplama ile ahşap arasındaki ara yüzeyde tam yapışma koşulunun sağlandığı varsayılmıştır. Görsel 3'te modele uygulanan sınır şartları ve yükleme durumu gösterilmektedir.




**Görsel 3- Sonlu elemanlar modelinde uygulanan sınır şartları ve yükleme durumu**

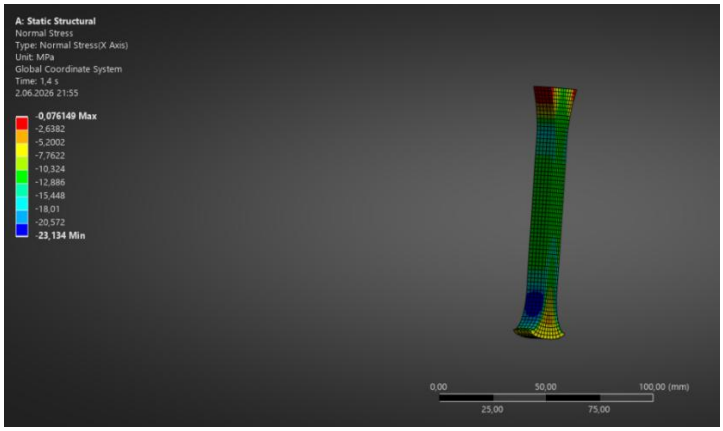
### 2.5. Analiz ve Değerlendirme

Analizlerde normal gerilme (normal stress) dağılımı incelenmiştir. Epoksi kaplama kalınlığının balsa ahşabındaki gerilme dağılımı üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca maksimum gerilme bölgeleri ve gerilme yoğunlaşmaları analiz edilmiş, kritik hasar oluşumuna yatkın olan bölgeler analiz edilmiştir.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

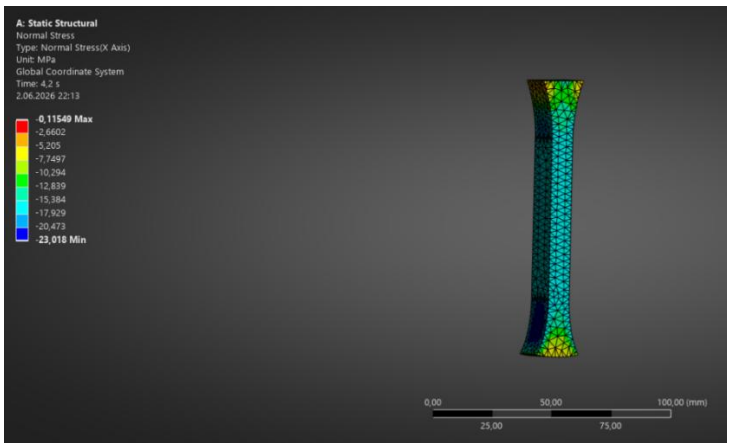
ANSYS Workbench ortamında gerçekleştirilen çekme analizleri sonucunda, epoksi kaplama kalınlığındaki artışın balsa ahşabının yük taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan ve belirgin bir iyileştirici etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulanan kuvvetler kademeli olarak artırılmış ve her model için kopma noktası esas alınarak değerlendirme yapılmıştır.

Kaplamasız balsa numunesine uygulanan yükleme sonucunda numunenin 1280 N kuvvet altında koptuğu belirlenmiştir (Görsel 4). Bu sonuç, kaplamasız balsa yapısının çekme yükleri altında sınırlı taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.



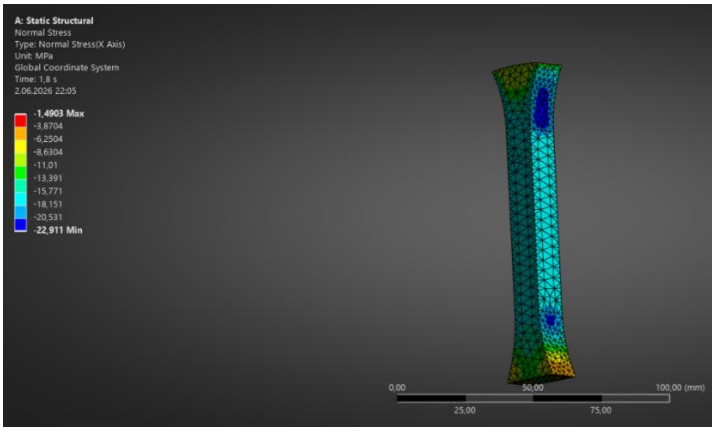

**Görsel 4- Kaplamasız balsa numunesine uygulanan yükleme sonucu**

0,5 mm epoksi kaplama uygulanan modelde kopma yükü 1840 N olarak belirlenmiştir (Görsel 5). Kaplamasız numuneye kıyasla elde edilen bu artış ince epoksi tabakasının yüzey bütünlüğünü güçlendirerek uygulanan yükün transfer mekanizmasını iyileştirdiğini ve mekanik dayanımı artırdığını ortaya koymaktadır.

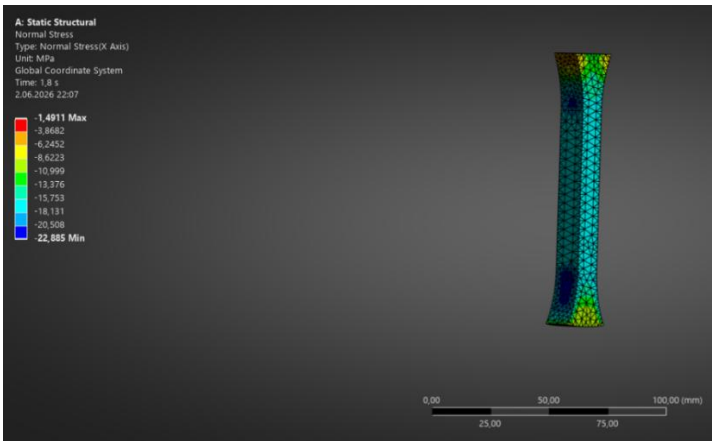


**Görsel 5- 0,5 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**

Kaplama kalınlığının 1 mm'ye çıkarılmasıyla kopma yükünün 2360 N seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir (Görsel 6). Benzer şekilde 1,5 mm kaplamalı modelde kopma yükü 2900 N olarak gözlemlenmiştir (Görsel 7). Bu sonuçlar, kaplama kalınlığındaki artışa bağlı olarak çekme yüklerinin numune boyunca daha etkin dağıldığını göstermektedir.

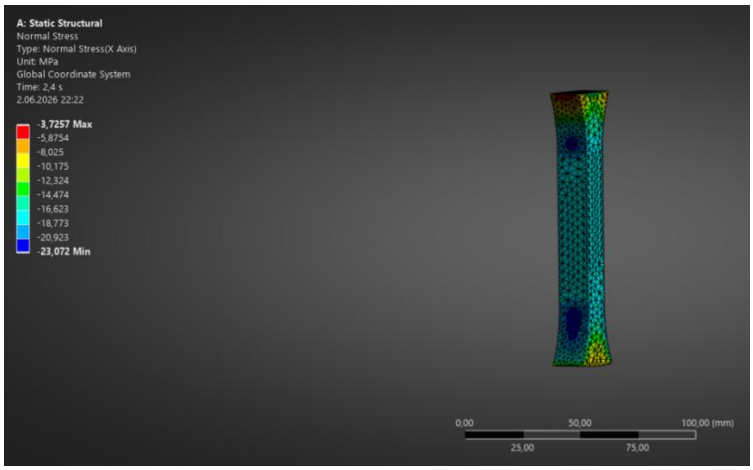



**Görsel 6- 1 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**

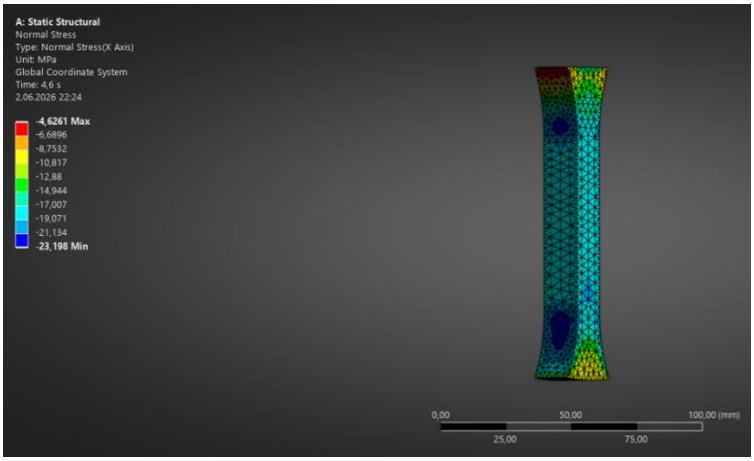



**Görsel 7- 1,5 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**

2 mm kaplama kalınlığında numune 3480 N yük altında koparken, 2,5 mm kaplamalı modelde kopma yükü 4080 N olarak gözlemlenmiştir (Görsel 8 ve Görsel 9). Bu aşamada epoksi kaplamanın yapısal rijitliği artırıcı etkisinin daha belirgin hale geldiği ve gerilme transferinin daha homojen gerçekleştiği görülmüştür.

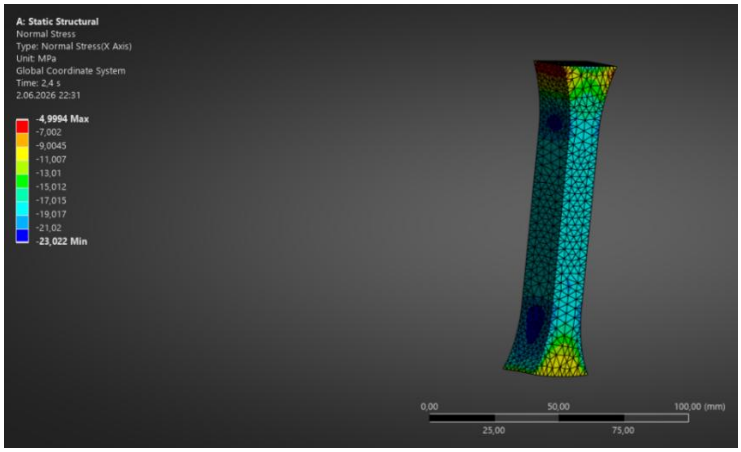



**Görsel 8- 2 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**




**Görsel 9- 2,5 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**

Çalışmada en yüksek mekanik performans 3 mm kaplama kalınlığında elde edilmiştir. Bu modelde uygulanan yükleme sonucunda numune 4680 N kuvvet altında kopmaya uğramıştır (Görsel 10). Bu değer, kaplamasız numuneye kıyasla yaklaşık 3,66 kat daha yüksek dayanım artışı sağlamaktadır.

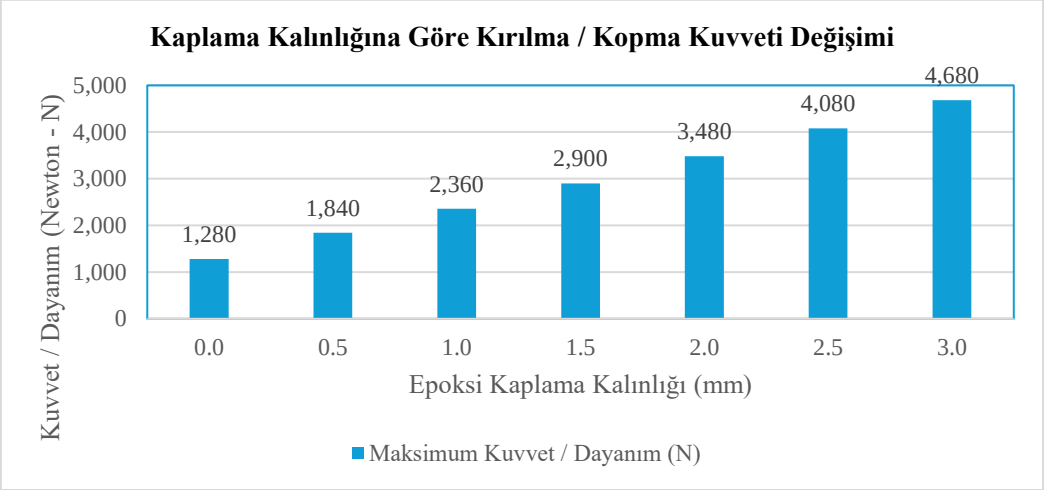



**Görsel 10- 3 mm epoksi kaplama uygulanan model yükleme sonucu**

ANSYS Workbench ortamında gerçekleştirilen kademeli çekme yükü analizlerinden elde edilen kopma yükü sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

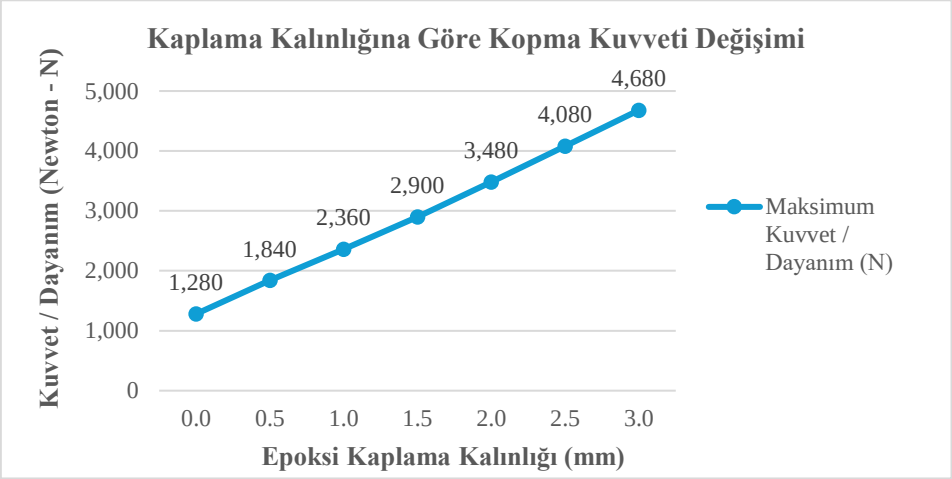
**Çizelge 3 – Kopma Yükü Sonuçları**

| Kaplama Kalınlığı (mm) | Kopma Kuvveti (N) | Dayanım Artış Oranı (%) |
|---|---|---|
| 0 (Kaplamasız) | 1280 | Referans noktası |
| 0.5mm Epoksi Kaplama | 1840 | %+43,7 |
| 1.0mm Epoksi Kaplama | 2360 | %+84,3 |
| 1.5mm Epoksi Kaplama | 2900 | %+126,5 |
| 2.0mm Epoksi Kaplama | 3480 | %+171,8 |
| 2.5mm Epoksi Kaplama | 4080 | %+218,7 |
| 3.0mm Epoksi Kaplama | 4680 | %+265,6 |




**Görsel 11- Gerinme / Kalınlık Grafiği**

Elde edilen bulgular, epoksi kaplama kalınlığı arttıkça balsa odununun çekme dayanımının kademeli olarak yükseldiğini açıkça göstermektedir (Görsel 11). Yapılan analizler sonucunda, epoksi kaplama kalınlığının artırılmasının balsa ahşabının mekanik performansını deneysel veriler kapsamında anlamlı düzeyde iyileştirdiği ve özellikle yüksek yük taşıma kapasitesi gerektiren mühendislik uygulamaları açısından performans artışı sağladığı, aynı zamanda gerilme yığılmalarını azaltarak yük transferini daha homojen hale getirdiği belirlenmiştir.




**Görsel 12 – Gerinme / Kalınlık Eğrisi**

ANSYS sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemiyle gerçekleştirilen kademeli yükleme testleri, balsa odununun dış yüzeyine uygulanan epoksi reçine kaplama kalınlığının, yapının toplam yük taşıma kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Test edilen numunelere ait deneysel kopma kuvvetleri Görsel 12'de sunulmuştur.

Grafik incelendiğinde, herhangi bir takviye içermeyen ham balsa numunesinin 1280 N seviyesinde yapısal bütünlüğünü kaybederek kırıldığı görülmektedir. Ancak malzemeye uygulanan en ince epoksi kaplama (0,5 mm) dahi kopma eşiğini 1840 N seviyesine çıkarmış ve ham numuneye kıyasla %43.75 oranında mukavemet artışı sağlamıştır. Kaplama kalınlığı 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm ve 2,5 mm kalınlıklarına çıkarıldığında sırasıyla 2360 N, 2900 N, 3480 N ve 4080 N kopma değerleri elde edilmiştir. Çalışmada ulaşılan maksimum mekanik dayanım ise 3,0 mm epoksi kaplamalı numunede 4680 N olarak elde edilmiştir.

### 3.1. Matematiksel Modelleme ve Regresyon Analizi

ANSYS analizlerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi anlamlandırmak ve gelecekteki tasarımlara yönelik bir öngörü modeli oluşturmak amacıyla doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Elde edilen kaplama kalınlığı ile kopma yükü arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model Denklem (1)' de verilmiştir.

$$y = 1128.57x + 1252.86 \qquad (1)$$

Bu doğrusal denklem modelinde y değeri kopma yükünü (N), x ise epoksi kaplama kalınlığını (mm) temsil etmektedir.

ANSYS analizlerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi nicel olarak değerlendirmek ve gelecekteki tasarım uygulamalarına yönelik öngörü modeli geliştirmek amacıyla doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Elde edilen epoksi kaplama kalınlığı ile kopma yükü arasındaki ilişki Denklem (1) ile ifade edilmiştir. Regresyon analizi sonuçları, epoksi kaplama kalınlığı ile kopma yükü arasında güçlü bir doğrusal ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Denklem (1)'de yer alan pozitif eğim katsayısı, kaplama kalınlığındaki artışın kopma yükünü sistematik olarak artırdığını göstermektedir. Model için hesaplanan $R^2 = 0,9993$ değeri, oluşturulan matematiksel modelin sonlu eleman analizlerinden elde edilen verileri yüksek

doğrulukla temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, epoksi kaplama kalınlığının balsa odununun çekme performansını belirleyen temel parametrelerden biri olduğunu göstermektedir.

## 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı kalınlıklarda uygulanan epoksi reçine kaplamasının balsa odununun çekme davranışı üzerindeki etkileri sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, epoksi kaplamanın balsa odununun mekanik performansını belirgin şekilde artırdığını göstermiştir.

Kaplamasız numunede kopma yükü 1280 N olarak belirlenirken, kaplama kalınlığındaki artışa bağlı olarak bu değerin lineer olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük kaplama kalınlığı olan 0,5 mm'de kopma yükü 1840 N'ye ulaşarak %43,75 artış göstermiş, 3 mm kaplama kalınlığında ise 4680 N'ye çıkarak %265,63 oranında artış elde edilmiştir. Bu artış, epoksi tabakasının yük taşıma mekanizmasına etkin şekilde katıldığını ve yapısal rijitliği artırdığını ortaya koymaktadır.

Gerilme dağılımı analizleri, kaplama kalınlığının artmasının yalnızca taşıma kapasitesini yükseltmekle kalmadığını, aynı zamanda gerilme yığılmalarını azaltarak yük transferini daha homojen hale getirdiğini göstermiştir. Özellikle kaplama–ahşap arayüzeyindeki aderans, gerilmenin daha dengeli dağılmasında etkili olmuştur.

Doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen yüksek korelasyon katsayısı ($R^2 = 0,9993$), kaplama kalınlığı ile kopma yükü arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, kaplama kalınlığının mekanik performans için kritik bir tasarım parametresi olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, epoksi kaplama uygulamasının balsa odununun çekme dayanımını önemli ölçüde artırdığı ve kaplama kalınlığının performans optimizasyonunda belirleyici bir değişken olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, düşük yoğunluklu ahşap esaslı malzemelerin yüzey takviyesi ile mühendislik uygulamalarında daha etkin şekilde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

## KAYNAKÇA

[1] Bodig, J., & Jayne, B. A., *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold, 1982.
[2] Forest Products Laboratory, *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material* (FPL-GTR-190). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2010.
[3] Gibson, L. J., & Ashby, M. F., Cellular Solids: Structure and Properties (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

[4] Ashby, M. F., *Materials Selection in Mechanical Design* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann, 2006.
[5] May, C. A., *Epoxy Resins: Chemistry and Technology*. Marcel Dekker INC., New York, 1988.
[6] USDA Forest Products Laboratory. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison, Wisconsin, 2021.
[7] Rowell, R. M.. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, 2012.
[8] Hill, C. A. S.. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons, 2006.
[9] Tüfekci, M., Öztekin, V., Pir, İ., et al., "Low strain rate mechanical performance of balsa wood and carbon fibre-epoxy-balsa sandwich structures," *Composites Part C: Open Access*, 12, 100416, 2023.
[10] Zenkert, D., *An Introduction to Sandwich Construction*. Engineering Materials Advisory Services Ltd, 1995.
[11] Önal, T., & Temiz, Ş., Bio Çekirdekli Sandviç Yapıların Kenar Basma Mukavemeti Davranışlarının Araştırılması. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(14), 142-153, 2021. https://izlik.org/JA25ZD64BF

# SEM-EDX YÖNTEMİ İLE ATIŞ ARTIKLARINDA MESAFE TAYİNİ

**Muammer AKGÜL**
Hitit Üniversitesi
muammerakgul_05@hotmail.com - 0009-0003-0757-1287

**Prof. Dr. Erol ALVER**
Hitit Üniversitesi,
erolalver@hitit.edu.tr- 0000-0002-6010-6910

## ÖZET

Atış, silahın ateşlenmesiyle merminin namludan çıkması sürecidir. Bu esnada barut ve kapsülün yanmasıyla oluşan metalik parçacıklara ise atış artığı denir. Adli vakalarda, suçun ve suçlunun tespiti ile cezai yaptırımların uygulana bilmesi için atış mesafesinin tam olarak belirlenmesi önemlidir. Bu çalışma kapsamında, tekstil yüzeyi üzerine belirli mesafelerde atış yapılarak, kumaş üzerindeki kalan atış artığı miktarları SEM-EDX yöntemi incelenmiştir. Tekstil yüzeyi olarak, günlük hayatta herkes tarafından tercih edilen denim kumaş kullanılmıştır. Atış için, 7x65mm ve 9x19mm fişek tipleri seçilmiştir. Farklı mesafelerde, mesafenin artışına bağlı olarak atış artıkları miktarlarında azalma tespit edilmiştir. Baryum kurşun antimon bileşeni (Pb-Ba-Sb) ve kurşun (Pb) elementlerinin tanecik sayılarının uzaklığa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. 9x19 mm fişek tipi ile farklı uzaklıklarda yapılan atışlarda, kumaş üzerinden alınan svaptaki baryum kurşun antimon bileşeni; sırasıyla 1583, 1042, 667, 544, 293, 120 ve 27 tanecik olarak bulunmuşken; 7x19 mm fişek tipinde 4019, 3367, 2719, 572, 468, 642 ve 731 tanecik olarak bulunmuştur. 9x19 mm fişek tipi ile farklı uzaklıklarda yapılan atışlarda, kumaş üzerinden alınan svaptaki kurşun (Pb); sırasıyla 1467, 1190, 244, 241, 223, 130 ve 42 tanecik olarak bulunmuşken, 7x19 mm de 4170, 6683, 1256, 269, 623, 137 ve 187 tanecik olarak bulunmuştur. Buna göre, mesafe arttıkça tanecik sayılarında azalma görüldüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atış artığı, atış mesafesi, denim kumaş, fişek tipi

# ENHANCEMENT OF THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF BULK $MgB_2$ BY MAGNESIUM STEARATE ADDITION

**Assoc. Prof. Özge ERDEM**
Bayburt University, Vocational School of Health Service
Department of Medical Services and Techniques, Opticianry Pogram
69000, Bayburt, Türkiye
ozgeerdem@bayburt.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-4542-941X

## ABSTRACT

This study investigated the influence of magnesium stearate ($C_{36}H_{70}MgO_4$) addition on the superconducting properties of bulk $MgB_2$. For this aim, bulk $MgB_2$ containing 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ relative to 1 g of $MgB_2$ were synthesized via in-situ reaction method. The microstructural, magnetic and electrical properties of the samples were characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Physical Property Measurement System (PPMS), and Vibrating Sample Magnetometer (VSM).

XRD analysis confirmed that $MgB_2$ as the main phase in all samples. The MgO secondary phase content increased and the value of a-lattice parameter decreased with the $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition, indicating carbon (C) substitution at boron (B) sites within the $MgB_2$ crystal lattice. SEM analysis revealed a denser and more compact microstructure in the $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples compared to the un-doped (reference) sample.

The magnetic moment versus temperature and the resistivity versus temperature measurements demonstrated a gradual decrease in the superconducting transition temperature ($T_c$) with increasing $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition. Magnetisation measurements at 5 K and 20 K showed a significant enhancement in the critical current density ($J_c$) for the $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples. The $J_c$ values at 5 K and 3 T were obtained as $2.31\times10^4$ A/cm$^2$, $3.35\times10^4$ A/cm$^2$ and $3.67\times10^4$ A/cm$^2$ for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples, respectively. Corresponding $J_c$ values at 20 K and 3 T were measured as $7.39\times10^3$ A/cm$^2$, $1.03\times10^4$ A/cm$^2$, $8.92\times10^3$ A/cm$^2$. Although the 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added sample showed the highest $J_c$ value at 5 K, its performance at 20 K was inferior to that of the 5 wt.% doped sample. This behaviour is attributed to the presence of excess residual C and increased MgO phase within the microstructure, which may adversely affect the grain connectivity and the current transport at elevated temperatures.

These results show that the $C_{36}H_{70}MgO_4$ serves as an effective C source for $MgB_2$ and the C released from $C_{36}H_{70}MgO_4$ during the decomposition process supports the formation of additional flux-pinning centres, thereby enhancing the flux pinning capability of bulk $MgB_2$, particularly under applied magnetic fields.

**Keywords:** Superconductivity, $MgB_2$, Magnesium Stearate, Adding.

## 1. INTRODUCTION

Superconductivity is a crucial area of research in addressing the ever-increasing demand in the energy sector and preventing energy crises. Superconducting materials, including NbTi, $Nb_3Sn$, YBCO, REBCO, and $MgB_2$, play a crucial role in a broad range of modern technologies, such as medical imaging, electric power systems, transportation, particle physics, fusion energy, and quantum computing. Their widespread use stems from their unique ability to transport electrical current with zero resistance and to sustain exceptionally high magnetic fields, making them indispensable for high-performance applications.

The widespread application of superconductors is largely determined by the availability of efficient cryogenic cooling technologies and the optimization of the key superconducting properties of the materials, such as upper critical magnetic field ($H_{c2}$), critical current density ($J_c$). and critical temperature ($T_c$). Among the various superconducting materials, $MgB_2$ has attracted considerable attention because of its relatively high $T_c$ among the low temperature superconductors, low material cost, simple crystal structure, and ease of fabrication. However, despite these advantages, the practical application of $MgB_2$ is limited by the rapid degradation of $J_c$ under applied magnetic fields. This behaviour is mainly associated with its relatively low irreversibility field ($H_{irr}$), which originates from insufficient flux pinning due to the lack of effective pinning centres, such as impurities, defects, and lattice disorders. Therefore, improving the superconducting properties of $MgB_2$ is essential for expanding its technological applications and enhancing its performance under operating conditions. In literature, numerous researches were conducted to enhance the superconducting capability of $MgB_2$. Among the various approaches, chemical doping has emerged as one of the most effective methods for enhancing flux pinning of $MgB_2$ by introducing additional pinning centres into the $MgB_2$ matrix. In particular, carbon (C) and carbon-containing compounds have attracted considerable attention because of their ability to enhance the in-field superconducting properties of $MgB_2$ via C substitution at boron (B) sites and the introduction of nanoscale pinning centres [1, 2].

In the present study, magnesium stearate ($C_{36}H_{70}MgO_4$) was employed as adding powder to improve the $MgB_2$ performance. $C_{36}H_{70}MgO_4$ is a metal–organic compound consisting of magnesium mineral and stearic acid (a magnesium salt of stearic acid and a saturated fatty acid), and is characterized by a melting temperature in the range of 130–145°C. It is a white, odourless and greasy powder. It is primarily used as a flow agent and lubricant. The decomposition temperature of $C_{36}H_{70}MgO_4$ generally starts above 300°C. The decomposition of $C_{36}H_{70}MgO_4$ may provide a transient liquid phase which can promote homogeneous distribution and an in situ C source. The released C is expected to partially substitute for B in the $MgB_2$ lattice, leading to enhanced $H_{c2}$ and improved in-field superconducting performance. Simultaneously, carbon-rich secondary phases and structural defects generated during decomposition may act as additional flux pinning centres, thereby enhancing flux pinning capability and $J_c$ under applied magnetic fields. Furthermore, the magnesium supplied by the additive may compensate for Mg loss resulting from evaporation during sintering, which could contribute to improved phase formation, microstructural uniformity and grain connectivity.

## 2. EXPERİMENTAL STUDY

Bulk $MgB_2$ samples containing x wt.% $C_{36}H_{70}MgO_4$ (x = 0, 5, and 10) were fabricated in disk-shaped form with a mass of ~1 g using a pellet/closed-tube method at 850 °C. Magnesium (Mg, 99.8%, Alfa Aesar), amorphous nano-boron (nano-B, >98.5% purity, <250 nm, Pavezyum), and magnesium stearate ($Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$, Alfa Aesar) were used. The powders were mixed and pressed into pellets. Then, the pellets were sintered at 850 °C for 2 h under an argon atmosphere at 1.5 bar pressure. Final bulk samples with $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition were obtained.

To analyse the effect of $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition on the bulk $MgB_2$ performance, the phase composition, microstructural features, and magnetic and electrical properties of the fabricated samples were examined.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

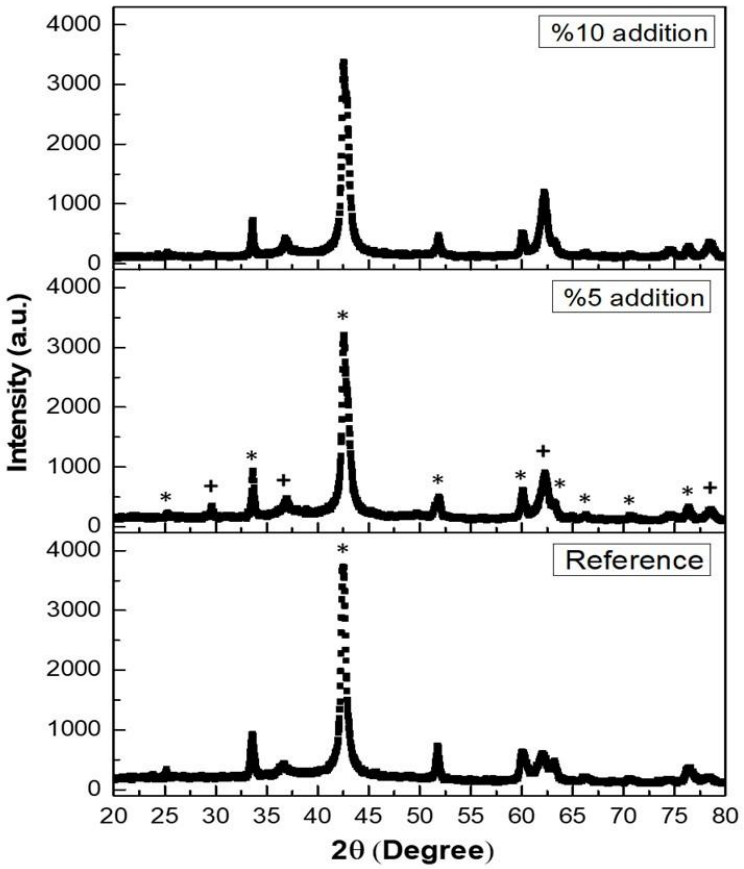



**Figure 1. XRD patterns of the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples. * and + symbols indicate $MgB_2$ and MgO phases, respectively**

Fig.1 shows the XRD patterns of the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples. $MgB_2$ phase is the main phase in all samples. The MgO secondary phase content increased with the $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition. The a and c-lattice parameters were obtained using Rietveld analysis [3]. The value of c-lattice parameter does not show a remarkable change while the value of a-lattice parameter decreased with the addition. The shrinkage of the a-lattice

parameter is a strong evidence for C substitution at B sites [4,5], due to the degradation of the crystallinity and the contraction of the in-plane lattice, as the covalent radii of C is lower than that of B. The level of effective C ($C_{eff}$) was calculated by using the equation of $C_{eff}$ (y wt %), y=7.5xΔ(c/a) [6]. From the $C_{eff}$ values given in Table 1, it can be said that the %10 $C_{36}H_{70}MgO_4$ added sample shows maximum C substitution.

**Table 1. The a and c-lattice parameters, c/a ratio and $C_{eff}$ parameters for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

| | Reference | 5% wt addition | 10% wt addition |
|---|---|---|---|
| a=b (Å) | 3.084 | 3.077 | 3.077 |
| c (Å) | 3.523 | 3.525 | 3.527 |
| c/a | 1.142 | 1.145 | 1.146 |
| $C_{eff}$ (%) | 0 | 2.25 | 3.00 |

The SEM images of the studied samples were shown in Fig.2. SEM analysis revealed that the samples containing $C_{36}H_{70}MgO_4$ additive exhibited a denser and more compact microstructure than the reference sample. Furthermore, the addition of $C_{36}H_{70}MgO_4$ resulted in a more homogeneous and uniform surface morphology, indicating improved microstructural development.

The magnetic moment versus temperature curves, m(T) are presented in Fig. 3. The $T_c$ values were determined from Fig. 3 as 37.55 K, 36.63 K and 36.22 K for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples, respectively. The $T_c$ values gradually decreased with increasing $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition. The increased intra-grain scattering because of C substitution at B sites and the presence of C at grain boundaries are considered to be the main factors responsible for the suppression of $T_c$ for C doped samples [7]. Furthermore, higher MgO content observed in the $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples (see Fig.1) may have also contributed to the decrease of $T_c$ value.

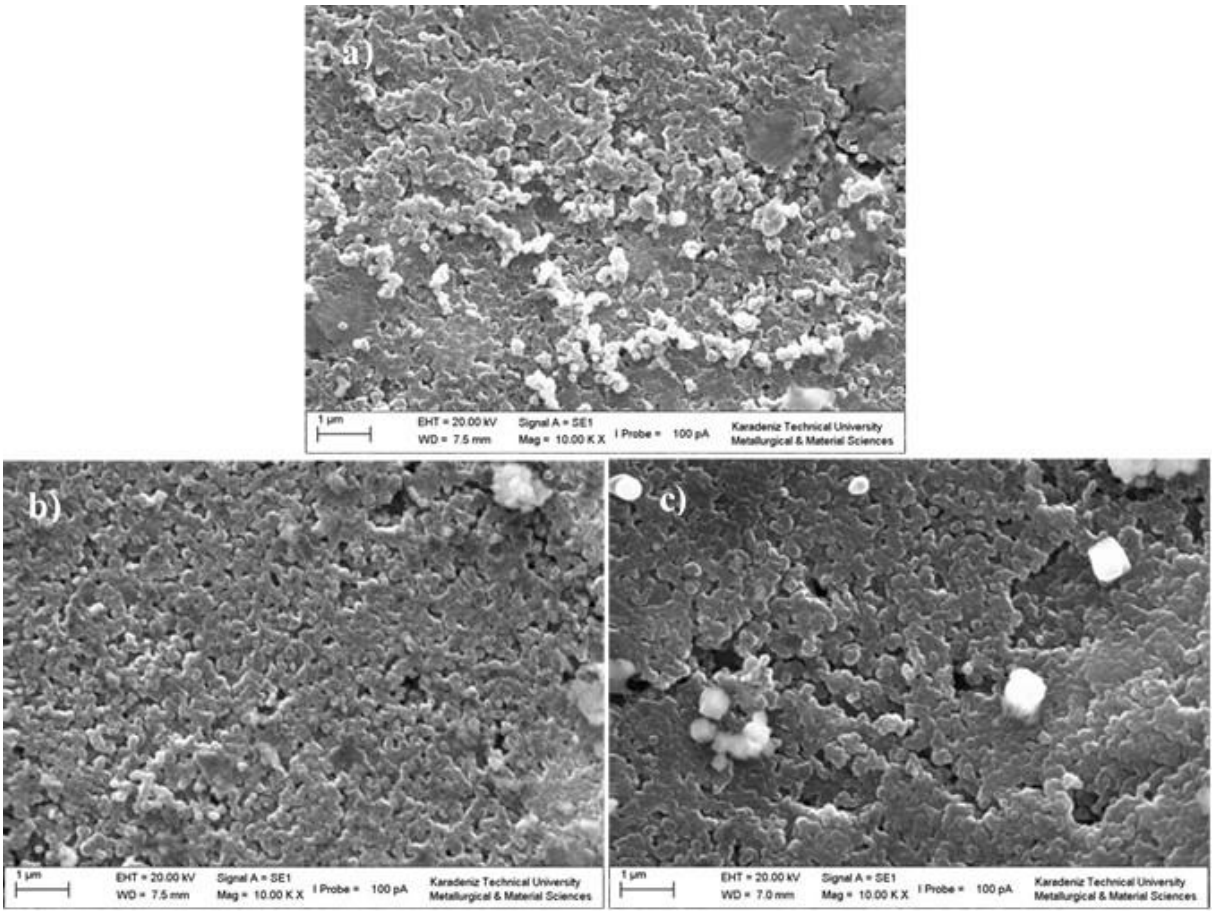



**Figure 2. SEM images of (a) the reference, (b) 5 wt % and (c) 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

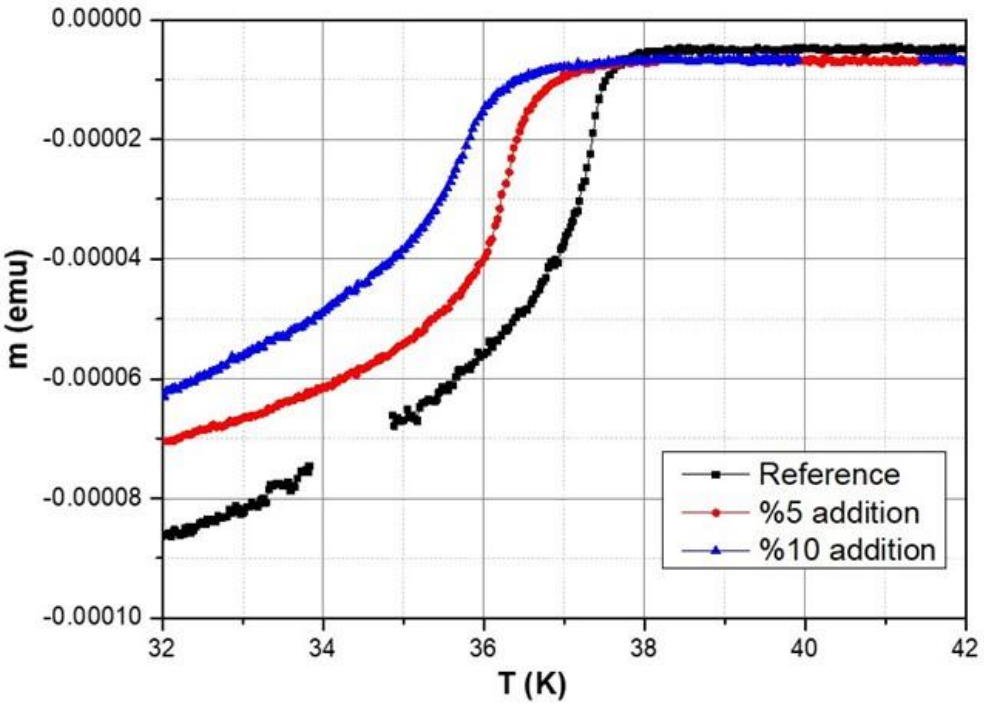



**Figure 3. Magnetic moment versus temperature curves, m(T) for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

Fig. 4 represents the resistivity curves from 300 K to 20 K for the samples in self field. A sharp superconducting transition is observed for all samples from Fig. 4. The $T_c$, residual resistivity ratio (RRR), electrical connectivity ($K$) and intrinsic residual resistivity ($\rho_0$) were calculated from the resistivity data obtained from Fig. 4 and are listed in Table 2. As the $C_{36}H_{70}MgO_4$ addition increases, the $T_c$ values exhibit a gradual decrease, consistent with result obtained from the m(T) curves. For the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples, the $T_c$ values were obtained as 38.30 K, 37.89 K and 36.88 K. While the ρ(T) measurement is governed by the formation of a continuous superconducting electrical connectivity path for current flow, the m(T) measurement reflects the superconducting volume fraction of the material and the Meissner effect. Consequently, the $T_c$ values obtained from magnetic measurements are typically a few K lower than that determined from resistivity measurements.

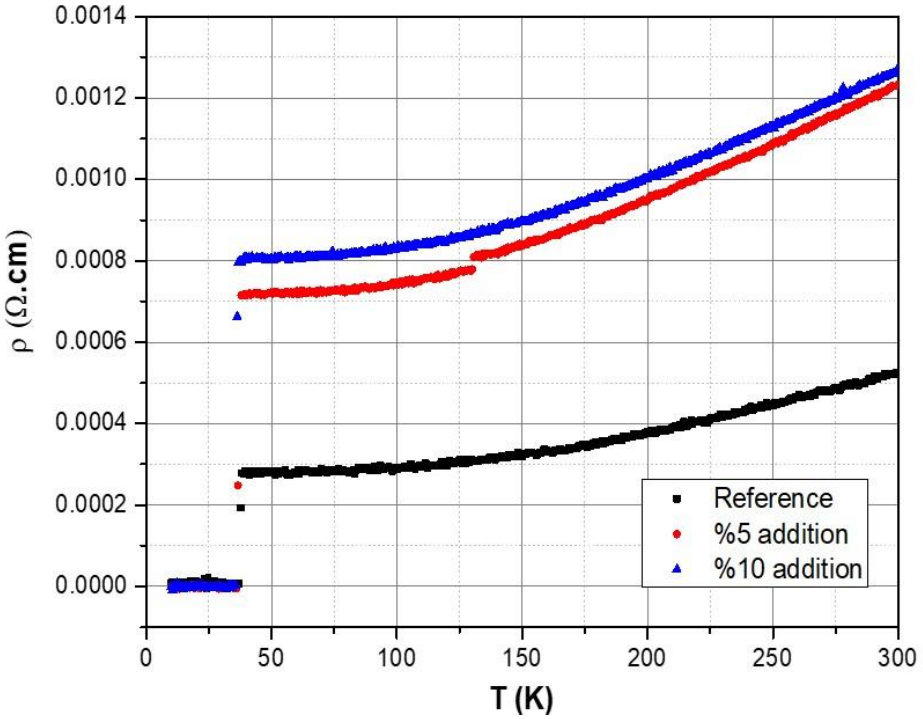



**Figure 4. Resistivity depending on temperature, $\rho$(T) curves in self filed for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

**Table 2. The $T_c$, RRR, $K$ and $\rho_0$ values for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

| | Reference | 5% wt addition | 10% wt addition |
|---|---|---|---|
| **$T_c$ (K)** | 38.30 | 37.89 | 36.88 |
| **RRR** | 1.86 | 1.72 | 1.58 |
| ***K*** | 3.01 | 1.41 | 1.56 |
| **$\rho_0$ (μΩ.cm)** | 8.44 | 10.10 | 12.51 |

The RRR values were calculated using the equation of RRR = $\rho_{300K}/\rho_{40K}$ [8], where $\rho_{300K}$ and $\rho_{40K}$ are the resistivity at 300 K and 40 K, respectively. The lower RRR values for the $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples indicates increased disorder and impurity scattering [9], because of C substitution. The $\rho_0$ values corresponding to the intrinsic residual resistivity of $MgB_2$ phase, were estimated by using the equation of $\rho_0 = K \times \rho(40\ K)$ [10] to predict the mean free path. Here, $K$ is the electrical connectivity describing how effectively the superconducting regions are interconnected to provide a continuous current path. It is defined as $K = \Delta\rho g/\Delta\rho$, where $\Delta\rho = \rho_{300K} - \rho_{40K}$ is the phonon term electrical resistivity, and $\Delta\rho g$ is the corresponding value for a high quality pure single crystal of good quality [11]. As shown in Table 2, while the $K$ values decrease, the $\rho_0$ values increase with increasing $C_{36}H_{70}MgO_4$ content. Higher $\rho_0$ values are generally associated with more electron scattering because of the increased lattice strain [12]. It also implies increased inter-grain and intra-grain defects [13]. Consequently, the electron mean free path is expected to decrease in the $C_{36}H_{70}MgO_4$-added samples.

Fig. 5 shows the magnetisation versus magnetic field, M($\mu_0$H) curves between ±7 T at 5 K and 20 K for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples. The thermomagnetic flux avalanche can be seen at 5 K between 0 T and 2 T for all samples in Fig. 5a, because of low specific heat of $MgB_2$. Chabanenko et al. [14] demonstrated that the field of the first flux jump in $MgB_2$ is strongly affected by the temperature and magnetic-field dependence of the specific heat. When specific heat becomes small, even a modest amount of dissipated energy causes a significant local temperature rise, making thermal runaway easier to trigger. Similarly, recent numerical studies on bulk $MgB_2$ have identified the combined effect of low heat capacity and high $J_c$ as the primary source of thermomagnetic instability [15]. Flux jumps at low temperatures are often observed in superconductors with strong pinning. Strong flux pinning enables the build-up of large shielding currents and magnetic flux gradients, thereby increasing the magnetic energy stored in the critical state. As reported by Dou et al. [16], flux jumps in $MgB_2$ are closely related to the combination of high critical current density and sample dimensions, which can lead to thermomagnetic instability at low temperatures.

The critical current density ($J_c$) for the studied samples were calculated using the Bean's critical state model given by the equation $J_c = 20\Delta M / [a\,(1 - (a / 3b))]$. Here, $\Delta M$ is in emu/cm$^3$, a and b are in cm (a < b) and $J_c$ is in A/cm$^2$ [17]. Fig. 6 shows the critical current density versus magnetic field, $J_c(\mu_0 H)$ curves measured up to ±7 T at 5 K and 20 K for the reference sample and the samples doped with 5 wt.% and 10 wt $C_{36}H_{70}MgO_4$. The corresponding $J_c$ values at an applied field of 3 T are summarized in Table 3. As can be seen from Fig. 6 and Table 3, the addition of $C_{36}H_{70}MgO_4$ leads to a noticeable enhancement of $J_c$ compared with the reference sample and the 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added sample shows the highest $J_c$ value at 5 K. The observed improvement in the in-field $J_c$ can be primarily ascribed to the C substitution at the B sites in the $MgB_2$ lattice, which enhances the upper critical magnetic field ($H_{c2}$) [18]. This interpretation is supported by the reduction in the a-lattice parameter, the increase in the $C_{eff}$, and the corresponding suppression of $T_c$. The C substitution for B increases electron scattering, reduces the coherence length, and consequently enhances $H_{c2}$. In addition, carbon-related lattice defects introduced by C released from $C_{36}H_{70}MgO_4$ during the heat treatment may provide additional flux pinning, acting as effective pinning centres within the $MgB_2$ structure. Although the 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added sample demonstrates the highest $J_c$ at 5 K, its performance at

20 K is inferior than that of the 5 wt.% doped sample. This behaviour is attributed to the presence of excess residual C and increased MgO content in the microstructure of this sample, which may deteriorate the grain connectivity and the current transport at elevated temperatures.

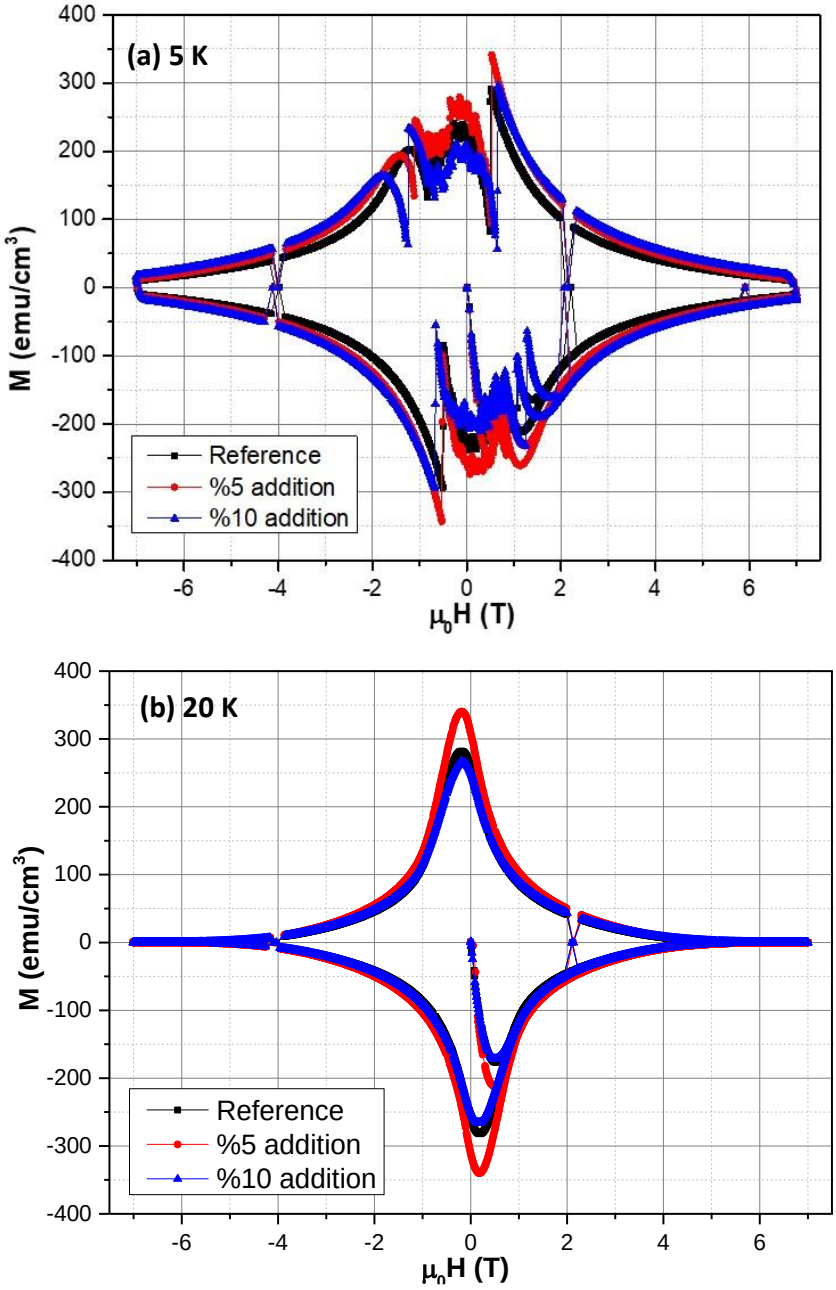



**Figure 5. Magnetisation versus magnetic field, M($\mu_0$H) curves between ±7 T at (a) 5 K and (b) 20 K for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

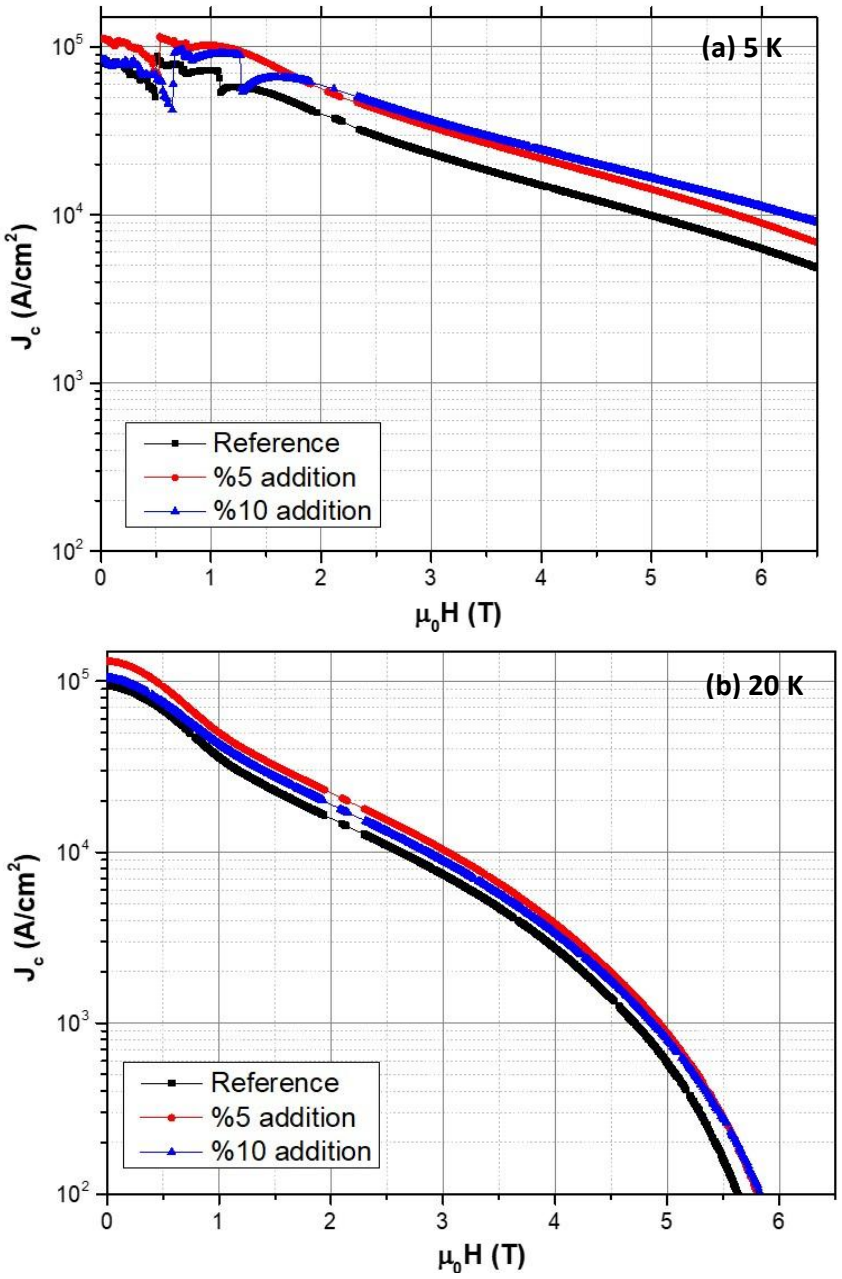



**Figure 6. Critical current density versus magnetic field, $J_c(\mu_0 H)$ curves between ±7 T at (a) 5 K and (b) 20 K for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

**Table 3. The $J_c$ values at 5 K and 20 K under 3 T applied magnetic field for the reference, 5 wt % and 10 wt % $C_{36}H_{70}MgO_4$ added samples**

| | Reference | %5 addition | %10 addition |
|---|---|---|---|
| **$J_c$ (A/cm$^2$) 5 K, 3 T** | $2.31\times10^4$ | $3.35\times10^4$ | $3.67\times10^4$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **$J_c$ (A/cm$^2$) 20 K, 3 T** | $7.39 \times 10^3$ | $1.03 \times 10^4$ | $8.92 \times 10^3$ |

## 4. CONCLUSIONS

The results indicate that $C_{36}H_{70}MgO_4$ acts as an effective carbon source for bulk $MgB_2$ superconductor. The C released from $C_{36}H_{70}MgO_4$ during the thermal decomposition is partially incorporated into the $MgB_2$ lattice, leading to increased electron scattering, a reduced coherence length, and consequently an enhanced $H_{c2}$. The C related lattice disorders in the $MgB_2$ structure act as additional flux pinning centres. Consequently, the flux pinning capability of bulk $MgB_2$ is significantly improved, particularly under applied magnetic fields. Furthermore, the presence of Mg in $C_{36}H_{70}MgO_4$ helps compensate for Mg loss that occurs during the sintering process, contributing to improved phase formation and microstructural homogeneity. The combined effects of C incorporation, induced lattice disorders and microstructural refinement are responsible for the enhanced in-field $J_c$ and improved superconducting performance of $MgB_2$.

## REFERENCES

**[1]** Dou, S. X., Soltanian, S., Horvat, J., Wang, X. L., Zhou, S. H., Ionescu, M., ... & Tomsic, M. (2002). Enhancement of the critical current density and flux pinning of $MgB_2$ superconductor by nanoparticle SiC doping. Applied Physics Letters, 81(18), 3419-3421.

**[2]** Yamamoto, A., Shimoyama, J., Ueda, S., Katsura, Y., Iwayama, I., Horii, S., & Kishio, K. (2005). Universal relationship between crystallinity and irreversibility field of $MgB_2$. Applied Physics Letters, 86(21).

**[3]** Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. Applied Crystallography, 2(2), 65-71.

**[4]** Lee, S., Masui, T., Yamamoto, A., Uchiyama, H., & Tajima, S. (2004). Crystal growth of C-doped $MgB_2$ superconductors: accidental doping and inhomogeneity. Physica C: Superconductivity, 412, 31-35.

**[5]** Eisterer, M. (2007). Magnetic properties and critical currents of $MgB_2$. Superconductor Science and Technology, 20(12), R47-R73.

**[6]** Avdeev, M., Jorgensen, J. D., Ribeiro, R. A., Bud'ko, S. L., & Canfield, P. C. (2003). Crystal chemistry of carbon-substituted $MgB_2$. Physica C: Superconductivity, 387(3-4), 301-306.

**[7]** Ojha, N., Malik, V. K., Singla, R., Bernhard, C., & Varma, G. D. (2009). The effect of citric and oxalic acid doping on the superconducting properties of $MgB_2$. Superconductor Science and Technology, 22(12), 125014.

**[8]** Pradhan, A. K., Shi, Z. X., Tokunaga, M., Tamegai, T., Takano, Y., Togano, K., ... & Ihara, H. (2001). Electrical transport and anisotropic superconducting properties in single crystalline and dense polycrystalline $MgB_2$. Physical Review B, 64(21), 212509.

**[9]** Das, S., Bernhard, C., & Varma, G. D. (2015). Effect of combined addition of graphene oxide and citric acid on superconducting properties of $MgB_2$. Physica C: Superconductivity and its Applications, 509, 49-55.

**[10]** Matsushita, T., Kiuchi, M., Yamamoto, A., Shimoyama, J. I., & Kishio, K. (2008). Essential factors for the critical current density in superconducting $MgB_2$: connectivity and flux pinning by grain boundaries. Superconductor Science and Technology, 21(1), 015008.
**[11]** Rowell, J. M. (2003). The widely variable resistivity of $MgB_2$ samples. Superconductor science and Technology, 16(6), R17-R27.
**[12]** Kodama, M., Suzuki, T., Tanaka, H., Okishiro, K., Okamoto, K., Nishijima, G., ... & Kishio, K. (2017). High-performance dense $MgB_2$ superconducting wire fabricated from mechanically milled powder. Superconductor Science and Technology, 30(4), 044006.
**[13]** Lee, C. M., Hwang, S. M., Sung, K., Lee, S. M., Joo, J., Kang, W. N., ... & Kim, D. H. (2010). Enhanced Magnetic Property of $MgB_2$ Wire Using Phenol-Formaldehyde Resin. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 20(3), 1593-1596.
**[14]** Chabanenko, V., Puźniak, R., Nabiałek, A., Vasiliev, S., Rusakov, V., Huanqian, L., ... & Finkel, V. (2003). Flux jumps and HT diagram of instability for $MgB_2$. Journal of low temperature physics, 130(3), 175-191.
**[15]** Fracasso, M., Gömöry, F., Solovyov, M., Gerbaldo, R., Ghigo, G., Laviano, F., ... & Gozzelino, L. (2023). Numerical study on flux-jump occurrence in a cup-shaped $MgB_2$ bulk for magnetic shielding applications. Superconductor Science and Technology, 36(4), 044001.
**[16]** Dou, S. X., Wang, X. L., Horvat, J., Milliken, D., Li, A. H., Konstantinov, K., ... & Liu, H. K. (2001). Flux jumping and a bulk-to-granular transition in the magnetization of a compacted and sintered $MgB_2$ superconductor. Physica C: Superconductivity, 361(2), 79-83.
**[17]** Bean, C. P. (1962). Magnetization of hard superconductors. Physical review letters, 8(6), 250.
**[18]** Ye, S. J., Matsumoto, A., Zhang, Y. C., & Kumakura, H. (2014). Strong enhancement of high-field critical current properties and irreversibility field of $MgB_2$ superconducting wires by coronene active carbon source addition via the new B powder carbon-coating method. Superconductor Science and Technology, 27(8), 085012.

# TÜRK POPÜLASYONUNDA ABCA7 RS3764650 VE ALZHEIMER HASTALIĞI

**Arş. Gör. Recep ÇELİK[1]***
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
celikrecep70@gmail.com - ORCID: 0009-0003-2939-1009
**Prof. Dr. Hakkı TAŞTAN[2]**
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
hakkitastan@gazi.edu.tr - ORCID: 0000-0001-9540-2931

## ÖZET

Alzheimer hastalığı (AH), bilişsel işlevlerde ilerleyici kayıp ve davranışsal belirtilerle seyreden, dünya genelinde demans olgularının büyük bölümünü oluşturan kronik bir nörodejeneratif hastalıktır. Hastalığın genetik temelinde, özellikle lipid taşınımı, bağışıklık yanıtı ve amiloid beta temizlenmesiyle ilişkili olan ABCA7 geni, geç başlangıçlı Alzheimer hastalığı için önemli aday genlerden biri olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, Türk popülasyonunda ABCA7 genindeki rs3764650 polimorfizminin Alzheimer hastalığı yatkınlığı ile ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmaya 50 yaş ve üzeri, klinik olarak AH tanısı almış 86 hasta ve nörolojik ya da psikiyatrik öyküsü bulunmayan 86 sağlıklı kontrol olmak üzere toplam 172 gönüllü dahil edilmiştir. Katılımcıların periferik kanlarından genomik DNA izole edilmiş ve polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile çoğaltılan ilgili bölge, TaaI restriksiyon enzimi kullanılarak restriksiyon parça uzunluk polimorfizmi (RFLP) yöntemiyle genotiplendirilmiştir. Veriler Ki-kare testi ve ikili lojistik regresyon kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgulara göre, hasta ve kontrol gruplarının her ikisinde de TT, TG ve GG genotip frekansları sırasıyla %81,4, %16,3 ve %2,3 olarak saptanmış olup gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). T alleli %89,5, G alleli ise %10,5 oranında tespit edilmiştir. Sonuç olarak, incelenen örneklemde ABCA7 rs3764650 polimorfizminin Alzheimer hastalığı için bağımsız bir risk faktörü olmadığı belirlenmiştir. Hastalığın genetik altyapısının tam olarak aydınlatılabilmesi için daha geniş örneklemli, APOE genotipinin ve nadir ABCA7 varyantlarının da dahil edildiği kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alzheimer hastalığı; ABCA7; rs3764650; polimorfizm; PCR-RFLP

# ABCA7 rs3764650 Polymorphism and Alzheimer's Disease in the Turkish Population

**Arş. Gör. Recep ÇELİK[1]***
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
celikrecep70@gmail.com - ORCID: 0009-0003-2939-1009
**Prof. Dr. Hakkı TAŞTAN[2]**
Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
hakkitastan@gazi.edu.tr - ORCID: 0000-0001-9540-2931

## ABSTRACT

Alzheimer's disease (AD) is a chronic and progressive neurodegenerative disorder characterized by progressive loss of cognitive functions and behavioral symptoms, representing the majority of dementia cases worldwide. Among the genetic factors, the ABCA7 gene, which is associated with lipid transport, immune response, and amyloid beta clearance, has emerged as a significant candidate gene for late-onset Alzheimer's disease. This study aimed to investigate the relationship between the ABCA7 rs3764650 polymorphism and susceptibility to Alzheimer's disease in the Turkish population. A total of 172 volunteers aged 50 and over were included in the research, comprising 86 clinically diagnosed AD patients and 86 healthy controls with no neurological or psychiatric history. Genomic DNA was isolated from peripheral blood samples, and the relevant region was amplified using polymerase chain reaction (PCR). Genotyping was performed using the restriction fragment length polymorphism (RFLP) method with the TaaI restriction enzyme. Data were evaluated using the Chi-square test and binary logistic regression. The results showed that TT, TG, and GG genotype frequencies were 81.4%, 16.3%, and 2.3%, respectively, in both the patient and control groups. The T allele was found at a rate of 89.5% and the G allele at 10.5%. No statistically significant differences were found between the groups in terms of genotype distributions and allele frequencies ($p>0.05$). These findings indicate that the ABCA7 rs3764650 polymorphism is not an independent risk factor for Alzheimer's disease in the examined sample. Further comprehensive studies with larger sample sizes, incorporating APOE status and rare ABCA7 variants, are required.

**Keywords:** Alzheimer's disease; ABCA7; rs3764650; polymorphism; PCR-RFLP

# Bcl-2 İnhibitörü Navitoclax ve HSP27 İnhibitörü J2 Kombinasyonunun A549 Küçük Hücreli Dışı Akciğer Kanseri Hücrelerinde Seçici Antiproliferatif Etkisi

**Mine ÖZ**
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı
mine580058@gmail.com- ORCID ID 0009-0000-8577-5398

**Dr. Öğr. Üyesi Murat GÜNAY**
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya
drmuratgunay@yahoo.com- ORCID ID 0000-0002-2079-6654

**Doç. Dr. Mehmet KUZUCU**
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı
mehmetkuzucu@gmail.com- ORCID ID 0000-0002-7786-7687

## ÖZET

Küçük hücreli dışı akciğer kanseri (NSCLC), akciğer kanseri vakalarının önemli bir kısmını oluşturan ve tedavi direnci ile apoptotik yanıtların baskılanması gibi mekanizmalarla öne çıkan malignitedir. Bu çalışmada, Bcl-2 inhibitörü Navitoclax ve HSP27 inhibitörü J2 moleküllerinin küçük hücreli dışı akciğer kanserinde in vitro sinerjik antikanser etkilerini araştırmak amacıyla A549 hücre hattı model sistem olarak kullanılmıştır. Hücre canlılığı MTT yöntemiyle, ilaç etkileşimleri CompuSyn ve Bliss bağımsızlık modeli ile, doz-yanıt ilişkileri ise RSM ile değerlendirilmiştir. Ayrıca *BCL2, BAX, APAF-1, CTNNB1* ve *CASP9* gen ekspresyon düzeyleri RT-qPCR ile, BCL-2, BAX ve kaspaz-3 protein düzeyleri ELISA yöntemiyle analiz edilmiştir. Bliss analizine göre ters orantılı kombinasyonda en belirgin sinerjik etki 0,625 µM Navitoclax + 10 µM J2 dozunda saptanmış; bu uygulamada canlılık A549 hücrelerinde %58, HGF-1 hücrelerinde %83 olarak belirlenmiştir. Doğru orantılı kombinasyonda ise 0,625 µM Navitoclax + 0,156 µM J2 dozunda canlılık A549'da %85, HGF-1'de %94 bulunmuş olup, sonuçlar kombinasyonun A549 hücrelerinde daha seçici antiproliferatif etki gösterebileceğini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Navitoclax, Bcl-2, A549, J2, HSP27

# Evaluation of Antioxidant Activity and Total Phenolic and Flavonoid Contents of *Astragalus persicus*

**Rabia Nur Ün**

Ege University/Faculty of Science,

rabia.nur.un@ege.edu.tr

https://orcid.org/0000-0001-7903-9167

## ABSTRACT

*Astragalus* L. (Fabaceae) is one of the largest genera of flowering plants, comprising more than 3,400 taxa worldwide. It is widely distributed, particularly in regions such as Iran, Russia, and Türkiye. In Türkiye, the genus is represented by approximately 480 taxa belonging to 63 sections, with a high endemism rate of around 51%. *Astragalus* species are known for their diverse pharmacological properties, including antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, hepatoprotective, and antihyperglycemic activities. Although extensive chemical and biological studies have been conducted on several *Astragalus* species, information regarding *Astragalus persicus* (DC.) Fisch. & C.A. Mey. remains limited. Therefore, the present study aimed to evaluate the phenolic and flavonoid contents together with the antioxidant potential of *A. persicus* collected from Van, Türkiye. The methanolic extract exhibited a total phenolic content of 32.37 ± 0.77 mg GAE/g extract and a total flavonoid content of 27.82 ± 0.38 mg QE/g extract. In addition, the extract demonstrated DPPH and ABTS radical scavenging activities of 32.27 ± 0.41% and 36.84 ± 0.25%, respectively. The observed antioxidant activity may be attributed to the presence of phenolic and flavonoid compounds in the extract. To the best of our knowledge, this study represents the first report describing the phenolic content, flavonoid content, and antioxidant activity of *A. persicus*. These findings provide novel phytochemical data and highlight the potential of this species as a natural source of antioxidant compounds for future pharmacological and nutraceutical applications.

**Keywords:** *Astragalus*, Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content, Antioxidant activity

# Eski ve Yeni Balmumu Peteklerine Yapılan Besin Takviyelerinin *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvalarının Gelişim Süresi ve Lipit Miktarına Etkisi

***Doç. Dr. Yeşim KOÇ***

[1]Sinop Üniversitesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı,

**ykoc@sinop.edu.tr** Orcid: 0000-0001-7125-2561

***Öğr. Gör. Emine Betül AKALIN ÖZAĞDAŞ***

[2] Doğal Ürünler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sinop Üniversitesi,

betul.akalin@kafkas.edu.tr Orcid 0000-0001-7114-1001

## ÖZET

Büyük balmumu güvesi, *Galleria mellonella*, (Lepidoptera: Pyralidae) arıcılıkta peteklere zarar veren bir böcek türü olmakla beraber yenilebilir böcekler arasında yer alan bir türdür. Lipit içeriği yüksek olan bu türün, gıda sektöründe değerli bir bileşen olma potansiyeli göstermesi bu konudaki araştırmaların artmasını sağlamaktadır..*G. mellonella*'nın balmumu dışındaki farklı besin kullanımlarının araştırılması daha ucuz üretim yöntemi sağlamak için de önemlidir**.**

Bu çalışmada, farklı yaşlardaki balmumu petek tipleri ve besin katkılarının *G. mellonella* larvalarının gelişim süresi ve lipit miktarı üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada eski veya yeni petek temelinde hazırlanan, polen, bira mayası, bal ve gliserin içeren rasyonlara kinoa unu veya rüşeym unu ilave edilerek dört farklı besin grubu oluşturulmuştur.

Tüm besin gruplarında larval gelişim başarıyla gerçekleşmiş olmakla birlikte, gelişim süresi ve lipit miktarı bakımından farklılıklar belirlenmiştir. En kısa larva gelişim süresi eski petek içeren gruplardan elde edilmiş olup, eski petek-kinoa unu içeren grupta 27.20 ± 2.45 gün, eski petek-rüşeym unu içeren grupta ise 27.64 ± 2.12 gün olarak belirlenmiştir. Yeni petek içeren gruplarda gelişim süreleri kinoa içeren grupta 38.60 ± 2.31 ve rüşeym içeren grupta 39.40 ± 1.94 gün olmuştur. Ham lipit analizlerinde en yüksek değer %53.25 ± 0.50 ile eski petek-rüşeym unu grubunda belirlenirken, bunu %49.50 ± 1.29 ile eski petek-kinoa unu grubu izlemiştir. Yeni petek içeren gruplarda ise daha düşük lipit oranları elde edilmiş ve en düşük değer %43.00 ± 0.82 ile eski petek- kinoa grubunda bulunmuştur.

Sonuç olarak, eski petek içeren rasyonlar larval gelişim performansı ve lipit birikimi açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir. Özellikle eski petek-rüşeym unu kombinasyonu yüksek lipit verimi ile öne çıkarken, eski petek-kinoa unu kombinasyonu da kısa gelişim süresi ve yüksek lipit içeriğiyle dikkat çekmiştir. Bu bulgular, büyük balmumu güvesinin gelecekte lipit üretimi

ve yüksek katma değerli böcek biyokütlesi elde edilmesine yönelik yetiştiricilik çalışmalarında kullanılabilecek uygun besleme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Galleria mellonella*, yenilebilir böcekler, alternatif lipit kaynağı, larval gelişim, rüşeym unu, kinoa unu

## The Effect of Nutritional Supplements Applied to Old and New Wax Combs on the Developmental Duration and Lipid Amount of Galleria mellonella (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae

## ABSTRACT

The greater wax moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), is an insect species that damages honeycombs in beekeeping, while also being classified among edible insects. Due to its high lipid content, this species shows potential to be a valuable component in the food sector, which has led to an increase in research on this subject. Investigating the use of alternative nutrients other than beeswax for *G. mellonella* is also important to provide a more cost-effective production method. In this study, the effects of wax comb types of different ages and nutritional supplements on the developmental period and lipid content of *G. mellonella* larvae were investigated. In the research, four different nutritional groups were formed by adding quinoa flour or wheat germ flour to diets containing pollen, brewer's yeast, honey, and glycerin, prepared on the basis of old or new combs. Although larval development was successfully achieved in all nutritional groups, differences were determined in terms of developmental period and lipid content. The shortest larval developmental period was obtained from the groups containing old combs, being determined as 27.20 ± 2.45 days in the group containing old comb-quinoa flour, and 27.64 ± 2.12 days in the group containing old comb-wheat germ flour. In the groups containing new combs, the developmental periods were 38.60 ± 2.31 days in the group containing quinoa and 39.40 ± 1.94 days in the group containing wheat germ. In crude lipid analyses, the highest value was determined in the old comb-wheat germ flour group with 53.25% ± 0.50, followed by the old comb-quinoa flour group with 49.50% ± 1.29. Lower lipid ratios were obtained in the groups containing new combs, and the lowest value was found in the new comb-quinoa group with 43.00% ± 0.82. In conclusion, diets containing old combs yielded more successful results in terms of larval developmental performance and lipid accumulation. In particular, the old comb-wheat germ flour combination stood out with its high lipid yield, while the old comb-quinoa flour combination also drew attention with its short developmental period and high lipid content. These findings may contribute to the development of appropriate feeding strategies that can be used in future mass-rearing studies of the greater wax moth aimed at lipid production and obtaining high value-added insect biomass.

**Keywords:** *Galleria mellonella*, edible insects, alternative lipid source, larval development, wheat germ flour, quinoa flour

# ORGANIC-INORGANIC HYBRID NANOFLOWER STRUCTURES AND *IN VITRO* CELL CULTURE APPLICATIONS: CURRENT EVIDENCE AND FUTURE PERSPECTIVES

**Dr. Pınar ALTIN ÇELİK***

Erciyes University Faculty of Medicine, Department of Medical Biology

pnar.altnclk@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8429-009X

**Asst. Prof. Dr. Muazzez DERYA ANDEDEN**

Erciyes University Faculty of Medicine, Department of Medical Biology

muazzezderya@erciyes.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-4390-5769

## ABSTRACT

Organic-inorganic hybrid nanoflower structures are nanomaterials with a distinctive flower-like morphology that form when organic biomolecules and inorganic metal ions spontaneously co-assemble under mild aqueous conditions. Their petal-like architecture provides a large accessible surface area and a porous interior, making them practical candidates for drug loading, biomolecule immobilization, and controlled release. Many conventional chemotherapeutic agents suffer from poor selectivity and considerable off-target toxicity, and this limitation has directed attention toward more precise carrier systems, a gap that hybrid nanoflowers are well positioned to address. Their size, morphology, and biological behavior are all sensitive to synthesis variables, including the choice of organic component, metal ion type, pH, temperature, and incubation time.

This review examines the synthesis characteristics of hybrid nanoflower structures and their use in *in vitro* cancer models, drawing on current literature. Studies reviewed here assess how these structures influence cellular uptake, cell viability, cytotoxicity, apoptosis, migration, biocompatibility, and drug release behavior. The evidence collectively indicates that, when synthesis parameters are carefully controlled, hybrid nanoflowers can serve as versatile platforms for probing tumor cell interactions and refining drug-delivery approaches. At the same time, inconsistencies in particle size, surface charge, dosing, and cell line selection across

studies complicate direct comparisons, and the field would benefit considerably from more standardized experimental frameworks.

**Keywords:** Hybrid nanoflower, cancer, cell culture, cytotoxicity, drug delivery.

# COMPARISON OF MODELING PERFORMANCE OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS FOR MONTHLY RAINFALL DATA: A CASE STUDY

**Özge GÜRER [1*], Birdal ŞENOĞLU [2]**

[1] Ankara University, Faculty of Science, Department of Statistics,

ORCID ID: 0000-0002-5565-5069

[2] Ankara University, Faculty of Science, Department of Statistics,

ORCID ID: 0000-0003-3707-2393

## ABSTRACT

Accurate modeling of rainfall is crucial for effective water resource management, agricultural decision-making and the assessment of risks associated with extreme events such as floods and droughts. In this study, monthly rainfall data obtained from two stations in Far North Queensland, Australia are analyzed to determine the best fitted probability distribution. As the majority of the annual rainfall over this region occurs from December to April, only data from these months are included in the analysis. Several candidate distributions widely used for modeling rainfall data are considered, including Gamma, Weibull, Log-logistic, Gumbel, Log-normal, Inverse Gaussian, Inverse Weibull and Inverse Gamma. Parameter estimation process is carried out using the well-known maximum likelihood (ML) methodology. The modeling performance of the candidate probability distributions is evaluated using Akaike information criterion ($AIC$), Bayesian information criterion ($BIC$), the root mean square error ($RMSE$), the coefficient of determination ($R^2$) and the Kolmogorov-Smirnov ($KS$) test. Moreover, the estimated probability density functions are plotted over the histograms of monthly rainfall data obtained during the period from December to April to provide a visual assessment of how the candidate distributions fit the data. Considering the model selection criteria and goodness-of-fit tests along with the visual assessments, the results indicate that Weibull distribution exhibits the best overall performance and is followed by Gamma distribution, while Log-normal, Gumbel and Inverse Gaussian distributions provide the best fits for certain months of the year.

**Keywords:** Monthly rainfall, maximum likelihood, distribution fitting, model selection criteria, goodness of fit tests.

## 1. INTRODUCTION

The accurate analysis of hydrological variables such as rainfall, streamflow, groundwater and soil moisture, which describe how water moves through the environment, is fundamental to sustainable water resource management, climate change adaptation, disaster risk reduction and environmental decision-making. The importance of the analysis of these variables has been

further elevated by the increasing scarcity of global water resources, driven by rising domestic and sectoral demand. Consequently, the modeling of hydrological variables has become a major subject of concern in the literature. See for example, Laio and Tamea [1], Xu et al. [2], Pan et al. [3], Langat et al. [4], etc.

Among hydrological variables, rainfall stands out as a key variable since it represents the primary input to the hydrological cycle and directly affects the availability of surface and groundwater resource. Therefore, its accurate modeling is particularly essential for flood forecasting, drought assessment, water supply planning, etc. Accordingly, rainfall modeling has been extensively investigated across a wide range of studies. For example, Sharma and Singh [5] applied 16 different probability distributions for modeling daily rainfall data of 37 years from Pantnagar, India, and found that Log-normal distribution provides the best fit for annual data, Gamma distribution fits best the monsoon season and Generalized Extreme Value distribution is the most suitable for weekly periods. Hasan and Dunn [6] examined the Tweedie family of distributions for modeling total monthly rainfall data from four stations in Australia for the period from 1910 to 2007 and demonstrated that Gamma distribution, which is a special case of the Tweedie family, provides the best fit in nearly all cases**.** Ghosh et al. [7] applied six probability distributions to monthly rainfall data from four stations in Bangladesh for the period 1979–2013 and concluded that Generalized Extreme Value distribution provides the best fit for most of the stations, while Gamma distribution is preferable for Dhaka station. Kumar et al. [8] analyzed annual rainfall data from 13 districts of Uttarakhand, India, for the period 1901–2002 using 10 probability distributions and found that Weibull distribution provides the best fit for most of the districts. Bhavyashree and Bhattacharyya [9] considered 20 probability distributions for modeling monthly rainfall during monsoon season from different districts of Karnataka, India, and showed that no single distribution fits all districts, with three-parameter Log-logistic and four-parameter Generalized Gamma being the most suitable for two districts each. Kassem et al. [10] employed 37 probability distributions to 33 years of monthly and annual rainfall data from the Güzelyurt region, Northern Cyprus, and demonstrated that Beta, Log-Pearson 3 and Exponential distributions give the best fit for average monthly rainfall, while Burr, Wakeby and Nakagami distributions provide the best fit for annual rainfall, and Nakagami, Wakeby and Cauchy distributions are the most suitable for maximum monthly rainfall. Rafhida et al. [11] evaluated 10 probability distributions fitted to monthly rainfall data from 34 stations in the Lake Toba region, Indonesia, and found that the Generalized Extreme Value, Gamma and Weibull distributions consistently provided the best fit across most stations, while the Exponential and Inverse Gaussian distributions performed poorly.

In this study, monthly rainfall data obtained from two meteorological stations in the coastal area of Far North Queensland, Australia, namely Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations, are analyzed. This region experiences a tropical monsoon climate with significantly higher rainfall during the period from December to April (hereafter referred to as “wet season”) than the period from May to November (hereafter referred to as “dry season”). The primary objective of this study is to determine the best fitted probability distributions for monthly rainfall data recorded during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations. In this regard, Gamma, Weibull, Log-logistic, Gumbel, Log-normal, Inverse Gaussian, Inverse

Weibull and Inverse Gamma distributions are considered. Two-parameter probability distributions are preferred due to their widespread use in modeling rainfall data along with the relatively simpler parameter estimation procedures. The complexity of multi-parameter distributions often leads to significant estimation challenges, particularly with small sample sizes, which may outweigh the benefits of an improved fit. Several studies in the literature have also drawn attention to this point, see for example, Sharda and Das [12], Khamkong and Pudprommarat [13], Ximenes et al. [14], etc. In order to estimate the unknown distribution parameters, maximum likelihood (ML) methodology is employed since it provides estimators with desirable properties under certain regularity conditions. In evaluating the modeling performance of the above-mentioned distributions, Akaike information criterion ($AIC$), Bayesian information criterion ($BIC$), the root mean square error ($RMSE$), the coefficient of determination ($R^2$) and the Kolmogorov-Smirnov ($KS$) test are used.

The rest of the study is organized as follows. Section 2 provides the material and methods used in this study, including the data and study area, probability distributions of interest, ML methodology, the model selection criteria and goodness-of-fit tests used for comparing the candidate distributions. Section 3 gives the results and discussions. Finally, section 4 concludes the study by summarizing remarkable points.

## 2. MATERIAL AND METHODS

This section firstly introduces the data and study area and then describes the probability distributions considered to model monthly rainfall data during the wet season. Also, the ML methodology, the model selection criteria and goodness-of-fit tests are explained.

### 2.1. Data and Study Area

In this study, monthly rainfall data recorded during the wet season at the Tully Sugar Mill station over the period from January 1925 to March 2026 and Whyanbeel Valley station over the period from July 1938 to March 2026 are analyzed. Before proceeding with the analysis, detailed descriptions of monthly rainfall data for both wet and dry seasons and the study area are provided. The data include monthly total rainfall amounts in millimeters and are obtained from the database of the Bureau of Meteorology (BoM), which is the Australian Government's official agency responsible for providing weather, climate and hydrological information. The meteorological stations of interest, i.e., Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations, are located in the coastal area of Far North Queensland, Australia, where a tropical monsoon climate is characterized by distinct wet and dry seasons. See Table 1 for the detailed geographical information for these stations. Also, see Figure 1 for their geographical locations.

Due to the monthly variability in rainfall, the descriptive statistics, i.e., minimum (min), maximum (max), mean, standard deviation (sd), skewness, kurtosis values and sample size $n$, for monthly rainfall data from Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations are obtained separately for each month, see Table 2. It should be noted that sample sizes vary across months due to the removal of missing values.

**Table 1. Geographical information for Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

| Stations | Latitude | Longitude | Elevation |
|---|---|---|---|
| Tully Sugar Mill | 17.94°S | 145.93°E | 19 m |
| Whyanbeel Valley | 16.39°S | 145.35°E | 6 m |

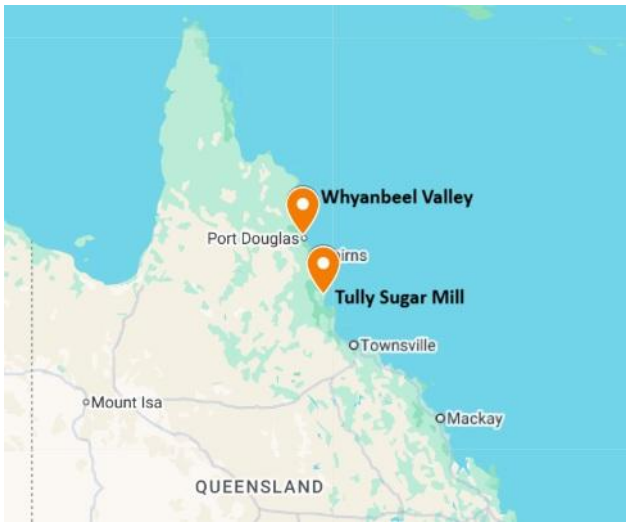



**Figure 1. Locations of Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

For Tully Sugar Mill station, the highest mean rainfall is observed in March (751.86 mm), followed closely by February (729.71 mm) and January (607.64 mm), while the lowest mean occurs in October (105.62 mm). Maximum values peak in January reaching 2,003.0 mm and March 1,907.4 mm, compared to considerably lower maximum values in months such as July (535.7 mm) and August (484.4 mm). The minimum values of the months during the wet season remain quite above zero, whereas July, August, September, and October record minimums of 0.0 mm, indicating that rainfall can be entirely absent during these months. Similarly, the months during the wet season exhibit substantially higher variability, with March (sd = 410.78 mm) and February (sd = 393.42 mm) showing the greatest spread. The months from May to November, by contrast, show considerably lower variability. All months display positive skewness, indicating that occasional extreme rainfall events are present throughout the year. Skewness is more pronounced particularly in October (2.23) and December (2.12). Kurtosis values exceed three in almost all months, with October (8.43) and December (8.74) showing the highest values. The lowest skewness and kurtosis values are observed in May.

For Whyanbeel Valley station, March records the highest mean rainfall (610.62 mm), with January (529.51 mm) and February (580.58 mm) also showing notably large values. August stands out as the driest month, with a mean of 49.02 mm. December has the highest maximum value (2,137.8 mm) and is followed by January (1,793.8 mm) and March (1,742.3 mm), whereas the maximum values for July, August and September remain below 220 mm. The minimum values during the period from December to April stay significantly above zero, with the lowest being April (12.6 mm), while July, August, September, and October have minimums at or near zero, indicating that rainfall may be completely absent in these months in some years. The spread of rainfall also varies considerably across the year. Standard deviations during the

wet season are considerably larger than the remaining months. All months display positive skewness, where skewness is more pronounced particularly in December (2.92). Kurtosis values are greater than three across all months except September, with December (15.09) and August (5.17) recording the highest values.

**Table 2. Descriptive statistics for monthly rainfall data recorded at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

| *Tully Sugar Mill station* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Month* | *min* | *max* | *mean* | *sd* | *skewness* | *kurtosis* | *n* |
| January | 11.0 | 2,003.0 | 607.6441 | 389.0152 | 0.9152 | 3.7446 | 102 |
| February | 126.8 | 1,818.7 | 729.7108 | 393.4155 | 0.5888 | 2.6869 | 102 |
| March | 88.6 | 1,907.4 | 751.8588 | 410.7780 | 0.7053 | 2.7423 | 102 |
| April | 40.1 | 1,586.4 | 526.4545 | 290.2780 | 0.9920 | 4.3329 | 101 |
| May | 13.0 | 806.2 | 331.5594 | 171.4824 | 0.2138 | 2.5632 | 101 |
| Jun | 6.0 | 584.2 | 198.2535 | 128.7698 | 0.9459 | 3.5844 | 101 |
| July | 0.0 | 535.7 | 156.2416 | 105.9059 | 0.9875 | 4.0208 | 101 |
| August | 0.0 | 484.4 | 127.4911 | 106.9177 | 0.9748 | 3.5165 | 101 |
| September | 0.0 | 610.2 | 113.9713 | 113.3749 | 1.6788 | 6.4783 | 101 |
| October | 0.0 | 652.8 | 105.6228 | 126.2241 | 2.2265 | 8.4319 | 101 |
| November | 2.0 | 702.8 | 166.0168 | 151.6237 | 1.4178 | 4.6536 | 101 |
| December | 16.3 | 1,501.1 | 282.9530 | 258.2290 | 2.1205 | 8.7445 | 100 |
| *Whyanbeel Valley station* | | | | | | | |
| January | 83.0 | 1,793.8 | 529.5119 | 320.5024 | 1.2021 | 5.2336 | 84 |
| February | 57.0 | 1,727.2 | 580.5756 | 309.5955 | 0.6718 | 3.7622 | 86 |
| March | 29.6 | 1,742.3 | 610.6170 | 379.8008 | 0.8123 | 3.1150 | 88 |
| April | 12.6 | 868.1 | 309.3765 | 197.8934 | 0.9353 | 3.5356 | 85 |
| May | 4.6 | 439.6 | 135.3535 | 85.9546 | 1.0564 | 3.9911 | 86 |
| Jun | 3.5 | 278.0 | 75.9874 | 57.0589 | 1.1962 | 4.3359 | 87 |
| July | 0.9 | 216.0 | 59.5239 | 49.1922 | 1.2457 | 4.0834 | 88 |
| August | 0.0 | 200.1 | 49.0218 | 40.1076 | 1.4370 | 5.1718 | 87 |
| September | 0.0 | 212.5 | 61.3598 | 56.6774 | 0.9259 | 2.6747 | 87 |
| October | 0.0 | 412.2 | 91.8360 | 85.5361 | 1.5204 | 5.5262 | 86 |
| November | 3.2 | 666.6 | 164.3598 | 141.3608 | 1.5983 | 5.5020 | 87 |
| December | 43.4 | 2,137.8 | 319.8964 | 315.9365 | 2.9176 | 15.0934 | 84 |

Comparing two stations, mean rainfall is generally higher throughout the year at Tully Sugar Mill than Whyanbeel Valley. However, both stations exhibit their highest mean values during the wet season and their lowest during the dry season. This is also the case when the min, max and sd values are considered. It is obvious from these findings that a similar seasonal pattern is experienced at both stations.

### 2.2. Probability Distributions

In this study, Gamma, Weibull, Log-logistic, Gumbel, Log-normal, Inverse Gaussian, Inverse Weibull and Inverse Gamma are considered as candidate probability distributions for modeling monthly rainfall data obtained during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations. This section provides the probability density functions (*pdf*) and the cumulative

distribution functions (*cdf*) of the distributions of interest, which are denoted by $f(x)$ and $F(x)$, respectively, see Table 3.

**Table 3. The *pdf*s and *cdf*s of the candidate probability distributions for modeling monthly rainfall data.**

| *Distribution* | *pdf* | *cdf* | *Parameters* |
|---|---|---|---|
| Gamma | $f(x)=\frac{1}{\Gamma(\alpha)\theta^{\alpha}}x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\theta}}$ | $F(x)=\frac{\gamma\left(\alpha,\frac{x}{\theta}\right)}{\Gamma(\alpha)}$ | $\alpha$(shape) , $\theta$(scale) $>0$ |
| Weibull | $f(x)=\frac{c}{\sigma}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{c-1}e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{c}}$ | $F(x)=1-e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{c}}$ | $c$(shape) , $\sigma$(scale) $>0$ |
| Log-logistic | $f(x)=\frac{\beta}{\alpha}\frac{\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1}}{\left(1+\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{2}}$ | $F(x)=\frac{1}{1+\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\beta}}$ | $\beta$(shape), $\alpha$(scale) $>0$ |
| Gumbel | $f(x)=\frac{1}{\beta}e^{-\left(\frac{x-\mu}{\beta}+e^{-\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)}\right)}$ | $F(x)=e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)}}$ | $\mu$(location) $\in\mathbb{R}$, $\beta$(scale) $>0$ |
| Log-normal | $f(x)=\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\left(\frac{(lnx-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$ | $F(x)=\Phi\left(\frac{lnx-\mu}{\sigma}\right)$ | $\mu$(location) $\in\mathbb{R}$, $\sigma$(scale) $>0$ |
| Inverse Gaussian | $f(x)=\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}}e^{-\left(\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}\right)}$ | $F(x)=\Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu}-1\right)\right)+e^{\frac{2\lambda}{\mu}}\Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x}}\left(\frac{x}{\mu}+1\right)\right)$ | $\mu$(mean), $\lambda$(shape) $>0$ |
| Inverse Weibull | $f(x)=\frac{c}{\sigma}\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-(c+1)}e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-c}}$ | $F(x)=e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-c}}$ | $c$(shape), $\sigma$(scale) $>0$ |
| Inverse Gamma | $f(x)=\frac{\theta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)}x^{-(\alpha+1)}e^{-\frac{\theta}{x}}$ | $F(x)=\frac{\Gamma\left(\alpha,\frac{\theta}{x}\right)}{\Gamma(\alpha)}$ | $\alpha$(shape) , $\theta$(scale) $>0$ |

It should be noted for Table 3 that the support of Gumbel distribution is $x\in\mathbb{R}$, whereas the support of the remaining distributions given in Table 3 is $x\in\mathbb{R}^{+}$. Here, $\Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty}t^{\alpha-1}e^{-t}dt$ and $\gamma\left(\alpha,\frac{x}{\theta}\right)=\int_0^{x}t^{\alpha-1}e^{-\frac{t}{\theta}}dt$ are the gamma and lower incomplete gamma functions, respectively.

### 2.3. Maximum Likelihood Method

Let $X_1, X_2, \dots, X_n$ be a random sample of size $n$ from a population with pdf $f(x;\boldsymbol{\theta})$, where $\boldsymbol{\theta}=(\theta_1,\theta_2,\dots,\theta_k)$ is a vector of unknown parameters. The likelihood ($L$) is a function of $\boldsymbol{\theta}$ and is defined as the joint density of $X_1, X_2, \dots, X_n$ evaluated at $x_1, x_2, \dots, x_n$ as given below

$$L(\boldsymbol{\theta})=\prod_{i=1}^{n}f(x_i;\boldsymbol{\theta}).$$

Maximum likelihood (ML) estimator of $\boldsymbol{\theta}$, or shortly $\widehat{\boldsymbol{\theta}}$, is the value for which the $L(\boldsymbol{\theta})$ is maximized for a given set of observations. It is worthy to note that any value of $\boldsymbol{\theta}$ that maximizes the $L(\boldsymbol{\theta})$ also maximizes the loglikelihood ($\ln L$) function

$$\ln L(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{i=1}^{n} \ln f(x_i; \boldsymbol{\theta}).$$

Therefore, for computational convenience, $\widehat{\boldsymbol{\theta}}$ is obtained by solving the following system of likelihood equations

$$\frac{\partial}{\partial \theta_1} \ln L(\boldsymbol{\theta}) = 0,\ \frac{\partial}{\partial \theta_2} \ln L(\boldsymbol{\theta}) = 0,\ \ldots,\ \frac{\partial}{\partial \theta_k} \ln L(\boldsymbol{\theta}) = 0.$$

For further details of the ML estimation process, one may refer to Bain and Engelhardt [15].

It should be noted that ML estimators for the parameters of Log-normal and Inverse Gaussian distributions have closed form solutions, however the likelihood equations for the other distributions considered in this study cannot be solved explicitly due to having nonlinear functions of the unknown parameters. Therefore, the `optim` function in R software is used to obtain the corresponding ML estimates of the unknown distribution parameters numerically.

### 2.4. Model Selection Criteria and Goodness-of-Fit Tests

Before defining the model selection criteria and goodness-of-fit tests considered in this study, the empirical *cdf* is first introduced. Let $X_1, X_2, \ldots, X_n$ denote a random sample from a distribution with *cdf* $F$. Then, the empirical *cdf* is defined as

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} I\{X_i \leq x\}$$

where $I\{\cdot\}$ is the indicator function. The modeling performance of the above-mentioned probability distributions for monthly rainfall data is compared with respect to the following model selection criteria

$$AIC = -2 \ln L + 2p, \qquad BIC = -2 \ln L + p \ln n,$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(F_n(x_i) - \hat{F}(x_i)\right)^2}, \qquad R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(F_n(x_i) - \hat{F}(x_i)\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} (F_n(x_i) - \bar{F})^2},$$

and goodness-of-fit test

$$KS = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \left| \hat{F}\left(x_{(i)}\right) - \frac{i}{n} \right|, \left| \hat{F}\left(x_{(i)}\right) - \frac{i-1}{n} \right| \right\}.$$

Here, $\ln L$ is the loglikelihood function for the distribution of interest. $n$ and $p$ denote the sample size and the number of estimated parameters, respectively. $\hat{F}$ and $\bar{F}$ are the estimated cdf and the mean of the empirical cdf values, respectively. Note that the lower values of $AIC$, $BIC$, $RMSE$ and $KS$, and higher value of $R^2$ indicate a better fit.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, Gamma, Weibull, Log-logistic, Gumbel, Log-normal, Inverse Gaussian, Inverse Weibull and Inverse Gamma distributions are compared in terms of their modeling performance for monthly rainfall data obtained during the wet season at Tully Sugar Mill (from January 1925 to March 2026) and Whyanbeel Valley (from July 1938 to March 2026) stations. In doing so, first the unknown parameters of each candidate distribution are estimated via ML methodology. Corresponding ML estimates are given in Table 4.

Subsequently, $\ln L$, $AIC$, $BIC$, $RMSE$, $R^2$ and $KS$ values for the fitted distributions are calculated for each station, see Table 5. It should be noted that bold values in Table 5 indicate the best fitted distribution for each model selection criterion and goodness-of-fit test. Estimated *pdf*s are also plotted over the histograms of monthly rainfall data recorded during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations for visual assessment of the modeling performance of candidate distributions, see Figure 2.

**Table 4. ML estimates of the parameters of candidate distributions for monthly rainfall data recorded during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

| *Tully Sugar Mill station* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Distribution* | *Parameters* | *December* | *January* | *February* | *March* | *April* |
| Gamma | $\alpha$ | 1.5483 | 2.2434 | 3.4150 | 3.2405 | 3.1246 |
| | $\theta$ | 181.8182 | 263.1579 | 212.7660 | 232.5581 | 166.6667 |
| Weibull | $c$ | 1.2138 | 1.5863 | 1.9655 | 1.9517 | 1.9089 |
| | $\sigma$ | 303.3528 | 675.7966 | 824.9456 | 851.0418 | 593.9411 |
| Log-logistic | $\beta$ | 1.9481 | 2.2621 | 2.8327 | 2.8920 | 2.8956 |
| | $\alpha$ | 201.6351 | 508.3214 | 645.1275 | 654.5118 | 466.4737 |
| Gumbel | $\mu$ | 181.1772 | 432.5713 | 545.8385 | 566.9918 | 395.8174 |
| | $\sigma$ | 154.5789 | 303.3138 | 318.7333 | 320.2823 | 226.3289 |
| Log-normal | $\mu$ | 5.2778 | 6.1461 | 6.4245 | 6.4604 | 6.0944 |
| | $\sigma$ | 0.8982 | 0.8520 | 0.6203 | 0.6000 | 0.6407 |
| Inverse Gaussian | $\mu$ | 282.9530 | 607.6441 | 729.7108 | 751.8588 | 526.4545 |
| | $\lambda$ | 231.1177 | 423.2791 | 1567.9975 | 1720.9301 | 971.1690 |
| Inverse Weibull | $c$ | 1.0651 | 0.8379 | 1.4848 | 1.4832 | 1.2493 |
| | $\sigma$ | 123.5499 | 289.1825 | 444.7588 | 467.5175 | 313.2144 |
| Inverse Gamma | $\alpha$ | 1.2988 | 0.9292 | 2.4908 | 2.6508 | 2.0641 |
| | $\theta$ | 165.2247 | 231.8161 | 1240.3318 | 1387.0577 | 704.6542 |
| *Whyanbeel Valley station* | | | | | | |
| Gamma | $\alpha$ | 1.6695 | 2.8588 | 3.2008 | 2.5177 | 2.3158 |
| | $\theta$ | 188.6792 | 181.8182 | 178.5714 | 238.0952 | 133.3333 |
| Weibull | $c$ | 1.2066 | 1.7525 | 1.9660 | 1.6755 | 1.6280 |
| | $\sigma$ | 343.6444 | 596.4291 | 654.6964 | 684.7951 | 346.1449 |

| *Tully Sugar Mill station* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Distribution* | *Parameters* | *December* | *January* | *February* | *March* | *April* |
| Log-logistic | $\beta$ | 2.1331 | 2.6629 | 2.7959 | 2.4306 | 2.3738 |
| | $\alpha$ | 222.1719 | 456.6736 | 518.8253 | 512.6907 | 258.4730 |
| Gumbel | $\mu$ | 204.1676 | 387.4438 | 435.6569 | 439.6911 | 220.2913 |
| | $\sigma$ | 169.0193 | 240.5378 | 256.7081 | 296.1294 | 149.3289 |
| Log-normal | $\mu$ | 5.4276 | 6.0771 | 6.1896 | 6.1883 | 5.4975 |
| | $\sigma$ | 0.8058 | 0.6643 | 0.6525 | 0.7390 | 0.7602 |
| Inverse Gaussian | $\mu$ | 319.8964 | 529.5119 | 580.5756 | 610.6170 | 309.3765 |
| | $\lambda$ | 359.6312 | 959.6969 | 1051.0355 | 785.1005 | 361.1853 |
| Inverse Weibull | $c$ | 1.3830 | 1.3950 | 1.2680 | 1.1033 | 1.0531 |
| | $\sigma$ | 153.7472 | 307.4488 | 342.1872 | 327.8033 | 162.2187 |
| Inverse Gamma | $\alpha$ | 1.8387 | 2.1970 | 2.0353 | 1.5781 | 1.4544 |
| | $\theta$ | 311.2886 | 749.7003 | 761.1754 | 542.0342 | 242.3586 |

**Table 5. ln $L$, $AIC$, $BIC$, $RMSE$, $R^2$ and $KS$ values for the fitted distributions for monthly rainfall data recorded during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

| *Tully Sugar Mill station* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Month* | *Distribution* | ln $L$ | $AIC$ | $BIC$ | $RMSE$ | $R^2$ | $KS$ |
| December | Gamma | -660.034 | 1,324.069 | 1,329.279 | 0.0263 | 0.9917 | 0.0658 |
| | Weibull | -661.458 | 1,326.917 | 1,332.127 | 0.0304 | 0.9889 | 0.0655 |
| | Log-logistic | -659.920 | 1,323.840 | 1,329.050 | 0.0196 | 0.9954 | 0.0578 |
| | Gumbel | -669.911 | 1,343.822 | 1,349.033 | 0.0482 | 0.9721 | 0.1055 |
| | Log-normal | **-658.938** | **1,321.877** | **1,327.087** | **0.0189** | **0.9957** | **0.0574** |
| | Inverse Gaussian | -661.422 | 1,326.845 | 1,332.055 | 0.0400 | 0.9808 | 0.0889 |
| | Inverse Weibull | -670.598 | 1,345.196 | 1,350.406 | 0.0556 | 0.9629 | 0.1076 |
| | Inverse Gamma | -669.016 | 1,342.033 | 1,347.243 | 0.0565 | 0.9617 | 0.1153 |
| January | Gamma | -743.523 | 1,491.046 | 1,496.296 | 0.0200 | 0.9952 | 0.0516 |
| | Weibull | **-741.671** | **1,487.343** | **1,492.593** | **0.0136** | **0.9978** | **0.0351** |
| | Log-logistic | -749.126 | 1,502.253 | 1,507.503 | 0.0277 | 0.9908 | 0.0618 |
| | Gumbel | -743.578 | 1,491.157 | 1,496.407 | 0.0180 | 0.9961 | 0.0413 |
| | Log-normal | -755.295 | 1,514.590 | 1,519.840 | 0.0512 | 0.9686 | 0.1044 |
| | Inverse Gaussian | -776.638 | 1,557.277 | 1,562.527 | 0.1232 | 0.8178 | 0.2193 |
| | Inverse Weibull | -787.885 | 1,579.769 | 1,585.019 | 0.1135 | 0.8455 | 0.2042 |
| | Inverse Gamma | -792.645 | 1,589.290 | 1,594.540 | 0.1229 | 0.8187 | 0.2181 |
| February | Gamma | -747.453 | 1,498.906 | 1,504.156 | 0.0220 | 0.9942 | 0.0568 |
| | Weibull | **-746.675** | **1,497.351** | **1,502.601** | 0.0200 | 0.9952 | 0.0541 |
| | Log-logistic | -752.196 | 1,508.392 | 1,513.642 | 0.0263 | 0.9917 | 0.0635 |
| | Gumbel | -748.806 | 1,501.613 | 1,506.863 | **0.0191** | **0.9956** | **0.0518** |
| | Log-normal | -751.313 | 1,506.627 | 1,511.877 | 0.0364 | 0.9841 | 0.0804 |
| | Inverse Gaussian | -752.446 | 1,508.892 | 1,514.142 | 0.0492 | 0.9709 | 0.1056 |
| | Inverse Weibull | -766.500 | 1,536.999 | 1,542.249 | 0.0741 | 0.9341 | 0.1424 |
| | Inverse Gamma | -760.245 | 1,524.490 | 1,529.740 | 0.0642 | 0.9505 | 0.1306 |
| March | Gamma | **-748.943** | **1,501.887** | **1,507.137** | **0.0272** | **0.9911** | 0.0694 |
| | Weibull | -749.701 | 1,503.402 | 1,508.652 | 0.0328 | 0.9871 | 0.0803 |
| | Log-logistic | -752.686 | 1,509.372 | 1,514.622 | 0.0324 | 0.9874 | 0.0682 |
| | Gumbel | -750.536 | 1,505.072 | 1,510.322 | 0.0357 | 0.9847 | 0.0881 |
| | Log-normal | -751.583 | 1,507.167 | 1,512.416 | 0.0273 | **0.9911** | **0.0640** |

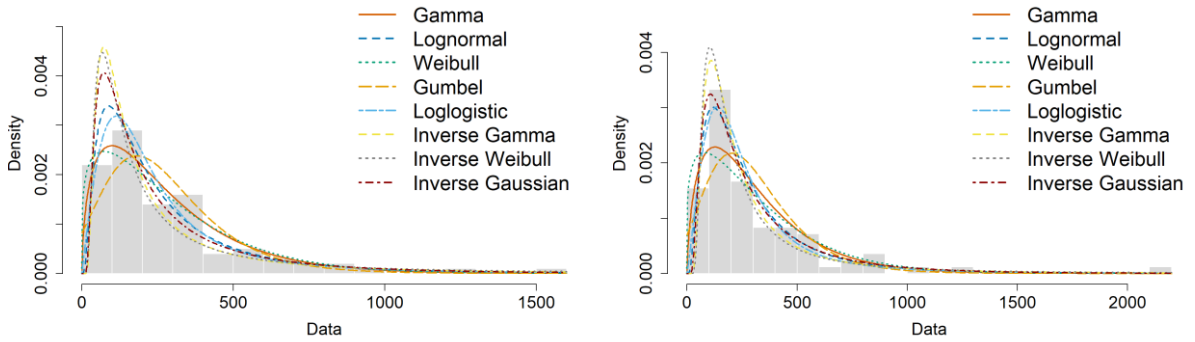
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Inverse Gaussian | -753.189 | 1,510.379 | 1,515.629 | 0.0323 | 0.9875 | 0.0815 |
| | Inverse Weibull | -768.092 | 1,540.184 | 1,545.434 | 0.0576 | 0.9602 | 0.1230 |
| | Inverse Gamma | -760.328 | 1,524.657 | 1,529.906 | 0.0434 | 0.9774 | 0.1013 |
| April | Gamma | -707.709 | 1,419.419 | 1,424.649 | 0.0206 | 0.9949 | 0.0705 |
| | Weibull | -707.603 | 1,419.207 | 1,424.437 | 0.0218 | 0.9943 | 0.0508 |
| | Log-logistic | -710.884 | 1,425.767 | 1,430.998 | 0.0261 | 0.9918 | 0.0681 |
| | Gumbel | **-707.421** | **1,418.842** | **1,424.072** | **0.0157** | **0.9970** | **0.0499** |
| | Log-normal | -713.879 | 1,431.759 | 1,436.989 | 0.0416 | 0.9792 | 0.1073 |
| | Inverse Gaussian | -719.252 | 1,442.505 | 1,447.735 | 0.0648 | 0.9497 | 0.1443 |
| | Inverse Weibull | -737.905 | 1,479.810 | 1,485.041 | 0.0931 | 0.8960 | 0.1596 |
| | Inverse Gamma | -730.291 | 1,464.582 | 1,469.812 | 0.0792 | 0.9246 | 0.1618 |

**Table 5. Continued.**

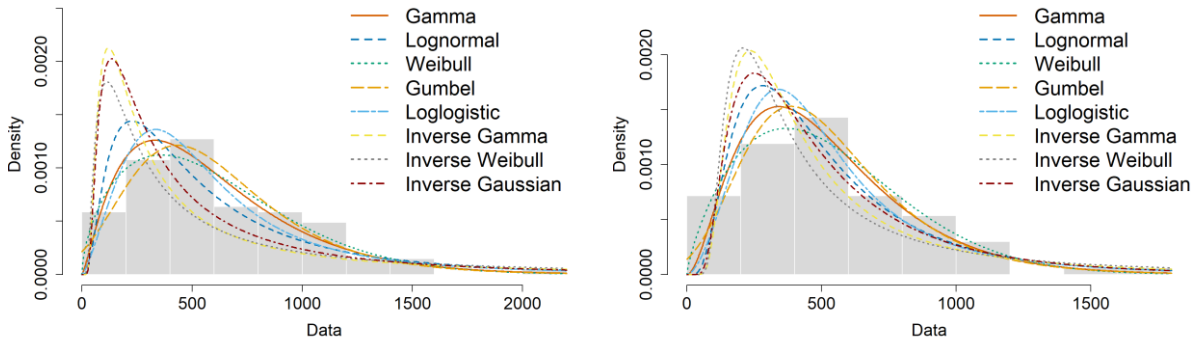
| *Whyanbeel Valley station* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Month* | *Distribution* | $\ln L$ | $AIC$ | $BIC$ | $RMSE$ | $R^2$ | $KS$ |
| December | Gamma | -563.475 | 1,130.950 | 1,135.812 | 0.0533 | 0.9659 | 0.1053 |
| | Weibull | -565.899 | 1,135.799 | 1,140.660 | 0.0535 | 0.9657 | 0.0925 |
| | Log-logistic | -558.653 | 1,121.306 | 1,126.167 | 0.0234 | 0.9934 | 0.0597 |
| | Gumbel | -572.436 | 1,148.873 | 1,153.735 | 0.0703 | 0.9407 | 0.1352 |
| | Log-normal | -556.970 | 1,117.940 | 1,122.802 | 0.0244 | 0.9929 | 0.0559 |
| | Inverse Gaussian | **-555.899** | **1,115.798** | **1,120.660** | 0.0192 | 0.9956 | **0.0465** |
| | Inverse Weibull | -558.260 | 1,120.521 | 1,125.383 | 0.0230 | 0.9937 | 0.0512 |
| | Inverse Gamma | -557.014 | 1,118.028 | 1,122.890 | **0.0185** | **0.9959** | 0.0521 |
| January | Gamma | **-592.797** | **1,189.594** | **1,194.456** | 0.0233 | 0.9935 | 0.0680 |
| | Weibull | -593.553 | 1,191.106 | 1,195.967 | 0.0238 | 0.9932 | 0.0610 |
| | Log-logistic | -595.738 | 1,195.476 | 1,200.337 | 0.0321 | 0.9876 | 0.0792 |
| | Gumbel | -594.174 | 1,192.349 | 1,197.210 | **0.0215** | **0.9944** | **0.0535** |
| | Log-normal | -595.315 | 1,194.630 | 1,199.491 | 0.0411 | 0.9797 | 0.1055 |
| | Inverse Gaussian | -596.506 | 1,197.013 | 1,201.874 | 0.0541 | 0.9649 | 0.1281 |
| | Inverse Weibull | -607.383 | 1,218.765 | 1,223.627 | 0.0768 | 0.9292 | 0.1398 |
| | Inverse Gamma | -602.899 | 1,209.798 | 1,214.660 | 0.0695 | 0.9420 | 0.1481 |
| February | Gamma | -611.577 | 1,227.153 | 1,232.062 | 0.0285 | 0.9903 | 0.0679 |
| | Weibull | **-609.977** | **1,223.955** | **1,228.864** | **0.0158** | **0.9970** | **0.0448** |
| | Log-logistic | -616.015 | 1,236.030 | 1,240.939 | 0.0335 | 0.9865 | 0.0872 |
| | Gumbel | -611.672 | 1,227.344 | 1,232.253 | 0.0235 | 0.9934 | 0.0585 |
| | Log-normal | -617.614 | 1,239.227 | 1,244.136 | 0.0459 | 0.9747 | 0.0910 |
| | Inverse Gaussian | -621.310 | 1,246.619 | 1,251.528 | 0.0673 | 0.9456 | 0.1308 |
| | Inverse Weibull | -636.510 | 1,277.020 | 1,281.929 | 0.0900 | 0.9027 | 0.1815 |
| | Inverse Gamma | -630.713 | 1,265.427 | 1,270.335 | 0.0797 | 0.9237 | 0.1491 |
| March | Gamma | -637.858 | 1,279.716 | 1,284.670 | **0.0188** | **0.9957** | 0.0631 |
| | Weibull | **-637.407** | **1,278.813** | **1,283.768** | 0.0205 | 0.9950 | **0.0469** |
| | Log-logistic | -641.893 | 1,287.785 | 1,292.740 | 0.0239 | 0.9932 | 0.0571 |
| | Gumbel | -639.556 | 1,283.113 | 1,288.067 | 0.0266 | 0.9915 | 0.0588 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Log-normal | -642.816 | 1,289.631 | 1,294.586 | 0.0309 | 0.9885 | 0.0672 |
| | Inverse Gaussian | -648.422 | 1,300.844 | 1,305.799 | 0.0604 | 0.9562 | 0.1211 |
| | Inverse Weibull | -662.351 | 1,328.702 | 1,333.657 | 0.0806 | 0.9220 | 0.1585 |
| | Inverse Gamma | -658.438 | 1,320.876 | 1,325.831 | 0.0732 | 0.9356 | 0.1410 |
| April | Gamma | -559.420 | 1,122.841 | 1,127.726 | 0.0216 | 0.9944 | 0.0574 |
| | Weibull | **-559.209** | **1,122.418** | **1,127.304** | **0.0209** | **0.9948** | **0.0552** |
| | Log-logistic | -563.423 | 1,130.845 | 1,135.731 | 0.0327 | 0.9872 | 0.0736 |
| | Gumbel | -561.231 | 1,126.463 | 1,131.348 | 0.0251 | 0.9924 | 0.0790 |
| | Log-normal | -564.587 | 1,133.174 | 1,138.059 | 0.0408 | 0.9800 | 0.0991 |
| | Inverse Gaussian | -571.236 | 1,146.472 | 1,151.357 | 0.0705 | 0.9404 | 0.1503 |
| | Inverse Weibull | -584.454 | 1,172.909 | 1,177.794 | 0.0855 | 0.9123 | 0.1571 |
| | Inverse Gamma | -581.452 | 1,166.904 | 1,171.789 | 0.0810 | 0.9212 | 0.1644 |

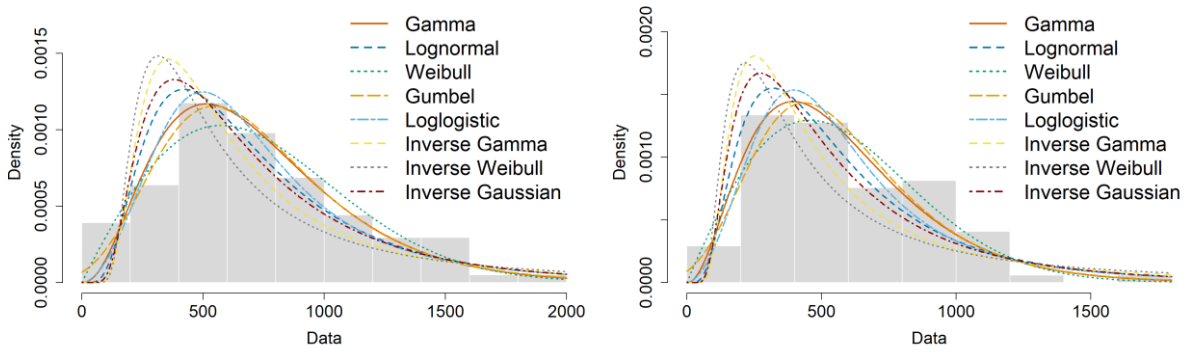
**Tully Sugar Milly station** **Whyanbeel Valley station**



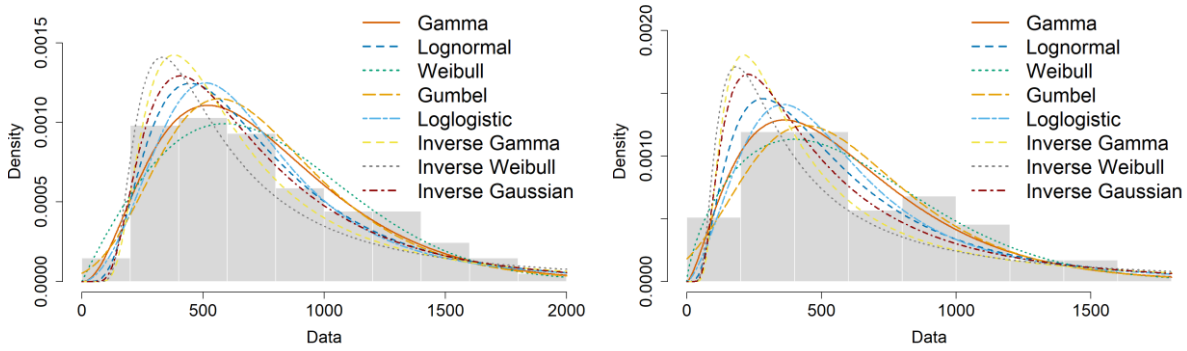

**(a) December**




**(b) January**



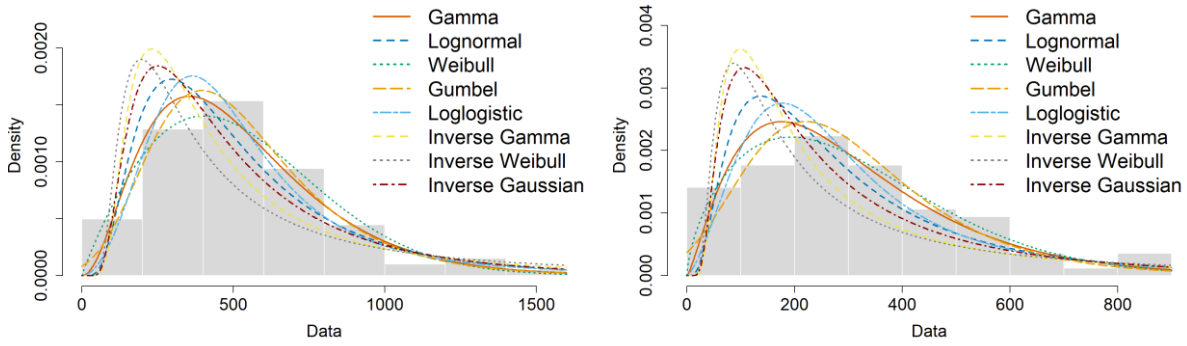

**(c) February**




**(d) March**

**Figure 2. The fitted density plots and histograms for monthly rainfall data recorded during the wet season at Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations.**

**Tully Sugar Milly Station** **Whyanbeel Valley station**




**(e) April**

**Figure 2. Continued**

For Tully Sugar Mill station, Log-normal distribution shows the best performance for December in terms of all model selection criteria and goodness-of-fit tests considered in this study, which is also supported by Figure 2. For January, Weibull distribution significantly outperforms its rivals with respect to all considered model selection criteria, goodness-of-fit tests and visual assessments. For February, Weibull distribution yields the best overall fit in terms of $\ln L$, $AIC$ and $BIC$ values, which is further confirmed by Figure 2. If $KS$, RMSE and

$R^2$ are taken into consideration, Gumbel distribution is also preferable. For March, Gamma distribution provides the best overall fit when $\ln L$, $AIC$, $BIC$ and RMSE criteria and the corresponding fitted pdf plots are considered. On the other hand, $KS$ test favors Log-normal distribution, whereas Log-normal and Gamma are competitive in terms of $R^2$. For April, it is obvious from Table 5 that Gumbel distribution performs better than the other candidate distributions, see also Figure 2.

For Whyanbeel Valley station, Inverse Gaussian distribution shows the best overall performance for December in terms of $\ln L$, $AIC$, $BIC$ and KS values, which is further confirmed by Figure 2. However, Inverse-Gamma distribution is also preferable when RMSE and $R^2$ values are considered. For January, Gamma distribution provides the best overall fit when $\ln L$, $AIC$, $BIC$ criteria and the corresponding fitted pdf plots are considered. On the other hand, $RMSE$, $R^2$ and $KS$ favor Gumbel distribution. For February and April, Weibull distribution consistently outperforms the other candidates, which is evident in both Table 5 and Figure 2. For March, on the other hand, Weibull distribution is preferable in terms of $\ln L$, $AIC$, $BIC$ and KS values, whereas $RMSE$, $R^2$ and the corresponding fitted pdf plots favor Gamma distribution.

## 4. CONCLUSION

In this study, the problem of determining the best-fitted distribution for monthly rainfall data obtained during the wet season from two meteorological stations located in the Far North Queensland, Australia, namely the Tully Sugar Mill and Whyanbeel Valley stations, is addressed. The modeling performance of eight probability distributions, i.e., Gamma, Weibull, Log-logistic, Gumbel, Log-normal, Inverse Gaussian, Inverse Weibull and Inverse Gamma, is compared. ML methodology is utilized to estimate the unknown distribution parameters, and comparison of the fitted distributions is conducted with respect to the widely used model selection criteria and goodness-of-fit tests, i.e. $AIC$, $BIC$, $RMSE$, $R^2$ and $KS$. Histograms with the fitted pdfs are also provided to demonstrate the modeling performance of the distributions of interest visually. Results reveal that Weibull distribution provides the best overall performance among others for both stations. Gamma is ranked as second since it yields the best fit for one month at each station. Log-normal distribution performs the best for December at Tully Sugar Mill station, whereas Gumbel distribution provides the best fit for April. Inverse Gaussian distribution is superior to others for December at Whyanbeel Valley station. It is obvious from these results that no single distribution consistently provides the best fit for all cases. Therefore, it can be concluded that rainfall characteristics may vary across stations and months, even within a similar climatic region.

## REFERENCES

[1] Laio, F. and Tamea, S. (2007). Verification tools for probabilistic forecasts of continuous hydrological variables. Hydrology and Earth System Sciences, 11(4), 1267-1277.

[2] Xu, Y. P., Booij, M. J. and Tong, Y. B. (2010). Uncertainty analysis in statistical modeling of extreme hydrological events. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 24(5), 567-578.

[3] Pan, X., Zhang, L., Potter, N. J., Xia, J. and Zhang, Y. (2011). Probabilistic modelling of soil moisture dynamics of irrigated cropland in the North China Plain. Hydrological Sciences Journal, 56(1), 123–137.

[4] Langat, P. K., Kumar, L. and Koech, R. (2019). Identification of the most suitable probability distribution models for maximum, minimum, and mean streamflow. Water, 11(4), 734.

[5] Sharma, M. A. and Singh, J. B. (2010). Use of probability distribution in rainfall analysis. New York Science Journal, 3(9), 40-49.

[6] Hasan, M. M. and Dunn, P. K. (2011). Two Tweedie distributions that are near-optimal for modelling monthly rainfall in Australia. International Journal of Climatology, 31(9), 1389-1397.

[7] Ghosh, S., Roy, M. K. and Biswas, S. C. (2016). Determination of the best fit probability distribution for monthly rainfall data in Bangladesh. American Journal of Mathematics and Statistics, 6(4), 170-174.

[8] Kumar, V., Shanu and Jahangeer (2017). Statistical distribution of rainfall in Uttarakhand, India. Applied Water Science, 7(8), 4765-4776.

[9] Bhavyashree, S. and Bhattacharyya, B. (2018). Fitting probability distributions for rainfall analysis of Karnataka, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(03), 1498-1506.

[10] Kassem, Y., Gökçekuş, H. and Gökçekuş, R. (2021). Identification of the most suitable probability distribution models for monthly and annual rainfall series in Güzelyurt Region, Northern Cyprus. Desalination and Water Treatment, 215, 427-451.

[11] Rafhida, S. A., Nurdiati, S., Budiarti, R. and Najib, M. K. (2025). Evaluation of best-fit probability distribution models for monthly rainfall in the Lake Toba Region. ZERO: Jurnal Sains, Matematika dan Terapan, 9(2), 324-334.

[12] Sharda, V. N. and Das, P. K. (2005). Modelling weekly rainfall data for crop planning in a sub-humid climate of India. Agricultural Water Management, 76(2), 120-138.

[13] Khamkong, M. and Pudprommarat, C. (2020). Statistical modeling to fit seasonal rainfall data from the Doisaket rain gauge station in Thailand. Journal of Applied Statistics and Information Technology, 5(1), 1-9.

[14] Ximenes, P. D. S. M. P., Silva, A. S. A. D., Ashkar, F. and Stosic, T. (2021). Best-fit probability distribution models for monthly rainfall of Northeastern Brazil. Water Science and Technology, 84(6), 1541-1556.

[15] Bain, L. J. and Engelhardt, M. (1992). *Introduction to probability and mathematical statistics (Vol. 4)*. Duxbury Press, Belmont, CA.

# University Students' Perceptions of Working Life: A Qualitative Study on Economic Security, Career Expectations, and Future Anxiety

**Aslınur KAVAK, Undergraduate Student**
**Fırat University, Department of Statistics**
kavakaslinur@gmail.com

**Research Assistant Dr. Mine DOĞAN**
**Fırat University, Department of Statistics**
mine.dogan@firat.edu.tr - 0000-0002-2745-9909

**Assist. Prof. Dr. Yunus GÜRAL**
**Fırat University, Department of Statistics**
ygural@firat.edu.tr - 0000-0002-0572-453X

## ABSTRACT

Work life plays a significant role in the processes of young individuals achieving economic independence, attaining social status, and realizing their career goals. Determining the perceptions and expectations of university students regarding working life contributes to understanding the opportunities and problems they encounter during their transition to working life. This research aims to deeply examine university students' perceptions of working life, their sources of motivation, their expectations from managers, and their future job anxieties.

The research was conducted within the framework of a descriptive design, a qualitative research method. The study group consisted of 16 students studying at Fırat University, selected on a voluntary basis. Data were collected through a semi-structured interview form consisting of open-ended questions prepared by the researcher. The obtained interview data were coded using the MAXQDA qualitative data analysis program and analyzed using content analysis.

As a result of the analysis of the obtained interview data, it was determined that the participants' perceptions and evaluations of working life were concentrated in five main dimensions. These dimensions are sources of motivation, relationships with managers, happiness in working life, job continuity, and future expectations. The findings indicate that salary/income expectations and professional development opportunities are prominent factors in students' motivation. Communication, understanding, and respect were identified as the most important expectations from managers. Participants mostly defined happiness in their work life as receiving fair compensation for their work and having a peaceful work environment. In future-oriented assessments, themes of uncertainty and anxiety were prominent.

In conclusion, the research reveals that university students' expectations regarding their work life are not limited solely to economic factors; they are also closely related to supportive management approaches, professional development opportunities, and a sense of security.

**Keywords: work-life, university students, career expectations, future anxiety, qualitative research.**

# MOBİL OYUN SEKTÖRÜNDE KULLANICI KAYBI TAHMİNİ

**Hakan AKKAYA**

Yıldız Teknik Üniversitesi,

hakanakkayaa05@gmail.com - 0009-0002-3213-5527

**Doç. Dr. Elif TUNA**

Yıldız Teknik Üniversitesi,

eozturk@yildiz.edu.tr - 0000-0001-8572-3109

## ÖZET

Dijital oyun sektörünün hızla büyümesiyle birlikte, kullanıcı tutundurma ve oyuncu kaybı analizi, oyun geliştiricileri için kritik bir finansal ve operasyonel odak noktası haline gelmiştir. Bu çalışmada, bir mobil oyun veri seti kullanılarak oyuncuların oyunu terk etme dinamikleri veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleriyle incelenmiştir. Araştırma kapsamında, oyuncuların oyun içi ilerleme sekansları ile seviye bazlı yapısal zorluk metrikleri birleştirilerek hibrit bir analiz matrisi oluşturulmuştur. Veri seti üzerinde Lojistik Regresyon, Probit Regresyon, Random Forest ve Gradient Boosting Machine (GBM) modelleri çalıştırılmış; modellerin performansları AUC-ROC metrikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Keşifsel veri analizlerinde, literatürdeki Akış Teorisi'ni destekleyen iki yönlü bir churn dinamiği saptanmıştır. Genelde oyuncu kaybının sadece aşırı zorluktan kaynaklandığı varsayılsa da yapılan korelasyon ve histogram analizleri, seviye geçilme oranlarının çok yüksek olduğu kolay seviyelerde de "sıkılma" faktöründen ötürü ciddi kopuşlar yaşandığını; düşük geçilme oranına sahip zor seviyelerde ise "hayal kırıklığı" kaynaklı kayıplar oluştuğunu ampirik olarak ortaya koymuştur. Modelleme sonuçlarında, ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarının (Random Forest ve GBM), oyuncu davranışlarındaki doğrusal olmayan bu karmaşık yapıyı geleneksel istatistiksel modellere kıyasla daha yüksek doğrulukla tahmin ettiği saptanmıştır. Gini Index değişken önem sıralamasına göre oyuncu kaybını öngörmede en ayırt edici özniteliğin ortalama tekrar deneme sayısı olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, oyun tasarımcıları için dinamik zorluk optimizasyonu ve erken uyarı sistemlerine yönelik stratejik öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Oyuncu Kaybı (Churn) Analizi, Oyun Analitiği, Makine Öğrenmesi, Akış Teorisi, Veri Madenciliği.

# YAPAY ZEKA İLE KREDI NOTU HESAPLAMASI VE BİR UYGULAMA

**Yüksek Lisans Öğrencisi Dursun YILMAZ**
Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü,
dursunyilmaz363@gmail.com - 0009-0001-7084-4204
**Prof.Dr.Aysun AYTAÇ**
Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü
aysun.aytac@ege.edu.tr – Orcid: 0000-0003-2086-8969

## ÖZET

Bankacılık sektöründe kredi verme süreçleri, finansal risk yönetiminin en önemli bileşenlerinden biridir. Kredi başvurusunda bulunan bireylerin geri ödeme performanslarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, bankaların karşılaşabileceği kredi risklerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kredi notu sistemleri uzun yıllardır kullanılmasına rağmen, artan veri hacmi ve müşteri davranışlarının karmaşık yapısı karşısında çeşitli sınırlılıklar göstermektedir. Bu durum, kredi değerlendirme süreçlerinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımını gündeme getirmiştir.

Bu tez çalışmasında, kredi notu tahmininde yapay zekâ tabanlı yaklaşımların etkinliği incelenmiş ve farklı makine öğrenmesi algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın teorik kısmında kredi notu, kredi riski ve kredi risk yönetimi kavramları ele alınmış; geleneksel kredi skorlama yöntemleri ile yapay zekâ tabanlı yöntemler karşılaştırılmıştır. Literatür incelemesi sonucunda, kredi skorlama alanında makine öğrenmesi uygulamalarının giderek yaygınlaştığı ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha başarılı sonuçlar sunduğu görülmüştür.

Uygulama bölümünde, bankacılık verilerine benzer özellikler taşıyan bir veri seti kullanılarak kredi notu tahmin modelleri geliştirilmiştir. Lojistik regresyon, karar ağaçları, Random Forest, XGBoost ve yapay sinir ağları algoritmaları uygulanmış; modeller doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skoru gibi performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle Random Forest ve XGBoost algoritmalarının kredi riski tahmininde daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemlerinin kredi notu tahmininde etkin ve güvenilir sonuçlar üretebildiği, bankaların kredi risk yönetimi süreçlerine önemli katkılar sağlayabileceği belirlenmiştir. Çalışma, finans ve yapay zekâ alanlarının kesişiminde yer alarak hem akademik literatüre hem de bankacılık uygulamalarına katkı sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kredi Notu, Kredi Riski, Yapay Zekâ, Kredi Skorlama, Random Forest, XGBoost.

# LAMBDA-MODIFIED BÉZIER CURVES FOR AIRFOIL GEOMETRY APPROXIMATION AND LEADING-EDGE CONTROL

**Assoc. Prof. Dr. Bihter DAS**
*Department of Software Engineering, Firat University*
bihterdas@firat.edu.tr/*0000-0002-2498-3297*

**Assoc. Prof. Dr. Gulden ALTAY SUROGLU**
*Department of Mathematics, Fırat University*
*galtay@firat.edu.tr /0000-0003-1976-3465*

## ABSTRACT

Bézier curves are among the most fundamental tools in parametric curve modeling, widely used in computer-aided design (CAD), aeronautical engineering, and geometric modeling. In this study, we introduce a lambda (λ) modification to the classical Bézier curve formulation by scaling the endpoint tangent vectors through a scalar parameter $\lambda \in \mathbb{R}^+$. Modified Hermite-type basis functions together with $C^0$, $C^1$, $G^1$, and conditional $C^2$ continuity properties are derived mathematically. The affine invariance and geometric behavior of the proposed framework are also investigated analytically. An exact closed-form endpoint curvature formulation together with an analytical leading-edge radius expression is obtained for the proposed λ-modified Bézier framework. In addition, the shape sensitivity behavior of the λ parameter is analyzed analytically. The proposed framework is validated on four airfoil profiles, namely EPLER205, FX 63-137, RAE 2822, and S1223, using λ-controlled Bézier approximation and geometric fitting analysis. The obtained results demonstrate that the proposed λ-modified Bézier formulation provides accurate geometric approximation together with effective single-parameter control of leading-edge curvature and airfoil shape characteristics. Geometric fitting accuracy was evaluated using RMSE, MAE, and maximum absolute error metrics together with exact leading-edge radius analysis for different λ values.

**Keywords:** Bézier curves, λ-modified curves, shape parameterization, airfoil geometry representation, leading-edge curvature control.

## 1. INTRODUCTION

Bézier curves, introduced independently by Pierre Bézier and Paul de Casteljau in the 1960s, have become a cornerstone of parametric geometric modeling (Bézier, 1972; Farin, 2002). Their mathematical elegance, rooted in Bernstein polynomial bases, makes them highly

tractable for analysis, while their geometric properties, convex hull containment, endpoint interpolation, and affine invariance, make them ideally suited for design applications (Piegl & Tiller, 1997; Hu et al. 2017).

In aeronautical engineering, the precise parametric description of wing cross-sections is critical for aerodynamic performance. Classical approaches include the NACA four- and five-digit series (Abbott & von Doenhoff, 1959), which describe thickness and camber distributions analytically. More recently, B-spline and Bézier-based approaches have been widely adopted in aerodynamic shape parametrization and airfoil geometry representation due to their flexibility and smooth geometric behavior (Kulfan, 2008; Masters et al., 2017). However, classical Bézier curves provide limited geometric flexibility unless additional control points are introduced, which increases parametrization complexity and reduces computational efficiency in practical design applications. Shape parameter methods have emerged as a powerful alternative for enhancing the geometric flexibility of spline-based curves without increasing the polynomial degree or the number of control points (Wang & Wang, 2005; Hu&Wu, 2019; Han, 2011). Wang & Wang (2005) constructed Bézier basis functions with a shape parameter via an integral approach, showing that the curve shape can be adjusted with the same control polygon. Hu et al. (2015) studied the shape modification of λ-Bézier curves through constrained optimization of position and tangent vectors. Maqsood et al. (2020) introduced generalized trigonometric Bézier curves with two shape parameters and established their continuity conditions. In parallel, Altay Suroğlu & Altay (2024, 2025) showed that applying a scalar λ parameter to scale the tangent vectors of Catmull-Rom splines yields a family of curves with analytically controllable curvature and rigorous continuity properties. This study applies the same tangent-scaling philosophy to Bézier curves, deriving a one-parameter curve family whose endpoint curvature and leading-edge radius admit closed-form analytical expressions. The proposed framework is further validated through geometric approximation experiments on multiple airfoil profiles. The main contributions of this paper are summarized as follows:

- A novel λ-modified Bézier curve formulation is introduced by scaling the endpoint tangent vectors of classical Bézier curves through a single scalar shape parameter λ.
- Modified Hermite-type basis functions are derived together with rigorous continuity conditions including $C^0$, $C^1$, $G^1$, and conditional $C^2$ continuity properties.
- The affine invariance, variation diminishing behavior, and analytical shape sensitivity $\partial B_\lambda/\partial\lambda$ of the proposed framework are investigated mathematically.
- An exact closed-form endpoint curvature formulation, $\kappa_\lambda(0) = (2/3)\cdot|\lambda A+B|/(\lambda^2\cdot|P_1-P_0|^3)$, is derived for λ-modified Bézier curves, enabling direct analytical control of leading-edge geometry.
- The proposed framework is geometrically validated on four airfoil profiles through λ-controlled Bézier approximation, leading-edge sensitivity analysis, and exact leading-edge radius evaluation.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 reviews the mathematical foundations of classical Bézier curves. Section 3 introduces the proposed λ-modified Bézier formulation and presents its analytical properties. Section 4 presents the geometric validation

studies conducted on four airfoil profiles together with leading-edge sensitivity and curvature analyses. Finally, Section 5 concludes the study.

## 2. CLASSICAL BÉZIER CURVES: DEFINITION AND PROPERTIES

### 2.1. Bernstein Basis and Bézier Curve Definition

A degree-n Bézier curve is defined by a sequence of n+1 control points $P_0, P_1, \ldots, P_n \in \mathbb{R}^3$ and is given by (Farin, 2002):

$$B(t) = \Sigma_{i=0}^{n} B_{i,n}(t) \cdot P_i, \quad t \in [0,1] \tag{1}$$

where the Bernstein basis polynomials are:

$$B_{i,n}(t) = C(n,i) \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i}, \quad i = 0, 1, \ldots, n \tag{2}$$

with $C(n,i) = n! / (i!(n-i)!)$ the binomial coefficient. The Bernstein basis satisfies the following fundamental properties:

(a) Partition of Unity: $\Sigma_{i=0}^{n} B_{i,n}(t) = 1$ for all $t \in [0,1]$.

(b) Non-negativity: $B_{i,n}(t) \geq 0$ for all $t \in [0,1]$.

(c) Symmetry: $B_{i,n}(t) = B_{n-i,n}(1-t)$.

(d) Endpoint interpolation: $B(0) = P_0$ and $B(1) = P_n$.

(e) Endpoint tangents:

$$B'(0) = n(P_1 - P_0), \quad B'(1) = n(P_n - P_{n-1}) \tag{3}$$

(f) Convex hull property: The curve lies entirely within the convex hull of its control points.

### 2.2. Curvature of Classical Bézier Curves

For a parametric curve $B(t) \in \mathbb{R}^3$, the curvature is defined as:

$$\kappa(t) = \|B'(t) \times B''(t)\| / \|B'(t)\|^3 \tag{4}$$

For the cubic (n=3) case with control points $P_0, P_1, P_2, P_3$, the first and second derivatives are:

$$B'(t) = 3[(P_1-P_0)(1-t)^2 + 2(P_2-P_1)t(1-t) + (P_3-P_2)t^2] \tag{5}$$

$$B''(t) = 6[(P_2 - 2P_1 + P_0)(1-t) + (P_3 - 2P_2 + P_1)t] \tag{6}$$

The curvature at the endpoints takes the particularly simple forms:

$$\kappa(0) = 2\|(P_1-P_0) \times (P_2-P_1)\| / (3\|P_1-P_0\|^3) \tag{7a}$$

$$\kappa(1) = 2\|(P_2-P_1) \times (P_3-P_2)\| / (3\|P_3-P_2\|^3) \tag{7b}$$

## 3. LAMBDA-MODIFIED BÉZIER CURVES

### 3.1. Definition via Tangent Scaling

The core idea of the λ-modification is to scale the endpoint tangent vectors of a Bézier curve by a positive scalar λ, while preserving the endpoint interpolation conditions. This is achieved by modifying the first and last legs of the control polygon to have effective length λ times the original.

Definition 3.1.1. Given control points $P_0, P_1, \ldots, P_n \in \mathbb{R}^3$ and a scalar $\lambda \in \mathbb{R}^+$, the λ-modified Bézier curve is defined as:

$$B_\lambda(t) = \Sigma_{i=0}^{n} \tilde{b}_{i,n}(t;\lambda) \cdot P_i, \quad t \in [0,1] \tag{8}$$

where the λ-modified basis functions $\tilde{b}_{i,n}(t;\lambda)$ are constructed to satisfy:

$$B_\lambda'(0) = \lambda \cdot n(P_1 - P_0), \quad B_\lambda'(1) = \lambda \cdot n(P_n - P_{n-1}) \tag{9}$$

while maintaining $B_\lambda(0) = P_0$ and $B_\lambda(1) = P_n$. For the cubic case (n = 3), the λ-modified basis functions are explicitly given by:

$$\tilde{b}_0(t;\lambda) = (2-3\lambda)t^3 + (6\lambda-3)t^2 - 3\lambda t + 1 \tag{10a}$$

$$\tilde{b}_1(t;\lambda) = 3\lambda t^3 - 6\lambda t^2 + 3\lambda t \tag{10b}$$

$$\tilde{b}_2(t;\lambda) = -3\lambda t^3 + 3\lambda t^2 \tag{10c}$$

$$\tilde{b}_3(t;\lambda) = (3\lambda-2)t^3 + (3-3\lambda)t^2 \tag{10d}$$

These basis functions reduce to the standard Bernstein polynomials when λ = 1; their full derivation via Hermite interpolation conditions is given in Appendix A. The construction differs from those of Wang & Wang (2005) and Hu et al. (2015), where shape parameters enter through integral modifications of the Bernstein basis or through constrained optimization of control points. Here the modified basis arises directly from the endpoint tangent-scaling conditions of Equation (9), yielding explicit polynomial expressions whose curvature properties are analyzed in Section 3.5.

### 3.2. Properties of λ-Modified Basis Functions

Proposition 3.2.1. The λ-modified basis functions $\tilde{b}_{i,n}(t;\lambda)$ satisfy:

(a) Endpoint interpolation: $\tilde{b}_0(0;\lambda) = 1$ and $\tilde{b}_n(1;\lambda) = 1$; all others vanish at t = 0 and t = 1.

(b) Tangent scaling: $B_\lambda'(0) = \lambda n(P_1 - P_0)$ and $B_\lambda'(1) = \lambda n(P_n - P_{n-1})$ as required by Equation (9).

(c) Classical recovery: When λ = 1, $\tilde{b}_{i,n}(t;1) = B_{i,n}(t)$, recovering the standard Bernstein basis.

(d) Partition of unity: $\Sigma_i \tilde{b}_{i,n}(t;\lambda) = 1$ for all $t \in [0,1]$ and all $\lambda \in \mathbb{R}^+$. This follows from the Hermite construction: adding up the four basis functions yields identically 1 regardless of λ (verified by direct computation). Consequently, affine invariance is preserved: for any affine map f(P) = AP + v, one has $B_\lambda(f(P_0),\ldots,f(P_3))(t) = f(B_\lambda(P_0,\ldots,P_3)(t))$. This is in contrast to some shape-parameter families in the literature (Wang & Wang, 2005), where partition of unity is broken. However, the basis functions $\tilde{b}_i$ are not non-negative for all $\lambda \neq 1$ — for example, at t = 1/2 with λ = 2, $\tilde{b}_0 = \tilde{b}_3 = -1/4$ so the convex hull property does not hold and the variation diminishing property (VDP) is lost.

### 3.3. Geometric Properties: Affine Invariance, Variation Diminishing, and Shape Sensitivity

Proposition 3.3.1 (Affine Invariance). The λ-modified Bézier curve is affinely invariant: for any affine map f(P) = AP + v, $B_\lambda(f(P_0), f(P_1), f(P_2), f(P_3))(t) = f(B_\lambda(P_0, P_1, P_2, P_3)(t))$.

Proof. Direct computation shows that $\tilde{b}_0(t;\lambda) + \tilde{b}_1(t;\lambda) + \tilde{b}_2(t;\lambda) + \tilde{b}_3(t;\lambda) = 1$ for all $t \in [0,1]$ and all $\lambda \in \mathbb{R}^+$. Since $B_\lambda$ is linear in the control points and the basic functions sum to 1, affine invariance follows immediately. □

Remark 3.3.2 (Convex Hull and Variation Diminishing). Although partition of unity holds, the basic functions $\tilde{b}_i(t;\lambda)$ are not non-negative for $\lambda \neq 1$. For example, at t = 1/2 with λ = 2: $\tilde{b}_0(1/2;$

2) = $\tilde{b}_3(1/2; 2) = -1/4$, while $\tilde{b}_1 = \tilde{b}_2 = 3/4$. More generally, at t = 1/2, $\tilde{b}_0 = \tilde{b}_3 = (4-3\lambda)/8$, which is negative whenever $\lambda > 4/3$. As a consequence: (i) the convex hull property does not hold for $\lambda > 4/3$, and the curve can venture outside the convex hull of its control points; (ii) the variation diminishing property (VDP) fails, since VDP requires both partition of unity and non-negativity of the basis. In aerodynamic design practice, this means that for $\lambda > 4/3$, the resulting airfoil profile should be validated numerically to ensure physically admissible shapes.

Proposition 3.3.3 (Shape Sensitivity). The shape sensitivity of the λ-modified Bézier curve with respect to the parameter λ is given in closed form by:

$$\partial B_\lambda/\partial\lambda = -3t(t-1)[(P_0-P_1)t + (P_1-P_0) + (P_2-P_3)t] \quad (13a)$$

Several properties follow immediately: (i) $\partial B_\lambda/\partial\lambda = 0$ at t = 0 and t = 1, confirming that the endpoints are independent of λ; (ii) the sensitivity is maximized at interior values of t, with the maximum magnitude depending on the control point geometry; (iii) the sensitivity vanishes identically when $P_0 = P_1$ and $P_2 = P_3$, i.e., when the control polygon has zero-length end legs — a degenerate case to be avoided in practice. For a typical airfoil control polygon, the sensitivity is largest near t = 0.5, meaning that λ controls the mid-chord curvature most strongly. This formula is directly useful in gradient-based aerodynamic shape optimization, where $\partial B_\lambda/\partial\lambda$ provides the design velocity field for the λ design variable.

Remark 3.3.4 (Relationship to Cubic Hermite Curves). The λ-modified Bézier construction belongs to the class of cubic Hermite curves, which are defined by two endpoint positions and two endpoint tangent vectors. What distinguishes the present family is that the tangent vectors are not free parameters but are geometrically constrained to the directions of the control polygon legs: $m_0 = 3\lambda(P_1-P_0)$ and $m_1 = 3\lambda(P_3-P_2)$. This constraint means that the tangent directions are inherited from the control polygon, preserving the geometric design intuition characteristic of Bézier curves, while the parameter λ uniformly scales the tangent magnitudes. A general cubic Hermite curve with unconstrained tangent vectors does not admit this interpretation. The λ-modified Bézier curve may therefore be understood as a Hermite curve parameterized by the Bézier control polygon, combining the shape-design language of the latter with the endpoint tangent control of the former.

### 3.4. Continuity Properties

**Theorem 3.3.1** ($C^0$ Continuity). The λ-modified Bézier curve $B_\lambda(t)$ satisfies $C^0$ continuity at all $t \in [0,1]$. In particular, $B_\lambda(0) = P_0$ and $B_\lambda(1) = P_n$, so that adjacent segments sharing the endpoint $P_n$ are joined without gaps.

Proof. By construction, $\tilde{b}_0(0; \lambda) = 1$ and all other basis functions vanish at t = 0; similarly, $\tilde{b}_n(1; \lambda) = 1$ and all others vanish at t = 1. Hence $B_\lambda(0) = P_0$ and $B_\lambda(1) = P_n$ regardless of λ. □

Theorem 3.3.2 ($C^1$ Continuity). Two λ-modified Bézier segments $B_i_\lambda$ and $B_{i+1}_\lambda$ satisfy $C^1$ continuity at their common endpoint if and only if:

$$\lambda_i \cdot (P_{i,n} - P_{i,n-1}) = \lambda_{i+1} \cdot (P_{i+1,1} - P_{i+1,0}) \quad (11)$$

*Proof.* The tangent of segment i at t = 1 is $\lambda_i \cdot n(P_{i,n} - P_{i,n-1})$ and the tangent of segment i+1 at t = 0 is $\lambda_{i+1} \cdot n(P_{i+1,1} - P_{i+1,0})$. $C^1$ continuity requires these to be equal. Since the endpoint is shared ($P_{i,n} = P_{i+1,0}$), Equation (11) follows directly. □

Corollary 3.3.3. When $\lambda_i = \lambda_{i+1} = \lambda$ for all segments, $C^1$ continuity reduces to the standard Bézier $C^1$ condition: the last control leg of segment i and the first control leg of segment i+1 must be collinear and of equal length. The λ parameter then serves as a uniform scale that does not affect this geometric condition.

**Theorem 3.3.4** ($G^1$ Continuity). Two λ-modified Bézier segments satisfy $G^1$ (geometric tangent) continuity at their common endpoint if and only if the tangent vectors are positively proportional:

$$\lambda_i \cdot (P_{i,n} - P_{i,n-1}) = \alpha \cdot \lambda_{i+1} \cdot (P_{i+1,1} - P_{i+1,0}) \quad \text{for some } \alpha > 0 \tag{12}$$

This condition is less restrictive than $C^1$ and allows different tangent magnitudes between segments, which is particularly useful in aerodynamic shape design where different wing regions may require different curvature levels.

**Theorem 3.3.5** ($C^2$ Continuity Condition). Two adjacent λ-modified Bézier segments $B_i_\lambda$ and $B_{i+1}_\lambda$ achieve $C^2$ continuity at their common endpoint if and only if:

$$\lambda_i \cdot (P_{i,n} - 2P_{i,n-1} + P_{i,n-2}) = \lambda_{i+1} \cdot (P_{i+1,2} - 2P_{i+1,1} + P_{i+1,0}) \tag{13}$$

*Proof.* From the basic functions in Appendix A, the second derivatives at the junction are: $B_\lambda_i''(1) = 6\lambda_i(P_{i,n} - 2P_{i,n-1} + P_{i,n-2})$ and $B_\lambda_{i+1}''(0) = 6\lambda_{i+1}(P_{i+1,2} - 2P_{i+1,1} + P_{i+1,0})$. Setting these equal yields Equation (13).

### 3.5. Curvature Analysis

**Proposition 3.4.1** (Curvature Scaling Law). The curvature of the λ-modified Bézier curve does not satisfy a simple global scaling law of the form $\kappa_\lambda = f(\lambda)\cdot\kappa_1$. The exact endpoint curvature formula is: $\kappa_\lambda(0) = (2/3) \cdot |\lambda \cdot A + B| / (\lambda^2 \cdot |P_1 - P_0|^3)$ where $A = (P_1 - P_0) \times (P_2 - P_3)$ and $B = (P_1 - P_0) \times (P_3 - P_0)$ are signed cross-product scalars depending only on the control point geometry. The corresponding classical curvature is $\kappa_1(0) = (2/3)\cdot|A + B| / |P_1 - P_0|^3$, so the ratio is: $\kappa_\lambda(0) / \kappa_1(0) = |\lambda A + B| / (\lambda^2 \cdot |A + B|)$ The curvature ratio $\kappa_\lambda(0)/\kappa_1(0) = |\lambda A + B|/(\lambda^2|A + B|)$ depends on both λ and the geometry of the control polygon through the scalar $B = (P_1 - P_0)\times(P_3 - P_0)$. When $B = 0$, which occurs if and only if $P_0$, $P_1$, $P_3$ are collinear, the expression reduces to $1/\lambda$. For general control polygons $B \neq 0$, and the full formula of Equation (14) governs the endpoint curvature. At interior parameter values $t \in (0,1)$, the first derivative $B_\lambda'(t)$ contains both λ-dependent and λ-independent terms, so the curvature is evaluated numerically.

$$\kappa_\lambda(0) = (2/3) \cdot |\lambda A + B| / (\lambda^2 \cdot |P_1 - P_0|^3), \quad A = (P_1 - P_0)\times(P_2 - P_3), \quad B = (P_1 - P_0)\times(P_3 - P_0) \tag{14}$$

*Proof.* The first derivative of $B_\lambda$ scales as λ relative to the classical derivative: $\|B_\lambda'(t)\| = \lambda\|B_1'(t)\|$. The second derivative scales as $\lambda^2$ for the endpoint terms, but interior terms are not uniformly scaled by λ. For the endpoint curvatures, direct substitution into Equation (4) yields:

$$B_\lambda'(0) = 3\lambda(P_1 - P_0), \quad B_\lambda''(0) = 6[\lambda(2P_0 - 2P_1 + P_2 - P_3) + (P_3 - P_0)]$$

*Substituting into* $\kappa = |B' \times B''| / |B'|^3$ *and separating the λ-dependent and λ-independent parts of B''(0) yields the formula of Equation (14). The term* $B = (P_1 - P_0)\times(P_3 - P_0)$ *arises from the* $(P_3 - P_0)$ *part of B''(0), which does not scale with λ. Setting B = 0 in Equation (14) gives* $\kappa_\lambda(0) = |A|/(\lambda^2 \cdot |P_1 - P_0|^3) = (1/\lambda)\cdot\kappa_1(0)$, *recovering the* $1/\lambda$ *scaling.* (15)

An analogous computation applies at t = 1, and the scaling extends to the full curve for the cubic case under the uniform λ assumption.

Remark 3.4.2. The endpoint curvature formula (Equation 14) exhibits two limiting behaviors of interest. When B = 0 (i.e., $P_0$, $P_1$, $P_3$ collinear), the ratio $\kappa_\lambda(0)/\kappa_1(0) = 1/\lambda$, recovering the same scaling law as in λ-modified Catmull-Rom splines (Altay Suroğlu & Altay, 2025), this is the case whenever the first control leg lies along the chord. For $\lambda \gg |B/A|$, the formula approaches the asymptote $\kappa_\lambda(0) \approx (|A|/|A+B|)\cdot(1/\lambda)\cdot\kappa_1(0)$. In both limits, the leading-edge radius grows proportionally with λ. For moderate λ and a general control polygon, the dependence on λ is given by Equation (14) evaluated for the specific geometry. The monotone relationship between λ and $r_{LE}$ holds universally, since the $\lambda^2$ factor in the denominator of $r_{LE,\lambda}$ dominates for all A and B. The curvature distribution along the interior of the curve is obtained numerically using Equation (4).

## 4. APPLICATION AND GEOMETRIC VALIDATION ON AIRFOIL PROFILES

### 4.1. Airfoil Dataset and λ-Bézier Approximation

To evaluate the geometric approximation capability of the proposed λ-modified Bézier framework, four airfoil profiles were selected: EPLER205, FX 63-137, RAE 2822, and S1223. These profiles were deliberately chosen to represent different aerodynamic characteristics and camber distributions. For each airfoil profile, the upper and lower surfaces were independently approximated using cubic λ-modified Bézier curves derived from the formulation introduced in Section 3. The approximation process was performed using a fixed control point by varying the λ parameter to investigate the geometric effect of the λ parameter on the resulting airfoil shape. The coordinates of each reference airfoil profile were normalized with respect to the chord length (c = 1), and the λ-modified Bézier curves were fitted to the reference geometry using sampled chord-directional coordinate distributions. The fit accuracy was evaluated through point-by-point geometric comparison between the reference airfoil profile and the generated λ-modified Bézier profile. Figure 1 shows the geometric approximation results obtained for λ = 0.6. The proposed frame successfully reproduces the overall geometry of all studied airfoil profiles, preserving the smoothness of the leading and trailing edge transitions.

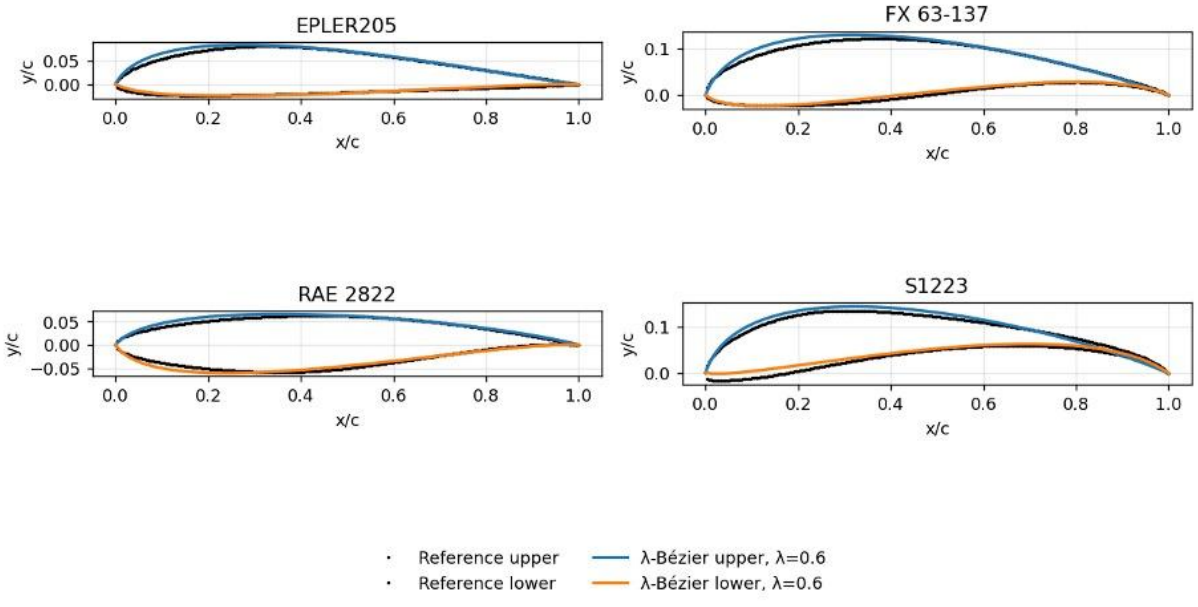


**Figure 1.** λ-modified Bézier approximations of EPLER205, FX 63-137, RAE 2822, and S1223 airfoil profiles for λ = 0.6.

4.2. Geometric Error Analysis

To quantitatively evaluate the approximate performance of the proposed λ-modified Bézier framework, geometric error measures were calculated between the Bézier profiles generated with the reference airfoil coordinates. The evaluation included Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Maximum Absolute Error measures. Table 1 summarizes the geometric fit results obtained for λ = 0.6. Among the profiles examined, EPLER205 yielded the lowest RMSE value, indicating the closest geometric fit with the reference airfoil. S1223 gave the highest approximate error due to its stronger camber and aggressive leading-edge curvature characteristics. The results demonstrate that the proposed λ-modified Bézier formulation can accurately approximate a wide range of airfoil geometries using only a limited number of control points and a single shape parameter λ.

**Table 1.** Quantitative geometric validation results of the proposed λ-modified Bézier framework for four airfoil profiles at λ = 0.6.

| **Profile** | **λ** | **RMSE** | **MAE** | **Max. Abs. Error** | **Exact LE Radius** | **Max. Thickness** | **Max. Camber** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EPLER205 | 0.6 | 0.003686 | 0.002300 | 0.011831 | 0.086271 | 0.109931 | 0.030111 |
| FX 63-137 | 0.6 | 0.005567 | 0.003698 | 0.015031 | 0.145043 | 0.144253 | 0.062886 |
| RAE 2822 | 0.6 | 0.004883 | 0.003656 | 0.011815 | 0.054864 | 0.125505 | 0.011831 |
| S1223 | 0.6 | 0.008001 | 0.006912 | 0.015200 | 0.166693 | 0.118006 | 0.092615 |

As shown in Table 1, the proposed λ-modified Bézier framework achieved low geometric approximation errors for all investigated airfoil profiles. EPLER205 yielded the lowest RMSE value, whereas S1223 exhibited relatively larger errors due to its highly cambered geometry and stronger leading-edge curvature characteristics.

4.3. Leading-Edge Sensitivity Analysis

One of the most important geometric features controlled by the λ parameter is the leading-edge behavior of the airfoil. To investigate this effect, a sensitivity analysis was performed on the S1223 upper surface for different λ values ranging from 0.6 to 1.4. Figure 2 shows the geometric response of the upper surface near the leading-edge region. As λ increases, the curvature distribution gradually shifts, creating a smoother and wider leading-edge geometry. Conversely, smaller λ values produce a sharper leading-edge behavior with a more aggressive curvature concentration near the nose region. These results confirm the analytical curvature behavior predicted by Equation (14) and demonstrate that the λ parameter provides an effective single-parameter mechanism for controlling the local airfoil geometry.

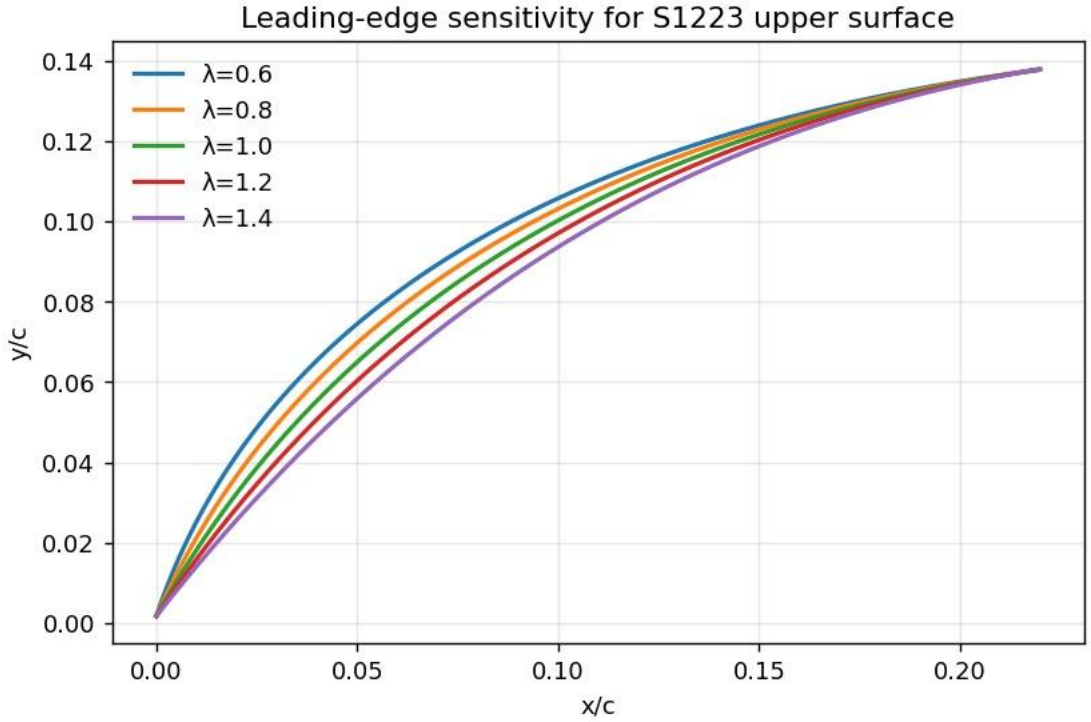



**Figure 2.** Leading-edge sensitivity analysis of the S1223 upper surface for different λ values.

4.4. Exact Leading-Edge Radius Evaluation

The exact leading-edge radius values were calculated using the modified Bézier curvature formulation. The evaluation was performed for all airfoils studied in the range of 0.6–1.4 λ. Figure 3 shows the variation of the normalized leading-edge radius (r_LE/c) with respect to λ. For all airfoils, the leading-edge radius increases with increasing λ, confirming the theoretical prediction derived from curvature scaling. Among the profiles studied, S1223 showed the largest leading-edge radius values, while RAE 2822 produced the smallest radii for lower λ values. The results demonstrate that the proposed framework provides analytical control over the leading-edge geometry.

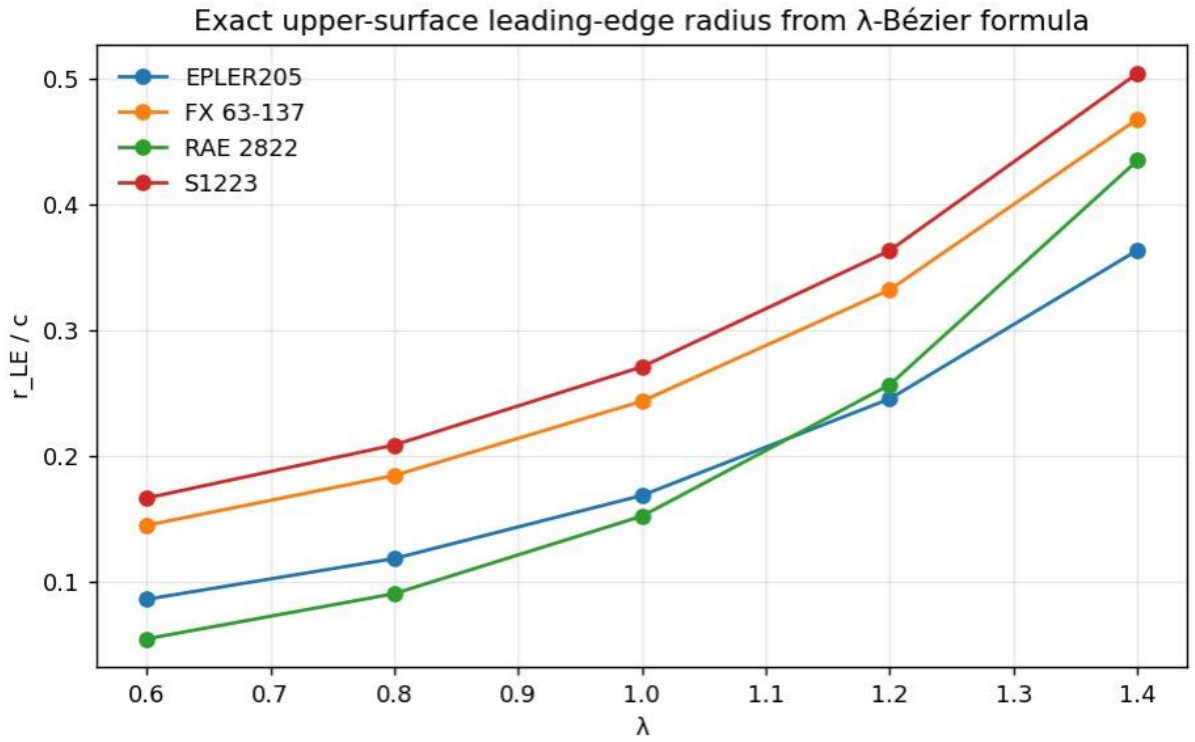



**Figure 3.** Exact leading-edge radius variation computed from the λ-modified Bézier curvature formulation for different airfoil profiles.

## 5. CONCLUSION

This study introduces a λ-modified Bézier curve framework by scaling the endpoint tangent vectors of classical cubic Bézier curves with a single scalar parameter λ. The proposed formulation preserves affine invariance while providing analytical control over curvature behavior and leading edge geometry. Modified Hermite-type basis functions, along with the continuity properties $C^0$, $C^1$, $G^1$, and conditional $C^2$, are mathematically derived. In addition, exact closed-form expressions for the endpoint curvature and leading edge radius are obtained for the λ-modified framework. The geometric behavior of the proposed method is validated on four non-NACA airfoil profiles: EPLER205, FX 63-137, RAE 2822, and S1223. The results obtained have shown that the proposed λ-modified Bézier formulation can accurately approximate different airfoil geometries using a limited number of control points and a single shape parameter. Preliminary edge sensitivity analyses further confirmed that the λ parameter provides effective local curvature control while preserving global geometric smoothness.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of 893 Turkiye (TUBITAK) under the 1001 Research Program (Project No: 125F254).

## REFERENCES

1. Abbott IH, von Doenhoff AE. Theory of Wing Sections. New York: Dover; 1959.

2. Gülden Altay Suroğlu and Z. Altay, "Geometric and Analytical Investigation of Lambda-Modified Catmull-Rom Splines with Applications to Robotic Path Planning," *Authorea*, vol. 2025, no. 0704, doi: 10.22541/au.175160890.08096968/v1.

4. W. H. P. Leslie, "Numerical control: Mathematics and applications, P. Bézier, Wiley, London, 1972. No. of pages: 240. Price: £4.95," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 456–456, 1973, doi: 10.1002/nme.1620060322.

5. Farin G. Curves and Surfaces for CAGD: A Practical Guide. 5th ed. San Francisco: Morgan Kaufmann; 2002.

6. X. Han, "A class of general quartic spline curves with shape parameters," *Computer Aided Geometric Design*, vol. 28, no. 3, pp. 151–163, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.cagd.2011.02.001.

7. G. Hu, H. Cao, S. Zhang, and G. Wei, "Developable Bézier-like surfaces with multiple shape parameters and its continuity conditions," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 45, pp. 728–747, May 2017, doi: 10.1016/j.apm.2017.01.043.

8. G. Hu, X. Ji, X. Qin, and S. Zhang, "Shape Modification for λ-Bézier Curves Based on Constrained Optimization of Position and Tangent Vector," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, no. 1, p. 735629, 2015, doi: 10.1155/2015/735629.

9. B. M. Kulfan, "Universal Parametric Geometry Representation Method," *Journal of Aircraft*, vol. 45, no. 1, pp. 142–158, Jan. 2008, doi: 10.2514/1.29958.

10. S. Maqsood, M. Abbas, G. Hu, A. L. A. Ramli, and K. T. Miura, "A Novel Generalization of Trigonometric Bézier Curve and Surface with Shape Parameters and Its Applications," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, no. 1, p. 4036434, 2020, doi: 10.1155/2020/4036434.

11. D. A. Masters, N. J. Taylor, T. C. S. Rendall, C. B. Allen, and D. J. Poole, "Geometric Comparison of Aerofoil Shape Parameterization Methods," *AIAA Journal*, vol. 55, no. 5, pp. 1575–1589, May 2017, doi: 10.2514/1.J054943.

12. Piegl L, Tiller W. The NURBS Book. 2nd Edition. Berlin: Springer; 1997.

13. W. Wen-tao and W. Guo-zhao, "Bézier curves with shape parameter," *J. Zheijang Univ.-Sci. A*, vol. 6, no. 6, pp. 497–501, Jun. 2005, doi: 10.1631/jzus.2005.A0497.

14. G. Hu and J. Wu, "Generalized quartic H-Bézier curves: Construction and application to developable surfaces," *Advances in Engineering Software*, vol. 138, p. 102723, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.advengsoft.2019.102723.

# CURVATURE AND CONTİNUİTY ANALYSİS OF Λ-MODİFİED CATMULL–ROM SPLİNES

**Assoc. Prof. Dr. Gulden ALTAY SUROGLU**
*Department of Mathematics, Fırat University*
*galtay@firat.edu.tr /0000-0003-1976-3465*

**Assoc. Prof. Dr. Bihter DAS**
*Department of Software Engineering, Firat University*
bihterdas@firat.edu.tr/*0000-0002-2498-3297*

## ABSTRACT

Catmull-Rom spline curves are widely used in geometric modeling to generate smooth interpolation curves passing through predefined control points. In this study, a modified class of Catmull-Rom spline curves obtained by adding a parameter λ to the tangent vector formulation is investigated. The proposed λ-modified formulation allows for controllable adjustment of local curvature behavior and geometric smoothness. It has been analytically shown that the proposed spline curve maintains both $C^1$ and $G^1$ continuity for constant λ values, and additional conditions to ensure $C^2$ continuity have been theoretically derived. Closed-form curvature expressions have been obtained, and the effect of λ on curvature magnitude and oscillation behavior has been numerically investigated. Furthermore, the proposed formulation has been evaluated with airfoil reconstruction experiments using representative NACA airfoil geometries. Under different λ configurations, reconstruction accuracy, curvature smoothness, and geometric continuity behavior have been quantitatively analyzed using RMSE, curvature oscillation, and arc length metrics. The results show that the λ parameter provides effective local shape control and ensures a controllable balance between reconstruction accuracy and curvature smoothness. In particular, medium λ values provide the most stable geometric reconstruction performance.

**Keywords:** Spline curves, Catmull-Rom Spline, Parametric Curve Modeling, Curvature Analysis, $C^2$ Continuity.

## 1. INTRODUCTION

In recent years, spline-based models have gained significant attention beyond traditional applications, particularly in robotics, automation, and cyber-physical systems (Feng et al., 2021; 2024; Tao et al., 2019). Catmull-Rom splines, developed by Edwin Catmull and Raphael Rom in 1974, are interpolation curves that are widely used in computer graphics, especially in modeling animations and object trajectories (Catmull & Rom, 1974). A key characteristic of these splines is that they pass through all control points, thereby enabling visually smooth and

natural motion. Due to this property, they are commonly applied in animation, virtual reality, path planning, and industrial design (Bartels & Barsky, 1987; Yüksel et al., 2011). Catmull-Rom splines perform interpolation between the second and third points of a four-point segment, using adjacent control points to define tangent vectors, typically as half the distance between neighboring points (Arasteh & Kalisz, 2021). Depending on the choice of parametrization — uniform, chordal, or centripetal, Catmull-Rom splines can exhibit different geometric behaviors (Yüksel et al., 2011). In particular, centripetal parametrization is known to minimize the occurrence of cusps and self-intersections, making the curves more visually stable (Barry & Goldman, 1988). Compared to other commonly used spline types such as B-splines and Bézier curves, Catmull-Rom splines have distinct advantages. While B-splines do not necessarily pass through control points and instead use them to shape the curve globally, Catmull-Rom splines are true interpolants, passing through each point (Piegl & Tiller, 1997; Dalkılıç, 2005). Bézier curves, on the other hand, are typically defined using a limited number of control points and construct the curve as a weighted average. While Bézier and B-splines offer global control over the curve, Catmull-Rom splines provide more localized control (Li et al., 2018; Wolberg, 1999). Defined using low-degree polynomials, Catmull-Rom splines are computationally efficient. This efficiency makes them particularly well-suited for real-time systems where both visual quality and processing speed are essential (Arasteh & Kalisz, 2021). Moreover, recent studies have introduced various modifications to improve their differential ($C^1$) and geometric ($G^1$) continuity properties. In particular, the inclusion of shape control parameters enables fine-tuning of curvature and turning behavior (DeRose & Barsky, 1993; Li et al., 2022). One noteworthy recent development is the quartic Catmull-Rom spline proposed by Li et al. (2022), which extends the classical cubic structure to provide additional shape control and energy minimization capabilities. Demonstrated the use of spline approximations in adversarial infrared attacks, highlighting the expanding role of splines in security applications. In the context of robotic systems, digital twins are increasingly used to replicate the motion, kinematics, and control of physical robot arms in a virtual environment (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2019). One of the key challenges in such systems is to generate smooth and accurate path trajectories that the robot can follow in real-time without abrupt movements or overshooting. The proposed λ-modified Catmull–Rom spline model can serve as a powerful tool for defining these paths with high local geometric control. By adjusting the λ parameter, engineers and system designers can fine-tune the curvature and smoothness of a robotic arm's trajectory, optimizing it for specific tasks such as welding, painting, or pick-and-place operations. This study extends the authors' previous study (Altay Suroğlu & Altay, 2024) by introducing three major contributions: (i) a closed-form curvature analysis of λ-modified Catmull-Rom splines and its dependence on the λ parameter; (ii) a formal investigation of conditions under which $C^2$ continuity is preserved or approximated through controlled λ variation; and (iii) a quantitative comparison of spline behavior using arc-length, maximum curvature, and oscillation metrics across a range of λ values. These additions provide a more complete mathematical characterization of the proposed spline family and broaden its applicability in engineering contexts. The main contributions of the study are as follows:

- A λ-modified Catmull–Rom spline formulation with controllable tangent scaling is proposed, and its $C^1$, $G^1$, and $C^2$ continuity properties together with curvature behavior are investigated analytically.
- The geometric effects of the λ parameter are numerically evaluated on representative NACA airfoil profiles using reconstruction accuracy and curvature-based metrics, demonstrating the capability of the proposed formulation for curvature-controlled geometric modeling.

The remainder of this study is organized as follows. Section 2 presents the mathematical formulation of classical and λ-modified Catmull–Rom splines together with their continuity properties and modified blending functions. In Section 3, the curvature behavior and $C^2$ continuity conditions of the proposed spline formulation are investigated analytically. Section 4 provides numerical and geometric analyses performed on four NACA airfoil profiles using different λ values, including reconstruction accuracy and curvature distribution evaluations. Section 5 concludes the study.

## 2. REVIEW OF INTERPOLATING SPLINES AND CATMULL–ROM CURVES

### 2.1. Definition and Properties of Catmull–Rom Spline Curves

A Catmull–Rom spline curve is defined for $t \in [0,1]$ and control points $P_i \in \mathbb{R}^3$, where i = 0, 1, …, n and $n \geq 3$. The curve is given by the following expression (Catmull & Rom, 1974; Arasteh & Kalisz, 2021; DeRose et al., 1988; Li et al., 2022):

$$Q(t) = \tfrac{1}{2}\{(t^3 - t^2)P_{i+2} + (-3t^3 + 4t^2 + t)P_{i+1} + (3t^3 - 5t^2 + 2)P_i + (-t^3 + 2t^2 - t)P_{i-1}\} \quad (1)$$

This expression can also be written using blending functions $h_k(t)$ as follows:

$$h_0(t) = \tfrac{1}{2}(-t^3 + 2t^2 - t) \quad (2a)$$

$$h_1(t) = \tfrac{1}{2}(3t^3 - 5t^2 + 2) \quad (2b)$$

$$h_2(t) = \tfrac{1}{2}(-3t^3 + 4t^2 + t) \quad (2c)$$

$$h_3(t) = \tfrac{1}{2}(t^3 - t^2) \quad (2d)$$

These blending functions satisfy the following properties:

(a) Partition of Unity: $h_0(t) + h_1(t) + h_2(t) + h_3(t) = 1$.

(b) Symmetry: $h_i(1-t) = h_{3-i}(t)$, i = 0, 1, 2, 3.

(c) Endpoint Conditions: $h_0(0) = h_2(0) = h_3(0) = 0$, $h_1(0) = 1$; $h_0(1) = h_1(1) = h_3(1) = 0$, $h_2(1) = 1$.

(d) First-derivative endpoint values:

$$h_0'(0) = -\tfrac{1}{2},\ h_1'(0) = h_3'(0) = 0,\ h_2'(0) = \tfrac{1}{2} \quad (3a)$$

$$h_0'(1) = h_2'(1) = 0,\ h_1'(1) = -\tfrac{1}{2},\ h_3'(1) = \tfrac{1}{2} \quad (3b)$$

Additionally, the intermediate tangent vectors are defined as:

$$\Delta P_{i+j} = (P_{i+j+1} - P_{i+j-1}) / 2 \quad (4)$$

which are used to construct the local interpolation between control points in Catmull–Rom spline segments (Li et al., 2022). Although Catmull–Rom splines provide $C^1$-continuous

interpolations, they may exhibit sharp corners or self-intersections when the control points are irregularly spaced. To address these issues, parametrization methods such as chordal and centripetal schemes have been introduced (Yüksel et al., 2011), improving visual smoothness and avoiding unwanted artifacts.

### 2.2. Modified Tangent-Based Spline Construction Using λ-Scaling

In classical Catmull–Rom splines, the tangent vectors used for each curve segment are defined by a fixed formula. In this study, a parameter that controls the magnitude of the tangent vectors is introduced to provide greater flexibility over the curve shape.

Definition 2.2.1. Given a sequence of control points $\{P_i\}_{i=0}^{n} \subset \mathbb{R}^3$ and a fixed parameter $\lambda \in \mathbb{R}^+$, the lambda-modified Catmull–Rom curve Q(t), defined for $t \in [0,1]$, is given by:

$$Q(t) = \tfrac{1}{2}\,[\,(\lambda t^3 - \lambda t^2)P_{i+2} + (\lambda-4)t^3 + (6-2\lambda)t^2 + \lambda t)P_{i+1} + (4-\lambda)t^3 + (\lambda-6)t^2 + 2)P_i + (-\lambda t^3 + 2\lambda t^2 - \lambda t)P_{i-1}\,] \quad (5)$$

The modified blending functions are:

$$b_0(t) = \tfrac{1}{2}(-\lambda t^3 + 2\lambda t^2 - \lambda t) \quad (6a)$$

$$b_1(t) = \tfrac{1}{2}((4-\lambda)t^3 + (\lambda-6)t^2 + 2) \quad (6b)$$

$$b_2(t) = \tfrac{1}{2}((\lambda-4)t^3 + (6-2\lambda)t^2 + \lambda t) \quad (6c)$$

$$b_3(t) = \tfrac{1}{2}(\lambda t^3 - \lambda t^2) \quad (6d)$$

The properties of the modified blending functions are summarized as follows:

(a) Partition of Unity: The λ-modified Catmull-Rom spline generally does not preserve the partition of unity. As a result, unlike classical splines, the curve may extend beyond the convex hull of its control points. However, since this modification can be applied in a controlled manner, it enhances the user's control over the shape of the curve.

(b) Symmetry: Although the classical Catmull–Rom spline possesses parametric symmetry, the λ-modified formulation does not strictly preserve this property. In path and trajectory design contexts, however, asymmetric (direction-dependent) behavior can offer distinct advantages for directional control.

(c) Endpoint Conditions:

$$b_0(0) = b_2(0) = b_3(0) = 0,\ \ b_1(0) = 1 \quad (7a)$$

$$b_0(1) = b_1(1) = b_3(1) = 0,\ \ b_2(1) = 1 \quad (7b)$$

(d) First-derivative endpoint values:

$$b_0'(0) = -\lambda/2,\ \ b_1'(0) = b_3'(0) = 0,\ \ b_2'(0) = \lambda/2 \quad (8a)$$

$$b_0'(1) = b_2'(1) = 0,\ \ b_1'(1) = -\lambda/2,\ \ b_3'(1) = 0 \quad (8b)$$

These values indicate that the derivatives of the modified blending functions at the endpoints are proportional to λ, generalizing the classical endpoint derivative conditions. The blending functions of the lambda-modified Catmull–Rom spline for $\lambda = 0.5, 1.0, 1.5,$ and 2.0 are shown in Figure 1.

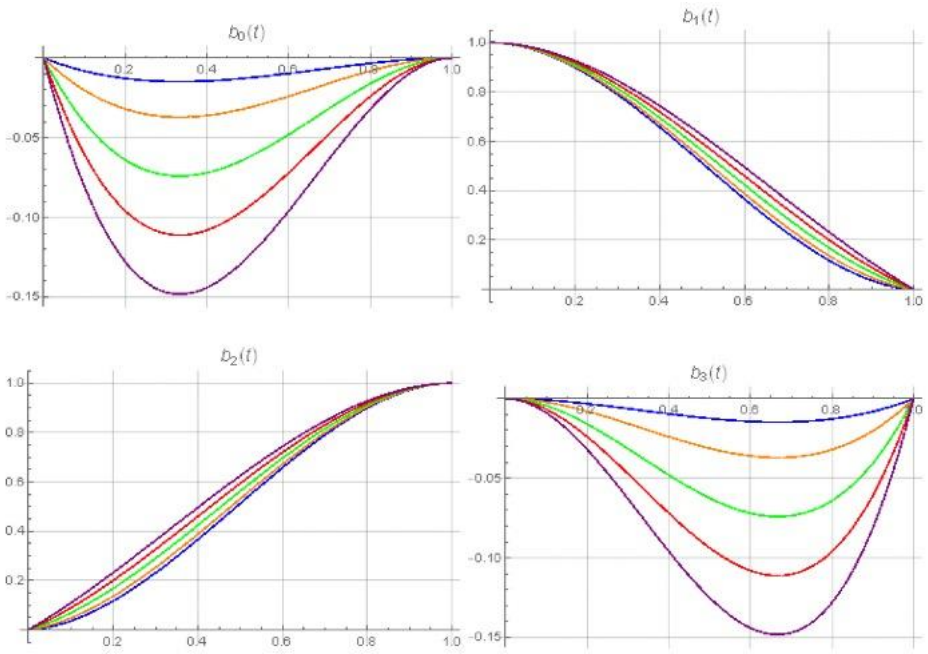



**Figure 1.** Blending functions of lambda-modified Catmull-Rom spline for λ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0.

Theorem 2.2.1. The lambda-modified Catmull-Rom splines maintain $C^0$ continuity, ensuring that the curve remains connected across consecutive segments.

Proof. A Catmull-Rom spline is defined by four control points $P_0$, $P_1$, $P_2$, $P_3$ and is a Hermite-type spline curve defined over the interval $t \in [0,1]$:

$$Q(0) = b_3(0)P_{i+2} + b_2(0)P_{i+1} + b_1(0)P_i + b_0(0)P_{i-1} = P_i \quad (9a)$$

$$Q(1) = b_3(1)P_{i+2} + b_2(1)P_{i+1} + b_1(1)P_i + b_0(1)P_{i-1} = P_{i+1} \quad (9b)$$

Therefore $\lim_{t\to 1^-} Q_i(t) = P_{i+1} = \lim_{t\to 0^+} Q_{i+1}(t)$, confirming $C^0$ continuity.

Theorem 2.2.2. Lambda-modified Catmull–Rom splines possess $C^1$ (tangent) continuity between successive segments when λ is constant.

Proof. Taking the derivative of the spline:

$$Q'(t) = b_3'(t)P_{i+2} + b_2'(t)P_{i+1} + b_1'(t)P_i + b_0'(t)P_{i-1} \quad (10)$$

Evaluating the derivatives at the junction:

$$\lim_{t\to 1^-} Q_i'(t) = (\lambda/2)P_{i+2} - (\lambda/2)P_i = \lim_{t\to 0^+} Q_{i+1}'(t) \quad (11)$$

Since $Q_i'(1) = Q_{i+1}'(0)$, $C^1$ continuity is established between consecutive segments.

Theorem 2.2.3. Lambda-modified Catmull–Rom splines provide geometric tangent continuity ($G^1$) between successive curve segments for arbitrary values of $\lambda > 0$.

Proof. $G^1$ continuity requires $T_1 = \alpha T_2$ for some scalar $\alpha > 0$ at the junction. From Theorem 2.2.2:

$$Q_i'(1) = \lambda(P_{i+2} - P_i)/2 \quad (12)$$

This expression preserves direction regardless of λ, while the magnitude scales with λ. Therefore, $G^1$ continuity is satisfied for all $\lambda > 0$.

Example 2.2.4. The figure illustrates modified Catmull–Rom curves generated for λ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 using a fixed set of control points. When λ is small (e.g., 0.5), the resulting curves exhibit smoother transitions and lower curvature oscillations. As λ increases, the curves begin to display sharper turns with significantly increased local curvature.

Example 2.2.5. Obstacle avoidance trajectories generated using λ-modified Catmull–Rom splines. The gray circle represents a fixed obstacle in the robot's workspace. Different values of λ result in distinct path behaviors: lower λ values (green) produce smoother curves that more gradually avoid the obstacle, while higher λ values (red) create sharper deviations. This demonstrates the potential of λ-modified splines in adaptive and safe trajectory planning in robotic digital twin environments.

## 3. CURVATURE ANALYSIS OF Λ-MODIFIED CATMULL–ROM SPLINES

Curvature is a fundamental geometric descriptor that measures the rate of change of the tangent direction along a curve. For robotic and engineering applications, controlling curvature directly translates to controlling acceleration profiles and mechanical stress on actuators. In this section, we derive the curvature of the λ-modified Catmull–Rom spline in closed form and analyze its dependence on the λ parameter.

### 3.1. Closed-Form Curvature Expression

For a parametric curve Q(t) = (x(t), y(t), z(t)) in $\mathbb{R}^3$, the curvature κ(t) is defined as:

$$\kappa(t) = \|Q'(t) \times Q''(t)\| / \|Q'(t)\|^3 \quad (13)$$

where Q'(t) and Q''(t) denote the first and second derivatives of the curve with respect to t, and × denotes the cross product.

For the λ-modified Catmull–Rom spline defined in Equation (5), the first derivative is given by:

$$Q'(t) = \tfrac{1}{2}\,[\,(3\lambda t^2 - 2\lambda t)P_{i+2} + (3(\lambda-4)t^2 + 2(6-2\lambda)t + \lambda)P_{i+1} + (3(4-\lambda)t^2 + 2(\lambda-6)t)P_i + (-3\lambda t^2 + 4\lambda t - \lambda)P_{i-1}\,] \quad (14)$$

and the second derivative is:

$$Q''(t) = \tfrac{1}{2}\,[\,(6\lambda t - 2\lambda)P_{i+2} + (6(\lambda-4)t + 2(6-2\lambda))P_{i+1} + (6(4-\lambda)t + 2(\lambda-6))P_i + (-6\lambda t + 4\lambda)P_{i-1}\,] \quad (15)$$

It follows immediately that:

$$\|Q'(t)\| = \lambda \cdot \|Q'_{\lambda=1}(t)\| \quad (16)$$

$$\|Q''(t)\| = \lambda \cdot \|Q''_{\lambda=1}(t)\| \quad (17)$$

where $Q'_{\lambda=1}$ and $Q''_{\lambda=1}$ denote the respective derivatives of the classical Catmull–Rom spline (corresponding to λ = 1). Using Equations (16)–(17) in (13), we obtain the following result.

Proposition 3.1.1. Let $\kappa_\lambda(t)$ and $\kappa_1(t)$ denote the curvature of the λ-modified and classical Catmull–Rom spline, respectively, at a parameter value t. Then:

$$\kappa_\lambda(t) = (1/\lambda) \cdot \kappa_1(t) \quad (18)$$

Proof. Substituting Equations (16)–(17) into Equation (13):

$$\kappa_\lambda(t) = \|\lambda Q'_1 \times \lambda Q''_1\| / \|\lambda Q'_1\|^3 = \lambda^2\|Q'_1 \times Q''_1\| / \lambda^3\|Q'_1\|^3 = (1/\lambda) \cdot \kappa_1(t) \quad \square \quad (19)$$

This result has an important practical implication: increasing λ decreases the curvature radius at every point, producing tighter turns; decreasing λ below 1 enlarges the curvature radius, yielding smoother transitions.

Remark 3.1.2. Proposition 3.1.1 holds pointwise for all $t \in [0,1]$ under the assumption that $Q'(t) \neq 0$, i.e., that no singular (cusp) points occur. The condition for avoiding cusps is equivalent to requiring $\|Q'_1(t)\| > 0$, which is guaranteed for non-degenerate control point configurations. Table 1 shows the curvature behavior of λ-modified Catmull-Rom splines for representative λ values.

**Table 1.** Summary of curvature behavior of λ-modified Catmull–Rom splines for representative λ values using a fixed set of control points.

| **λ Value** | **Max. Curvature** | **Path Behavior** | **Curvature Oscillation** |
|---|---|---|---|
| 0.5 | Low | Smooth, gradual | Low oscillation |
| 1.0 | Moderate (classical) | Balanced | Standard behavior |
| 1.5 | High | Sharp transitions | Increased oscillation |
| 2.0 | Very High | Tight curvature | High oscillation risk |

### 3.2. C² Continuity Analysis

Second-order (C²) continuity requires not only equal tangent vectors at segment junctions, but also equal second derivatives. In the classical Catmull–Rom formulation, C² continuity is not generally satisfied; only C¹ is guaranteed. We now investigate the conditions under which the λ-modified Catmull–Rom scheme can achieve C² continuity.

Theorem 3.2.1 (C² Continuity Condition). The λ-modified Catmull–Rom spline achieves C² continuity at the junction point between segments i and i+1 if and only if the λ parameter satisfies the following relation:

$$\lambda_i \cdot (P_{i+2} - 2P_{i+1} + P_i) = \lambda_{i+1} \cdot (P_{i+3} - 2P_{i+2} + P_{i+1}) \quad (20)$$

Proof. The second derivative of the λ-modified spline at t = 1 for segment i is:

$$Q_i''(1) = \lambda_i(P_{i+2} - 2P_{i+1} + P_i) \quad (21)$$

The second derivative at t = 0 for segment i+1 is:

$$Q_{i+1}''(0) = \lambda_{i+1}(P_{i+3} - 2P_{i+2} + P_{i+1}) \quad (22)$$

Setting $Q_i''(1) = Q_{i+1}''(0)$ yields Equation (20). □

Corollary 3.2.2. When λ is constant across all segments ($\lambda_i = \lambda_{i+1} = \lambda$ for all i), C² continuity reduces to the requirement:

$$P_{i+2} - 2P_{i+1} + P_i = P_{i+3} - 2P_{i+2} + P_{i+1} \quad (23)$$

This is the standard condition for equal second differences in the control point sequence, which corresponds to collinearity conditions on consecutive control points. This confirms that λ-uniformity alone is insufficient for $C^2$ continuity; the control point geometry must also satisfy Equation (23).

Corollary 3.2.3. For a general control point configuration that does not satisfy Equation (23), $C^2$ continuity can be enforced locally by choosing $\lambda_{i+1} = \lambda_i \cdot \|P_{i+2} - 2P_{i+1} + P_i\| / \|P_{i+3} - 2P_{i+2} + P_{i+1}\|$ at each junction, provided the second difference vectors are parallel. This provides a constructive procedure for achieving $C^2$-approximate behavior through adaptive λ selection. In Table 2, a comprehensive comparison of classical and λ-modified Catmull–Rom splines is provided, including the new results on $C^2$ continuity and curvature scaling established in Section 3.

**Table 2.** Comparison of Classical and Lambda-Modified Catmull–Rom Splines

| **Feature** | **Classical Catmull–Rom Spline** | **λ-Modified Catmull–Rom Spline** |
|---|---|---|
| **Geometric Definition** | Interpolation using fixed tangent vectors | Interpolation using tangent vectors scaled by λ |
| **Tangent Vector** | $\frac{1}{2}(P_{i+2} - P_i)$ | $\lambda/2 \cdot (P_{i+2} - P_i)$ |
| **Blending Functions** | λ-independent, fixed polynomials | λ-dependent, adaptive polynomial functions |
| **Interpolation at Control Points** | Yes | Yes |
| **$C^0$ Continuity** | Satisfied | Satisfied |
| **$C^1$ Continuity** | Satisfied | Satisfied for constant λ |
| **$C^2$ Continuity** | Not guaranteed | Satisfied under specific λ-smoothness conditions (see Theorem 3.1) |
| **$G^1$ Continuity** | Satisfied | Satisfied for $\lambda > 0$ |
| **Symmetry Property** | Satisfied | Generally, not satisfied due to directional tangents |
| **Local Shape Control** | Limited | Available through λ parameter |
| **Curvature Adjustability** | Fixed | Continuously adjustable via λ |
| **Partition of Unity** | Satisfied | Not guaranteed |
| **Applications** | Animation, graphics, general curve interpolation | Path planning, robotics, simulation, trajectory control |

## 4. NUMERICAL AND GEOMETRIC ANALYSIS OF Λ-MODIFIED SPLINES

The geometric behavior of λ-modified Catmull–Rom splines was studied using four NACA airfoils, namely NACA 0012, NACA 0015, NACA 2412, and NACA 4412. Different λ values were applied to analyze their effects on reconstruction accuracy, curvature distribution, oscillation behavior, and geometric smoothness. Numerical analysis was performed using

various geometric metrics, including RMSE, MAE, maximum reconstruction error, arc length conservation, maximum curvature, and standard deviation of curvature oscillation.

**Table 3.** Average performance comparison based on λ values.

| λ | RMSE | MAE | Max Error | Arc Length | Max Curvature | Curvature Oscillation STD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 0.001424 ± 0.000194 | 0.000991 ± 0.000039 | 0.007852 ± 0.002270 | 2.036801 ± 0.008965 | 2047.735335 ± 192.452853 | 90.031781 ± 6.647873 |
| 1.0 | 0.000937 ± 0.000184 | 0.000676 ± 0.000044 | 0.005062 ± 0.002256 | 2.040164 ± 0.009111 | 1020.869816 ± 157.360817 | 59.259246 ± 7.382208 |
| 1.5 | 0.000875 ± 0.000100 | 0.000715 ± 0.000040 | 0.003605 ± 0.001872 | 2.044874 ± 0.009313 | 598.479823 ± 99.023373 | 39.790745 ± 4.926031 |
| 2.0 | 0.001100 ± 0.000067 | 0.000883 ± 0.000034 | 0.004339 ± 0.000847 | 2.050952 ± 0.009577 | 424.619240 ± 72.737782 | 32.351374 ± 3.426470 |

Table 3 presents the average geometric performance metrics obtained for different λ values. The results show that the λ parameter significantly affects both the reconstruction accuracy and the curvature properties of the generated spline curves. Lower λ values produced smoother transitions with larger radii of curvature, while higher λ values produced sharper local geometric variations. Specifically, $\lambda = 1.0$ and $\lambda = 1.5$ yielded lower RMSE and maximum error values compared to $\lambda = 0.5$, indicating improved geometric reconstruction performance. Furthermore, increasing λ led to a significant reduction in maximum curvature values and the standard deviation of curvature oscillation, demonstrating the ability of λ-based scaling to control local geometric fluctuations in spline interpolation.

**Table 4.** Optimal λ values for each airfoil

| Airfoil | Best λ according to RMSE | RMSE | Best λ according to Curvature Oscillation | Curvature Oscillation STD | Best λ according to $C^2$-jump approximation | Mean $C^2$ Jump |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NACA 0012 | 1.5 | 0.000779 | 2.0 | 33.808178 | 1.0 | 0.017389 |
| NACA 0015 | 1.0 | 0.000813 | 2.0 | 27.221045 | 1.0 | 0.017471 |
| NACA 2412 | 1.5 | 0.000835 | 2.0 | 34.061383 | 1.0 | 0.017367 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NACA 4412 | 1.5 | 0.001013 | 2.0 | 34.314889 | 1.0 | 0.017270 |

Table 4 shows the optimum λ values obtained for each airfoil profile according to different geometric criteria. The results show that a single λ parameter does not provide optimum performance simultaneously for all airfoil geometries. λ = 1.5 generally produces lower reconstruction errors for most airfoils, while λ = 2.0 yields lower curvature oscillation values, indicating smoother curvature distributions. In contrast, λ = 1.0 provided the smallest average $C^2$ bounce approximation values and showed improvement in second-order continuity behavior. These findings reveal that the geometric characteristics of the airfoil profile significantly influence the optimum parameter selection, and λ is considered an effective local shape control parameter for balancing reconstruction accuracy and curvature smoothness.

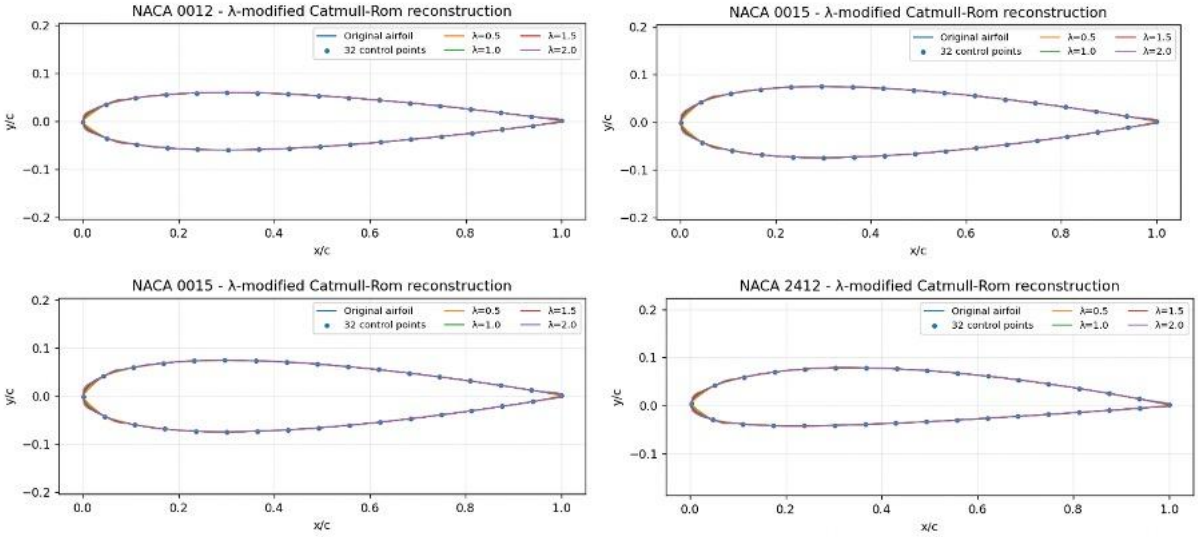



**Figure 2.** Reconstruction of NACA Airfoil Profiles Using λ-Modified Catmull–Rom Splines for Different λ Values

Figure 2 shows the reconstructed NACA airfoil geometries obtained using λ-modified Catmull–Rom splines for four different λ values. The reconstructed curves exhibit differences in local curvature behavior depending on the selected λ parameter, while preserving the overall geometric characteristics of the original airfoil profile features. Smaller λ values resulted in smoother transitions near the leading-edge region, while larger λ values provided a tighter geometric fit in high curvature regions. Visual comparisons demonstrate that the proposed λ-modified spline formulation provides flexible local geometric control while maintaining interpolation consistency along the airfoil contours.

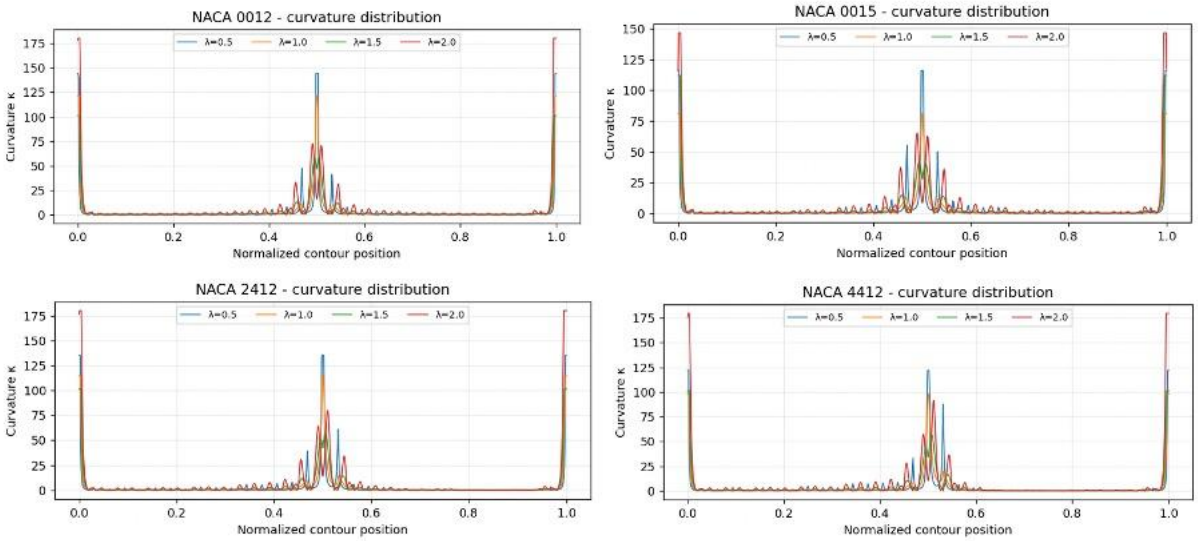



**Figure 3.** Geometric Reconstruction of NACA Airfoils for Different λ Values

Figure 3 shows the curvature distributions corresponding to the reconstructed NACA airfoil for different values of λ. The results show that the parameter λ directly affects the amplitude and oscillatory behavior of the curvature function. Lower λ values produced wider and smoother curvature transitions, while higher λ values generated sharper local curvature heights, particularly near leading edge regions where geometric variation was dominant. Furthermore, curvature oscillations became more localized as λ increased. These observations are consistent with the theoretical curvature scaling behavior derived in Chapter 3 and validate the effectiveness of λ-based tangential scaling for controlling the local geometric properties of spline curves.

## 5. CONCLUSION

In this study, the geometric and numerical properties of λ-modified Catmull-Rom splines are investigated through both analytical formulations and airfoil-based geometric evaluations. The proposed λ-based tangential scaling approach provides additional local shape control while preserving the interpolation capability of classical Catmull-Rom splines. Theoretical analyses showed that the modified spline formulation preserves the $C^1$ and $G^1$ continuity properties, while the $C^2$ continuity can be approximately obtained under appropriate λ transition conditions. To further investigate the geometric behavior of the proposed spline model, numerical analyses were performed on four representative NACA airfoils. The results showed that the λ parameter affects the reconstruction accuracy, curvature distribution, and oscillation behavior. Lower λ values produced smoother geometric transitions with wider curvature distributions, while higher λ values produced sharper local curvature changes and stronger geometric adaptation near high curvature regions. The results showed that there is no globally optimal λ value for all airfoil geometries, and the optimal parameter selection depends on the geometric properties of the underlying profile.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of 893 Turkiye (TUBITAK) under the 1001 Research Program (Project No: 125F254).

## REFERENCES

[1] G. Altay Suroğlu and Z. Altay, "Geometric and Analytical Investigation of Lambda-Modified Catmull-Rom Splines with Applications to Robotic Path Planning," Authorea, vol. 2025, no. 0704, doi: 10.22541/au.175160890.08096968/v1.

[2] S. Tayebi Arasteh and A. Kalisz, "Conversion Between Cubic Bezier Curves and Catmull–Rom Splines," SN Computer Science, vol. 2, no. 5, p. 398, Jul. 2021, doi: 10.1007/s42979-021-00770-x.

[3] P. J. Barry and R. N. Goldman, "A recursive evaluation algorithm for a class of Catmull-Rom splines," in Proceedings of the 15th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '88), New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1988, pp. 199–204, doi: 10.1145/54852.378511.

[4] R. H. Bartels and B. A. Barsky, An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1987.

[5] S. Boschert and R. Rosen, "Digital Twin—The Simulation Aspect," in Mechatronic Futures: Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and their Designers, P. Hehenberger and D. Bradley, Eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016, pp. 59–74, doi: 10.1007/978-3-319-32156-1_5.

[6] E. Catmull and R. Rom, "A Class of Local Interpolating Splines," in Computer Aided Geometric Design, R. Barnhill and R. Reisenfeld, Eds. New York, NY, USA: Academic Press, 1974, pp. 317–326, doi: 10.1016/B978-0-12-079050-0.50020-5.

[7] H. Dalkılıç, "Spline Based Neural Networks," Master's thesis, Işık University, Istanbul, Türkiye, 2005.

[8] T. D. DeRose and B. A. Barsky, "Geometric continuity, shape parameters, and geometric constructions for Catmull-Rom splines," ACM Transactions on Graphics, vol. 7, no. 1, pp. 1–41, Jan. 1988, doi: 10.1145/42188.42265.

[9] T. D. DeRose, R. N. Goldman, H. Hagen, and S. Mann, "Functional composition algorithms via blossoming," ACM Transactions on Graphics, vol. 12, no. 2, pp. 113–135, Apr. 1993, doi: 10.1145/151280.151290.

[10] Y. Feng, X. Chen, and Y. Zhao, "Trajectory planning and control for industrial robot using Catmull-Rom spline with real-time adjustment," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 67, p. 101998, 2021, doi: 10.1016/j.rcim.2020.101998.

[13] J. Li, C. Liu, and S. Liu, "The quartic Catmull–Rom spline with local adjustability and its shape optimization," Advances in Continuous and Discrete Models, vol. 2022, no. 1, p. 59, Oct. 2022, doi: 10.1186/s13662-022-03730-8.

[14] J. Li, L. Yang, and Y. Zhong, "Image scaling based on the Catmull–Rom spline surfaces with free parameters," in Proceedings of the International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence, Paris, France: Atlantis Press, 2018.

[15] L. Piegl and W. Tiller, The NURBS Book. Berlin, Germany: Springer, 1997.

[16] F. Tao, Y. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang, and F. Sui, "Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 94, pp. 3563–3576, 2018, doi: 10.1007/s00170-017-0233-1.

[17] G. Wolberg and I. Alfy, "Monotonic cubic spline interpolation," in Proceedings Computer Graphics International, 1999, pp. 188–195, doi: 10.1109/CGI.1999.777953.

[18] C. Yuksel, S. Schaefer, and J. Keyser, "Parameterization and applications of Catmull–Rom curves," Computer-Aided Design, vol. 43, no. 7, pp. 747–755, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.cad.2010.08.008.

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026 - IZMIR
Volume I - ISBN NR. : 978-625-8795-15-8

# DİNAMİK ÜRETİM ORTAMLARINDA SİPARİŞ GECİKME RİSKİNİN TAHMİNİNE YÖNELİK MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM

**Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
hulya.gucdemir@cbu.edu.tr - 0000-0002-1993-5848

## ÖZET

Belirsizlik içeren dinamik üretim ortamlarında, siparişlerin zamanında tamamlanamaması gelir kaybı, müşteri memnuniyetsizliği ve ceza maliyetleri gibi önemli kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle, üretim sisteminin mevcut durumu ve sipariş özelliklerine bağlı olarak gecikme riskinin siparişin sisteme geldiği anda önceden tahmin edilmesi, üretim performansının korunması ve etkin karar verme süreçlerinin desteklenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu gerçekten yola çıkarak, bu çalışmada siparişe dayalı üretim sistemlerinde sisteme gelen siparişlerin gecikme olasılığını tahmin etmeye yönelik makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, esnek atölye tipi imalat sistemi ele alınmış ve üretim sisteminin dinamik ve stokastik yapısını temsil eden simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model aracılığıyla, sistem durumu ve sipariş özellikleri ile birlikte siparişlerin gerçekleşen gecikme durumunu içeren geniş ölçekli bir etiketli veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veri seti kullanılarak gecikme durumunu tahmin eden karar ağacı tabanlı bir makine öğrenmesi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, ürün tipi, beklenen işlem süresi, sistemdeki iş sayısı ve makine kullanım oranı gibi değişkenleri dikkate alarak siparişin gecikme olasılığını tahmin etmektedir. Çalışma kapsamında, farklı atölye yoğunluğu ve teslim tarihi sıkılığı seviyeleri dikkate alınarak, her bir senaryoya özgü ayrı gecikme tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu sayede, farklı üretim koşullarında gecikmeye etki eden temel faktörler ortaya konmuştur. Örneğin, atölye yoğunluğunun yüksek ve teslim tarihlerinin sıkı olduğu koşullarda makine kullanım oranı gecikme üzerinde belirleyici rol oynarken, teslim tarihlerinin daha esnek olduğu durumlarda ürün tipi önem kazanmaktadır. Öte yandan, düşük ve orta atölye yoğunluğunda ise sistemdeki iş sayısı gecikmenin temel belirleyicisi olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen makine öğrenmesi yaklaşımının farklı üretim koşulları altında gecikme riskini başarılı bir şekilde tahmin edebildiği ve üretim sistemlerinde veri odaklı analizler için etkili bir araç sunduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Makine öğrenmesi, Gecikme tahmini, Karar ağacı, Kesikli olay simülasyonu, Esnek atölye tipi imalat

# DESIGN OF AN ACOUSTIC EMISSION ROBOT USED FOR PRELIMINARY DETECTION OF SHAFT INTERNAL CRACKS

**Lec. Dr. Serkan BELLER**

Cukurova University,

sbeller@cu.edu.tr - 0000-0002-8475-6619

## ABSTRACT

A shaft crack is a fracture or discontinuity in a rotating shaft caused by fatigue, stress concentration, or material defects. Cracks typically begin on the surface and spread inwards. Shaft cracks are extremely dangerous in rotating machinery. Because a small, undetectable defect can develop into a complete shaft fracture within hours or days, leading to serious equipment failure. Detection of internal cracks in solid shafts is generally performed using non-destructive testing methods (Ultrasonic, magnetic particle, and radiographic testing) that do not compromise the integrity of the material. Hammer testing is another practical and traditional non-destructive testing method often used to detect material integrity, cracks, or loose connections. When a non-defective solid shaft is struck with a hammer to detect cracks, a clear, ringing sound is produced. If there are cracks in or on the shaft, the sound will be muffled, or the vibration will be dampened. In the present study, crack detection within a solid shaft is performed by measuring the sounds produced by four 20 mm diameter steel balls freely falling onto the shaft from a distance of 365 mm using a decibel meter. The semi-automatic robot[2] was developed as an alternative to the hammering method for the preliminary detection of cracks. The surface areas to be tested by the steel balls can be varied using a DC motor-driven screw shaft system. Experimental results have demonstrated that the robot can produce rapid results per unit length, is improvable, and can reduce maintenance costs.

**Keywords:** Solid Shaft, Acoustic Emission Robot, Hammering, Crack Detection, Echo Listening, Screw Shaft.

[2] This study was carried out with the support of the Çukurova University Scientific Research Projects Unit (Project code: FBA-2023–16425).

# ŞAFT İÇ ÇATLAKLARININ ÖN TESPİTİ İÇİN KULLANILAN BİR AKUSTİK EMİSYON ROBOTU TASARIMI

**Öğr. Gör. Dr. Serkan BELLER**

Çukurova Üniversitesi,

sbeller@cu.edu.tr - 0000-0002-8475-6619

## ÖZET

Bir şaft çatlağı, dönen bir şaftta yorulma, gerilim yoğunlaşması veya malzeme kusurlarından kaynaklanan bir kırık veya süreksizliktir. Çatlaklar genellikle yüzeyde başlar ve içe doğru yayılır. Dönen makinelerde şaft çatlakları son derece tehlikelidir. Çünkü küçük, tespit edilemeyen bir kusur saatler veya günler içinde tam bir şaft kırığına dönüşebilir ve ciddi ekipman arızasına yol açabilir. Dolu mil iç çatlak tespiti, malzemenin bütünlüğünü bozmadan, genellikle tahribatsız muayene yöntemleri (Ultrasonik, manyetik parçacık ve radyografik muayene) kullanılarak yapılır. Çekiçle muayene yöntemi de genellikle malzemenin bütünlüğünü, çatlakları veya gevşek bağlantıları tespit etmek için kullanılan pratik ve eski bir tahribatsız muayene yöntemidir. Çatlak tespiti için sağlam bir mile çekiçle vurulduğunda net, çınlayan bir ses çıkar. Eğer mil içinde veya yüzeyinde çatlak varsa, ses boğuklaşır veya titreşim sönümlenir. Mevcut çalışmada da dolu bir şaft içindeki çatlak kontrolü milin üzerine 365 mm mesafeden serbest düşen 20 mm çapındaki dört çelik bilyenin çıkardığı seslerin bir desibelölçer ile ölçülmesiyle yapılmaktadır. Yarı otomasyon olarak çalışan robot[3], çatlakların ön tespiti için çekiçleme yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. DC motor tahrikli bir vidalı mil sistemiyle çelik bilyelerin test edeceği yüzey alanları değiştirilebilmektedir. Deneysel sonuçlar robotun birim uzunluk başına hızlı sonuçlar elde edilebildiğini, geliştirilebilir olduğunu ve bakım maliyetlerini düşürebileceğini kanıtlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dolu Mil, Akustik Emisyon Robotu, Çekiçleme, Çatlak Tespiti, Yankı Dinleme, Vidalı Mil.

[3] Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir (Proje kodu: FBA-2023–16425).

# AĞIR VASITA KOMPRESÖR TAHRİK DİŞLİLERİNDE PROFİL TAŞLAMA VE PROFİL RASPALAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

**Yunus Emre TORUN**

Selçuk Üniversitesi / Yumak Air Brake Systems,

emre.torun@mehmetyumak.com- 0009-0006-4491-4439

**Mehmet VURAL**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Yumak Air Brake Systems,

vuralmehmet4226@gmail.com- 0009-0001-9924-9724

**Veli Asaf TOPKARA**

Selçuk Üniversitesi / Yumak Air Brake Systems,

veli.asaf@mehmetyumak.com- 0009-0000-4192-6318

## ÖZET

Dişli çarklar, güç ve hareket iletiminde mekanik sistemlerin en temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu çalışmada ele alınan dişliler, Yumak Air Break Systems bünyesinde üretilen ağır vasıta araçlarda hava fren sistemlerine basınçlı hava sağlayan pistonlu hava kompresörlerinin tahrik dişlileridir; söz konusu kompresörler motor tarafından dişli mekanizması aracılığıyla tahrik edilerek araç güvenliği için kritik önem taşıyan basınçlı hava üretmektedir. Profil taşlama yöntemi, sertleştirilmiş dişli yüzeyine involüt profiliyle eşleştirilmiş abrazif CBN taşın temas ettirilmesiyle malzeme kaldırırken; raspalama (power skiving) yöntemi, kesici takım ile iş parçasının eş zamanlı döndürüldüğü ve aralarındaki eksen açısı farkından (10° ile 25° arası) doğan bağıl kayma hızına dayanan sürekli döner bir kesme sürecidir. 16MnCr5 standardına karşılık gelen 7131 kalite çelik malzemeden üretilen dişli çarklar üzerinde bu iki yöntem; işleme mekaniği, yüzey bütünlüğü, profil doğruluğu ve ekonomik verimlilik kriterleri açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri ISO 4287:1997 standardı, geometrik tolerans değerlendirmeleri ise ISO DIN 3962 standartları (dişli kalite sınıfı 1-12 arasında değerler alır.1: en hassas, 12: en kaba) çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular; profil taşlama yönteminin Ra 0,1–0,4 µm yüzey pürüzlülüğü ve ISO kalite sınıfı 3–6 ile mikro boyutsal hassasiyette belirgin üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Dişlilerin imalatında kullanılan raspalama yöntemi ise Ra 0,6–1,2 µm yüzey pürüzlülüğü ve ISO 6–9 kalite sınıfı hassasiyeti sunmaktadır. Takım aşınması ve kinematik yapıdan kaynaklanan asimetrik profil sapmaları raspalama prosesinin temel kısıtları olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, dişli imalatçılarına parça geometrisi, kalite beklentisi ve maliyet dengesi bağlamında en uygun bitirme yönteminin seçimine yönelik mühendislik temelli bir referans çerçevesi sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dişli İmalatı, Profil Taşlama, Dişli Raspalama, Yüzey Bütünlüğü, Profil Doğruluğu

## GİRİŞ

Ağır vasıta araçlarda kullanılan kompresörlerin tahrik dişlileri; sürekli değişken yükler altında yüksek tork aktarımı, darbe dayanımı, düşük gürültü ve uzun servis ömrü gibi kritik performans kriterlerine tabidir. Bu dişlilerin ısıl işlem sonrası maruz kaldığı distorsiyonlar, yüzey bütünlüğü ve profil hassasiyeti; doğrudan kompresör verimliliği, sistem titreşimi ve nihai araç güvenliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Dişli imalatında hedeflenen yüzey kalitesi ve geometrik hassasiyeti elde etmek için profil raspalama ve profil taşlama, en yaygın kullanılan iki bitirme yöntemidir (Andersson, 2017; Andersson ve Ståhl, 2014).

Profil raspalama, temel olarak ısıl işlem öncesinde dişli ile raspalama bıçağının bir mekanizma gibi etkileşimi esasına dayanan, yüksek verimli bir talaş kaldırma yöntemidir (Hsu ve Han, 2019). Süreç, kesici takım ile iş parçası arasındaki eksen açısının (genellikle 15° ile 25°, optimum 20°) ve bu açının sağladığı bağıl kayma hareketinin kullanıldığı sürekli bir kesme işlemidir (Olivoni ve ark., 2022; Tapoglou, 2018). Geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek kesme hızlarının uygulandığı bu süreç, hassas bir CNC senkronizasyonunu zorunlu kılmaktadır (Tapoglou, 2018). Buna karşın profil taşlama; ısıl işlem sonrası sertleşmiş dişli yüzeylerinde oluşabilen geometrik sapmaları gidermek ve üstün yüzey kalitesi elde etmek amacıyla aşındırıcı taşların kullanıldığı, yüksek hassasiyet gerektiren bir bitirme yöntemidir (Pazarkaya ve ark., 2022; Zyzak ve Kobiela, 2017).

İki yöntem profil bütünlüğü açısından karşılaştırıldığında, profil raspalama yüksek verimliliği sayesinde seri üretimde ekonomik avantaj sunsa da, ısıl işlem kaynaklı distorsiyonları düzeltme kapasitesi bakımından sınırlıdır (Andersson, 2017; Andersson ve Ståhl, 2014). Buna karşın profil taşlama; ısıl işlem sonrası oluşan yapısal deformasyonların giderilmesinde ve diş formunun teorik beklentileri karşılamasında sunduğu üstün geometrik hassasiyet ile yüksek devirli kompresör uygulamaları için kritik bir rol oynamaktadır (Pazarkaya ve ark., 2022; Zyzak ve Kobiela, 2017).

Hassasiyet sınıfları ele alındığında profil taşlama, yüksek doğruluk seviyelerine ulaşmakta daha başarılıdır. Raspalama işlemi ısıl işlemden önce uygulandığı için, bu işlem sonrası oluşan mikron mertebesindeki profil sapmalarını giderme konusunda yetersiz kalmaktadır (Escudero ve ark., 2021; Wei ve ark., 2016). Güncel çalışmalar, teknolojik ilerlemelerle raspalama tekniklerinin DIN 3962 standardına göre 4-7 kalite sınıflarına (Müller ve ark, 2021) ve elektrikli güç aktarma organları gibi yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda 6. kalite sınıfına (Hilligardt ve Schulze, 2023) kadar ulaşabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ısıl işlem kaynaklı deformasyonların giderilmesi, üstün yüzey bütünlüğü ve yüksek yorulma direnci gerektiren kritik ağır vasıta kompresör uygulamalarında, sunduğu yüksek geometrik hassasiyet sayesinde profil taşlama yöntemi temel bitirme süreci olarak tercih edilmeye devam etmektedir (Mazuru ve ark, 2017). Ayrıca bu yöntem, DIN 3962 standardına göre 2-5 arası gibi çok daha hassas ve üstün dişli kalite sınıflarına ulaşılmasına olanak tanımaktadır (Pazarkaya ve ark, 2022; Zyzak ve Kobiela, 2017).

Nicel veriler, profil raspalama yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin tipik olarak 0,4 ila 0,6 Ra aralığında olduğunu ortaya koymaktadır (Jain ve Petare, 2016). Buna karşın profil taşlama yöntemi, sunduğu üstün yüzey kalitesiyle Ra değerlerini 0,25 µm

seviyelerine kadar düşürebilmektedir (Breuer ve ark, 2025; Uzun ve ark, 2021). Düşük pürüzlülük değerlerine sahip raspalanmış dişlilerin, temas yorulması dayanımı açısından belirli koşullarda taşlanmış parçalarla rekabet edebilecek seviyede performans sergileyebildiği gözlemlenmiş olsa da (Gomes ve ark, 2025), yüzey taşlama işlemlerinin pürüzlülük değerlerini minimize ederek dişli profillerinde daha düzgün bir topografya oluşturduğu ve bu sayede çalışma ömrünü doğrudan iyileştirdiği deneysel olarak doğrulanmıştır (Demircioğlu ve ark, 2018, p. 51).

Ekonomik analizler, profil raspalamanın (shaving) profil taşlamaya göre daha maliyet etkin (most cost efficient) bir yöntem olduğunu göstermektedir (Andersson, 2017; Andersson ve Ståhl, 2014). Taşlama işlemi, yüksek makine yatırımı ve sarf malzeme gereksinimleri nedeniyle "önemli miktarda işlem maliyeti" (significant cost) doğurmaktadır (ŞAHİNOĞULLARI ve Luş, 2021). Takım maliyetleri açısından bir kıyaslama yapıldığında, özel tasarlanmış bazı takımların maliyeti 66,25 € iken, standart piyasa takımlarının 120 € seviyelerine ulaştığı görülmektedir (Escudero ve ark, 2021).İşlem süreleri karşılaştırıldığında raspalama yöntemi belirgin bir hız avantajı sunar. Bir dişli için çapraz (diagonal) raspalama süresi yaklaşık 1 dakika sürerken, dalma (plunge) raspalama ile bu süre 10 saniyeye kadar inebilmektedir (Jain ve Petare, 2016).Buna mukabil, profil taşlama süreci, düşük malzeme kaldırma oranları ve yüksek hassasiyet gereksinimleri nedeniyle operasyonel çevrim sürelerinin artmasına yol açmakta olup, dişli başına tipik olarak birkaç dakika mertebesinde süreler gerektirmektedir. Bu durum, özellikle yüksek hacimli üretim hatlarında ek işleme süresi ve yüksek makine yatırım maliyetleri ile birleşerek imalatçılar için birim maliyetleri doğrudan yukarı çekmektedir (Andersson ve Ståhl, 2014).

Literatürde profil raspalama ve profil taşlama yöntemlerinin genel dişli performansına etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmasına rağmen, ağır vasıta hava fren kompresörlerinde kullanılan tahrik dişlilerine yönelik karşılaştırmalı deneysel çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, ağır vasıta hava fren kompresörlerinde kullanılan tahrik dişlileri; profil taşlama ve profil raspalama yöntemlerine göre tribolojik, geometrik ve performans parametreleri açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulguların, ağır vasıta kompresör dişlilerinin üretim yönteminin seçilmesine ve maliyet-performans optimizasyonuna katkı sağlaması hedeflenmektedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, ağır vasıta hava kompresörü tahrik dişlilerinde uygulanan profil taşlama ve profil raspalama yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılmasına yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sunulmaktadır. Deneylerde kullanılan dişli numuneleri, malzeme özellikleri, uygulanan işlem parametreleri detaylı olarak açıklanmış; yüzey pürüzlülüğü ve geometrik profil doğruluğu ölçümleri standartlara uygun yöntemlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda her iki üretim yönteminin teknik avantajları ve sınırlılıkları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### 2.1. Numune Malzemesi ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan her iki dişli çark numunesi de 16MnCr5 (DIN standardına göre 7131 olarak da anılan) çelik malzemesinden üretilmiştir. 16MnCr5, düşük karbonlu alaşımlı bir

sementasyon çeliği olup yüksek çekirdek tokluğu ile birlikte yüzey sertleştirilebilirliği sayesinde ağır vasıta kompresör tahrik dişlisi üretiminde tercih edilen başlıca malzemeler arasındadır. Ağır vasıta kompresör tahrik dişlisi ve pistonlu hava kompresörünün montaj prosesi tamamlanmış son hali görsel 1'de yer almaktadır. Malzemenin nominal kimyasal bileşimi Çizelge 1'de sunulmaktadır.



**Görsel 1. Pistonlu Hava Kompresörü**

Çizelge 1'de sunulan veriler, 16MnCr5 sementasyon çeliğinin bünyesinde yer alan temel alaşım elementlerinin ağırlıkça yüzde dağılımlarını ortaya koymakta olup, malzemenin mekanik dayanım ve sertlik gereksinimleri bakımından endüstriyel standartlarla uyumlu olduğunu teyit etmektedir. **Çizelge 1. 16MnCr5 (7131) Malzeme Kimyasal Bileşimi (%)**

| Element | C | Si | Mn | P (maks.) | S (maks.) | Cr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % | 0,14–0,19 | ≤ 0,40 | 1,00–1,30 | 0,025 | 0,035 | 0,80–1,10 |

2.2. Numune 1 – Dişli Profili Taşlama Yöntemi

Numune 1; sementasyon ısıl işlemi tamamlanmış, yüzey sertliği 58–60 HRC düzeyine ulaşmış 16MnCr5 çelik malzemeden üretilmiştir. Görsel 2'de belirtildiği üzere Numune 1'in referans yüzeyleri CBN taşlarla elde edildikten sonra diş flanklarına CNC profil taşlama tezgahında son işlem uygulanmıştır.



**Görsel 2. Numune 1 Final Ürün Görseli**

Profil taşlama; sertleştirilmiş dişli çarklarda yüksek geometrik doğruluk ve üstün yüzey kalitesi elde etmek amacıyla uygulanan ileri düzey bir bitirme yöntemidir. Abrazif taşın gerçek involüt profiliyle eşleştirilerek diş yüzeyinden malzeme kaldırılması esasına dayanan bu yöntemle Ra 0,1–0,4 µm yüzey pürüzlülüğü ve DIN 3962'ye göre 3–6. kalite sınıfının elde edilmesi mümkündür.

Yöntemin temel avantajları; ısıl işlem distorsiyonlarının giderilmesi, involüt profil geometrisinin iyileştirilmesi ve dişli çalışması sırasında oluşabilecek ses, titreşim ile yük dağılımı sorunlarının en aza indirilmesidir. Bununla birlikte yüksek tezgah maliyeti, uzun çevrim süresi (3–15 dakika/parça) ve hatalı proses parametrelerinde taşlama yanığı riski yöntemin başlıca kısıtları olarak değerlendirilmektedir.

### 2.3. Numune 2 – Dişli Profili Raspalama Yöntemi

Görsel 3'de belirtilmiş olan Numune 2; ısıl işlem uygulanmamış, yumuşak haldeki (18–20 HRC) 16MnCr5 çelik malzemeden üretilmiş ve azdırma sonrasında dişli profili raspalama (power skiving) yöntemiyle son forma getirilmiştir.



**Görsel 3. Numune 2 Final Ürün Görseli**

Dişli profili raspalama; dönen kesici takım (pinyon raspa dişlisi) ile iş parçasının eş zamanlı dönme hareketine dayanan, sürekli ve yüksek hızlı bir talaş kaldırma yöntemidir. Yöntemin kinematik prensibi, kesici ve iş mili arasındaki eksen açısı farkından doğan (genellikle 10° ile 25° arası) bağıl kayma hızına dayanmakta olup bu mekanizma dişli frezelemeye kıyasla belirgin biçimde düşük kesme kuvvetleri ve daha ince talaş oluşumu sağlamaktadır.

Oluklu ve keskin ağızlı pinyon raspa dişlisi kullanılarak diş profili daha hassas bir forma getirilmiş; özellikle büyük modüllü dişlilerde 15–40 saniyelik parça başı işlem süresiyle yüksek üretim verimliliği elde edilmiştir. Yöntemin en kritik kısıtı ise kesici kenar geometrisinden kaynaklanan asimetrik profil sapmalarıdır. Sistematik takım tasarımı ve eksen açısı optimizasyonu ile bu sapmanın belirli sınırlar içinde tutulabildiği bilinmekle birlikte, taşlama yöntemine kıyasla daha düşük profil doğruluğu sunmaktadır.

### 2.4. Ölçüm Yöntemleri

Yüzey pürüzlülük ölçümleri; her iki numuneden kesit alınarak görsel 4'te gösterilen Mitutoyo SurfTest cihazında ISO 1997 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümde kullanılan parametreler Ra (ortalama aritmetik pürüzlülük), Rz (ortalama maksimum yükseklik), Rk (çekirdek pürüzlülük derinliği), Rpk (indirgenmiş tepe yüksekliği) ve Rvk (indirgenmiş vadi derinliği) olarak belirlenmiştir.




**Görsel 4. Mitutoyo Surftest Cihazı**

Geometrik tolerans değerlendirmeleri ise yüksek hassasiyetli görsel 5'te belirtilmiş olan Klingelnberg dişli ölçüm cihazı kullanılarak DIN 3962 standardı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.




**Görsel 5. Klıngelnberg Ölçüm Cihazı**

Ölçüm raporlarında kullanılan temel parametreler aşağıda tanımlanmaktadır:

fHαm (Ortalama Profil Eğim Sapması): Seçilen dişlerdeki profil eğim sapmalarının ortalaması olup proses merkezleme kalitesini yansıtır.

fHα (Profil Eğim Sapması): Gerçek diş profilinin teorik involüt profile göre eğimsel sapmasını ifade eder. Pozitif veya negatif işaret sapmanın yönünü gösterir.

Fα (Toplam Profil Sapması): Profil bölgesinin tamamında gerçek profilin teorik involüt profille karşılaştırılmasından elde edilen toplam sapmadır. Profil eğim sapması ve form bozukluklarını birlikte değerlendirdiğinden profil kalitesinin en kapsamlı göstergesi olarak kabul edilmektedir.

ffα (Profil Form Sapması): Profil eğim etkisi dışarıda bırakılarak diş profilinin şekil düzgünlüğünü değerlendiren parametredir; taşlama taşı izleri, titreşim veya lokal form hatalarından kaynaklanabilecek dalgalanmaları yansıtır.

Grafiklerde üst bölge diş başını (Tip), alt bölge ise diş dibini (Root) temsil etmekte; Va 500:1 ve Vb 10:1 büyütme oranları, mikrometre mertebesindeki sapmaların görsel olarak rahat değerlendirilebilmesi amacıyla uygulanmaktadır.

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

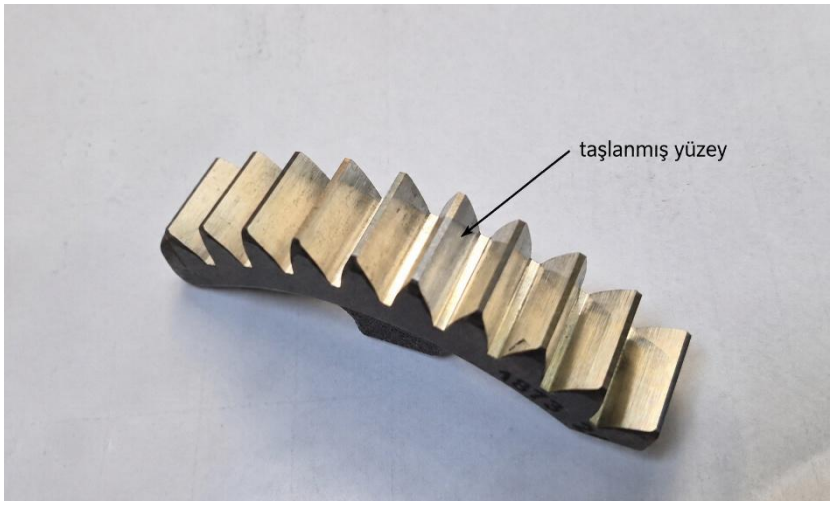
Elde edilen deneysel bulgular, dişli profili taşlama ve raspalama yöntemlerinin yüzey bütünlüğü ve geometrik hassasiyet parametreleri üzerindeki etkilerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Taşlama yönteminin yüzey kalitesi ve geometrik hassasiyet açısından belirgin bir üstünlüğe sahip olduğu saptanmıştır. Buna karşın, raspalama yönteminin seri üretimdeki verimlilik avantajını sürdürebilmesi için, profil sapmalarını minimize edecek daha hassas bir süreç optimizasyonuna gereksinim duyulduğu değerlendirilmektedir.

### 3.1. Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Bu bölümde, ağır vasıta kompresör tahrik dişlilerinin imalatında kullanılan profil taşlama ve profil raspalama (power skiving) yöntemlerinin diş yüzeylerinde oluşturduğu pürüzlülük değerleri karşılaştırılmaktadır. Bulgular ISO 4287:1997 standardına göre yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir.

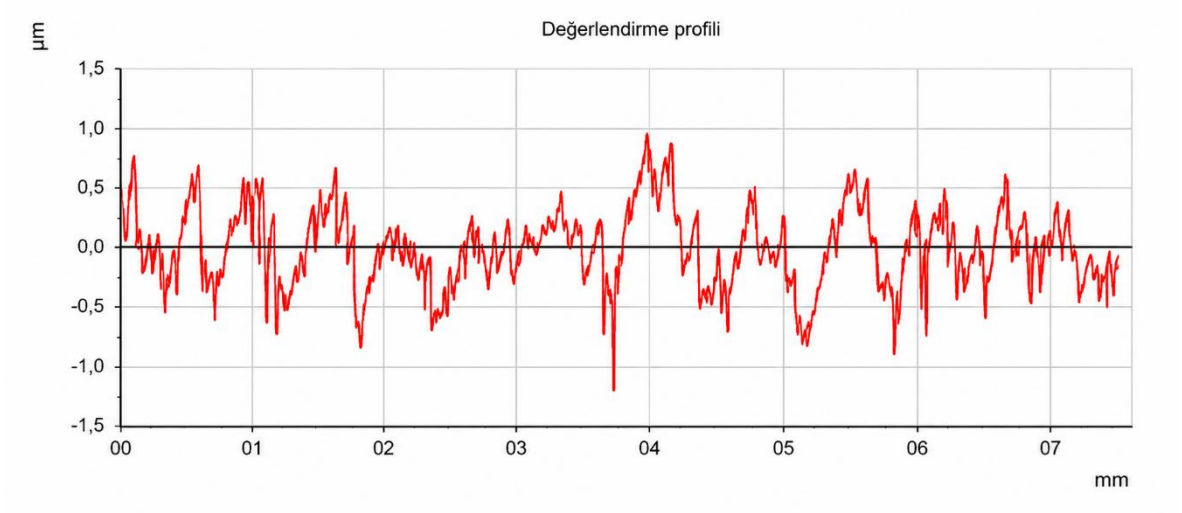
#### 3.1.1. Numune 1 – Profil Taşlama

Görsel 5'te taşlama işlemi uygulanmış diş flank yüzeyi yakın planda görülmektedir. Yüzeyde taşlama işlemine özgü paralel ve yönlü işleme izleri açıkça seçilmektedir. Bu izlerin düzenli ve homojen dağılım göstermesi, kontrollü aşındırma mekanizmasını işaret etmektedir. Yüzey parlak ve mikro ölçekte uniform bir yapı sergilemektedir.




**Görsel 5. Taşlama İşlemi Uygulanmış Dişli Kesiti**

Yapılan ölçümler sonucunda Numune 1'e ait yüzey pürüzlülük ölçüm profil grafiği görsel 6'da görüldüğü gibi dalgalanmanın yaklaşık ±1 µm aralığında kalması, yüzeyde belirgin derin çukur veya keskin piklerin bulunmadığını göstermektedir. Özellikle düşük Rpk değeri, temas başlangıcında aşınmaya neden olabilecek yüzey tepelerinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Numune 1'in yüzey pürüzlülük değerleri çizelge 2'de belirtilmiştir. Bu sonuçlar, taşlama işleminin diş flank yüzeyinde düşük pürüzlülük ve dengeli yük taşıma karakteristiği sağladığını göstermektedir.




**Görsel 6. Numune 1'e Ait Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Profil Grafiği**

Çizelge 2, profil taşlama yöntemiyle işlenen dişli yüzeyine ait temel pürüzlülük parametrelerini sunmaktadır. Bu veriler, işlemin sağladığı yüzey hassasiyetini ve mikro-geometrik sonuçları nicel olarak ortaya koymaktadır.

**Çizelge 2. Numune 1'e Ait Yüzey Pürüzlülük Değerleri**

| Parametre | Ra | Rz | Rk | Rpk | Rvk |
|---|---|---|---|---|---|
| Değer | 0,255 µm | 1,765 µm | 0,841 µm | 0,320 µm | 0,329 µm |

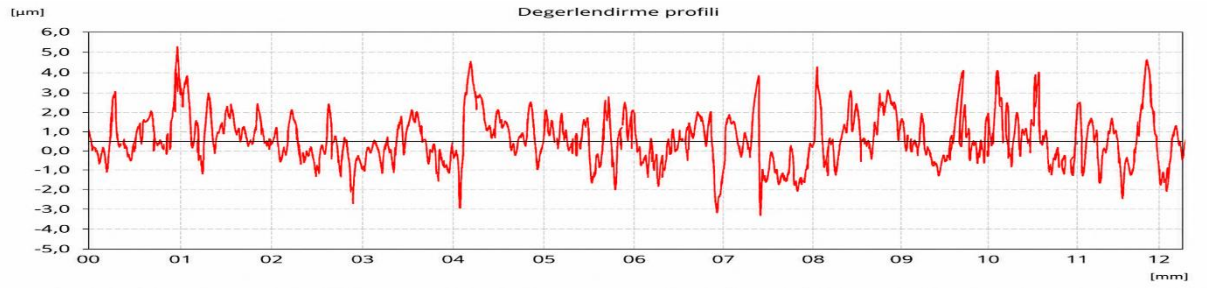
3.1.2. Numune 2 – Profil Raspalama

Görsel 7'de gösterilmiş ve raspalama işlemi uygulanmış numunenin diş yüzeyi taşlanmış numuneye kıyasla daha mat, düzensiz ve rastgele yönlenmiş bir mikroyapıya sahiptir. Paralel ve sürekli işleme izleri yerine heterojen ve yönsüz aşındırma izleri mevcuttur. Profil grafiğinde dalgalanma aralığının −4 µm ile +5 µm seviyelerine ulaşması yüzey düzensizliğinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir.




**Görsel 7. Raspalama İşlemi Uygulanmış Dişli Kesiti**

Yapılan ölçümler sonucunda görsel 8'de da görüldüğü üzere profil grafiğinde dalgalanma aralığının -4 µm ile +5 µm seviyelerine ulaşması, yüzey düzensizliğinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Ayrıca Numune 2'ye ait yüzey pürüzlülük değerleri çizelge 3'te belirtilmiş olup Rz değerinin taşlanmış numuneye göre yaklaşık dört kat yüksek olması, yüzeyde daha derin vadiler ve daha yüksek pikler bulunduğunu doğrulamaktadır.




**Görsel 8. Numune 2'ye Ait Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Profil Grafiği**

Bu tablo, raspalama sonrası oluşan yüzey düzensizliklerinin, taşlama yöntemine kıyasla mikro-geometrik düzeyde daha belirgin olduğunu nicel verilerle ortaya koymaktadır. Elde edilen yüksek Ra ve Rz değerleri, raspalama işleminin yüzey topografyasında daha derin vadiler ve belirgin düzeyde daha fazla düzensizlik oluşturduğunu doğrulamaktadır.

**Çizelge 3. Numune 2'ye Ait Yüzey Pürüzlülük Değerleri**

| Parametre | Ra | Rz | Rk | Rpk | Rvk |
|---|---|---|---|---|---|
| Değer | 1,003 µm | 7,289 µm | 3,032 µm | 1,896 µm | 1,020 µm |

Her iki işlem yöntemi birlikte değerlendirildiğinde, raspalama işlemi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra), taşlama işlemine göre yaklaşık dört kat daha yüksektir. Benzer şekilde Rz ve Rk parametrelerindeki belirgin artış, raspalanmış yüzeyde daha yüksek topografik düzensizlik bulunduğunu doğrulamaktadır.

### 3.2. Klingelnberg Profil Ölçüm Sonuçları

Klingelnberg, üretilen dişli numunelerinin geometrik doğruluğunu (profil eğim, form ve toplam sapmalarını) mikrometre düzeyinde ölçmek için kullanılan yüksek hassasiyetli bir dişli ölçüm cihazıdır. DIN 3962 standardına göre yapılan Klingelnberg analizleri, profil taşlama yönteminin mikrometre mertebesinde son derece dengeli ve simetrik sonuçlar verdiğini göstermiştir. Buna karşılık, profil raspalama (power skiving) yöntemiyle üretilen dişlilerde ise cihazın raporlarına yansıyan belirgin bir profil eğim asimetrisi ve kalite sınıfı farklılığı tespit edilmiştir.

#### 3.2.1. Ölçüm Parametreleri

Her iki numunenin geometrik tolerans değerlendirmesi DIN 3962 standardı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm raporlarında kullanılan temel parametreler şunlardır:

1. fHαm (Ortalama Profil Eğim Sapması): Seçilen dişlerdeki profil eğim sapmalarının ortalaması olup proses merkezleme kalitesini yansıtır.

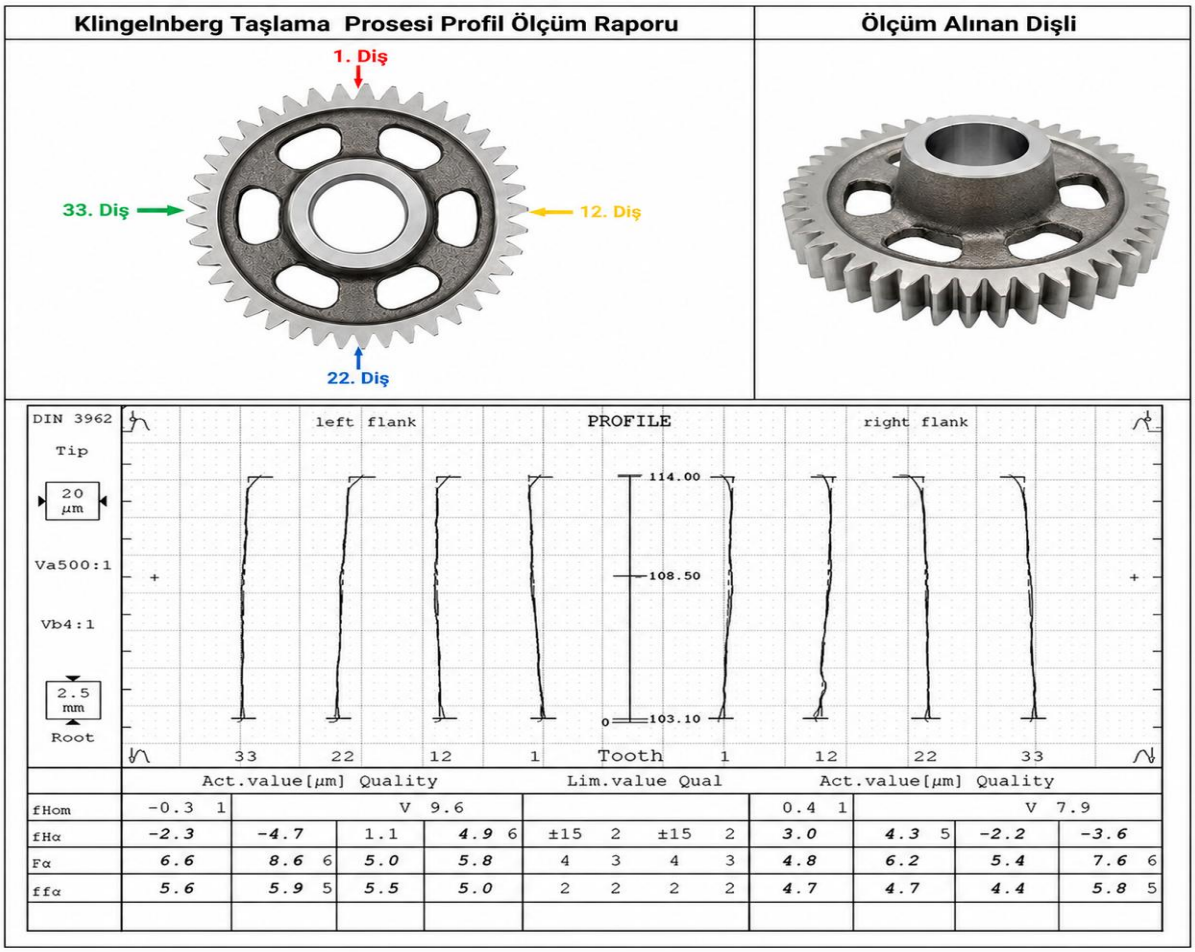
2. fHα (Profil Eğim Sapması): Gerçek diş profilinin teorik involüt profile göre eğimsel sapmasını ifade eder.

3. Fα (Toplam Profil Sapması): Profil bölgesinin tamamında gerçek profilin teorik involüt profille karşılaştırılmasından elde edilen toplam sapmadır.

4. ffα (Profil Form Sapması): Profil eğim etkisi dışarıda bırakılarak diş profilinin şekil düzgünlüğünü değerlendiren parametredir.

### 3.2.2. Numune 1 – Profil Taşlama Ölçüm Sonuçları

Görsel 9 'da gösterilen Numune 1'e ait ölçüm sonuçları; sırasıyla 1, 12, 22 ve 33 numaralı dişler seçilerek her dişin sol ve sağ yanaklarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu dağılım, taşlama işleminin dişli çevresi boyunca homojenliğini değerlendirmek amacıyla tercih edilmiştir.




| | Act.value[µm] Quality | | | | Lim.value Qual | | | | Act.value[µm] Quality | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| fHom | -0.3 1 | | V 9.6 | | | | | | 0.4 1 | | V 7.9 | |
| fHα | -2.3 | -4.7 | 1.1 | 4.9 6 | ±15 2 | | ±15 2 | | 3.0 | 4.3 5 | -2.2 | -3.6 |
| Fα | 6.6 | 8.6 6 | 5.0 | 5.8 | 4 3 | | 4 3 | | 4.8 | 6.2 | 5.4 | 7.6 6 |
| ffα | 5.6 | 5.9 5 | 5.5 | 5.0 | 2 2 | | 2 2 | | 4.7 | 4.7 | 4.4 | 5.8 5 |

**Görsel 9. Numune 1'e Ait 2 Klıngelnberg Profil Ölçüm Rapor**

Ölçüm sonuçları incelendiğinde; fHαm değerinin sol yanakta yaklaşık −0,3 µm, sağ yanakta ise +0,4 µm olduğu görülmektedir. Bu değerlerin sıfıra son derece yakın olması, taşlama işleminde profil eğiminin simetrik ve dengeli biçimde kontrol edildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

fHα değerleri incelendiğinde; sol yanakta −2,3 ile +4,9 µm, sağ yanakta ise −3,6 ile +4,3 µm

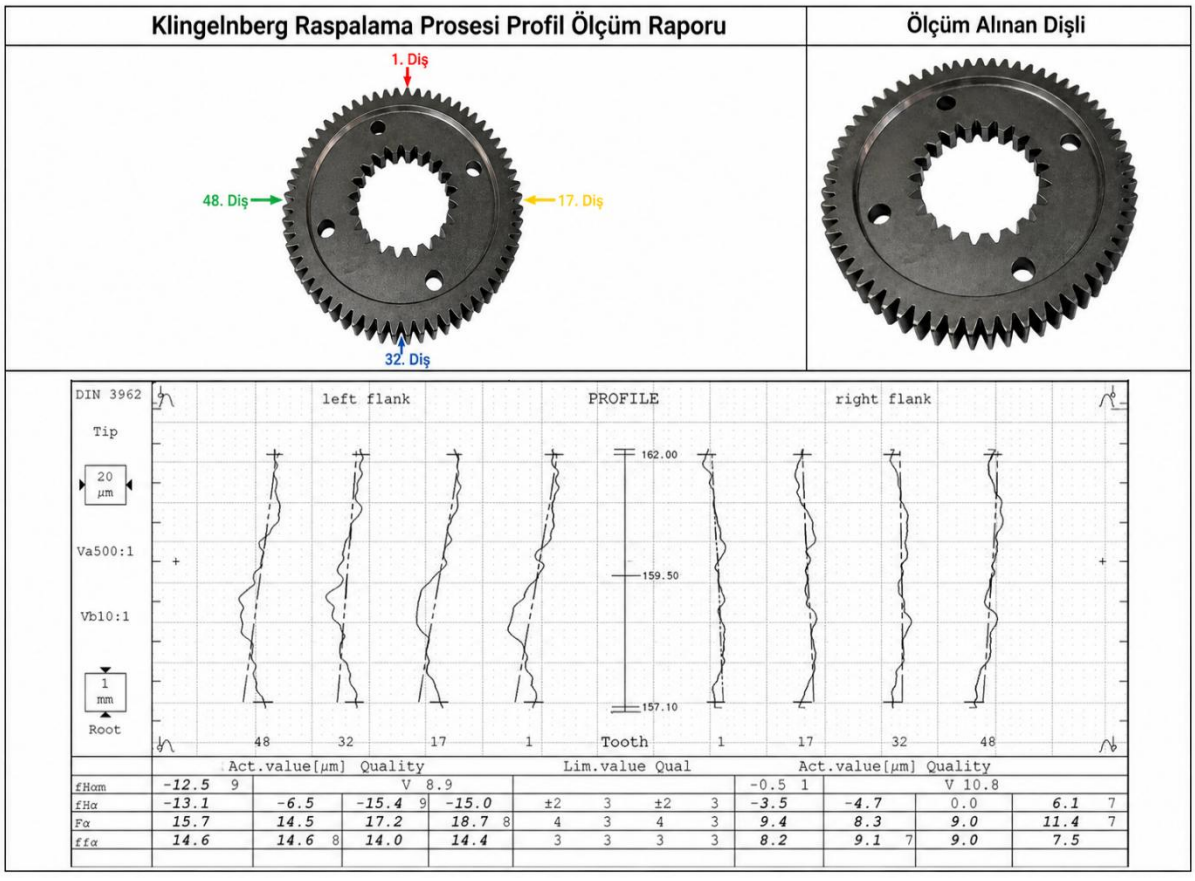
aralığında dağılım gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Bu değerler, taşlanmış diş profilinde profil açısına bağlı sapmaların tümüyle mikrometre mertebesinde kaldığını ve yöntem içi tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir.

Fα değerleri sol yanakta 5,0–8,6 µm, sağ yanakta 4,8–7,6 µm aralığında ölçülmüştür. Toplam profil sapmasının bu denli dar bir aralıkta seyretmesi; taşlama işleminin involüt profil geometrisini etkin biçimde koruduğunu ve yüzey bütünlüğü açısından homojen bir sonuç ürettiğini ortaya koymaktadır.

ffα değerleri sol yanakta 5,0–5,9 µm, sağ yanakta 4,4–5,8 µm olarak ölçülmüştür. Profil form sapmasının bu denli dar bir aralıkta kalması; taşlama taşının diş yüzeyinde lokal form hatası veya dalgalanma bırakmadığını ve prosesteki titreşim etkisinin ihmal edilebilir düzeyde kaldığını göstermektedir.

### 3.2.3. Numune 2 – Profil Raspalama Ölçüm Sonuçları

Numune 2'ye ait Klingelnberg ölçüm sonuçları görsel 10'da belirtilmiştir. Numune 2 üzerindeki ölçümler sırasıyla;1, 17, 32 ve 48 numaralı dişler üzerinde gerçekleştirilen ölçümlerde fHαm değeri sol yanakta −12,5 µm (kalite 9), sağ yanakta ise −0,5 µm (kalite 1) olarak ölçülmüştür.




**Görsel 10. Numune 2 Klıngelnberg Profil Ölçüm Raporu (Profil Raspalama)**

fHα değerleri sol yanakta −13,1 ile −15,4 µm (kalite 9), sağ yanakta ise −3,5 ile +6,1 µm (kalite 7) aralığında ölçülmüştür. Sol yanak değerlerinin tamamının negatif yönde ve büyük genlikte seyretmesi, raspalama prosesinde sol diş yanağında sistematik bir profil eğim sapmasının varlığına işaret etmektedir.

Fα değerleri sol yanakta 15,7–18,7 µm (kalite 8), sağ yanakta 8,3–11,4 µm (kalite 7) olarak ölçülmüş; ffα değerleri ise sol yanakta 14,0–14,6 µm (kalite 8), sağ yanakta 7,5–9,1 µm (kalite 7) olarak tespit edilmiştir. Sol yanaktaki ffα değerlerinin oldukça yakın bir aralıkta seyretmesi, raspalama kinematik mekanizmasının sistematik etkisini açıkça yansıtmaktadır.

### 3.3. Karşılaştırmalı Genel Değerlendirme

Tribolojik açıdan değerlendirildiğinde, taşlanmış yüzeylerin daha düşük sürtünme katsayısı, daha dengeli temas basıncı dağılımı ve daha kontrollü rodaj davranışı sergilemesi beklenmektedir. Buna karşılık raspalanmış yüzeylerde yüksek pik yoğunluğu nedeniyle başlangıç aşınmasının ve mikro temas gerilmelerinin artması olasıdır.

İki yöntemin temel parametreler açısından kapsamlı karşılaştırması Çizelge 4'te sunulmaktadır.

Aşağıdaki karşılaştırmalı çizelge, profil taşlama ve profil raspalama yöntemlerinin üretim verimliliği, yüzey kalitesi ve geometrik hassasiyet üzerindeki kritik etkilerini temel teknik parametreler ışığında derinlemesine analiz etmektedir. Profil taşlamanın ısıl işlem sonrası sağladığı yüksek boyutsal doğruluk ve üstün yüzey pürüzlülüğü, raspalamanın sunduğu seri üretim avantajları ve ekonomik üretim kapasitesiyle dikkat çekici bir tezat oluşturmaktadır. Bu iki yöntem, dişli üretim süreçlerinde maliyet etkinliği ile nihai kalite beklentileri arasında kurulması gereken hassas dengeyi aşağıdaki tabloda net bir biçimde ortaya koymaktadır.

**Çizelge 4. Dişli Profili Taşlama ve Raspalama Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

| Karşılaştırma Kriteri | Dişli Raspalama | Dişli Profil Taşlama |
|---|---|---|
| Uygulama Zamanı | Isıl işlemden önce | Isıl işlemden sonra |
| Malzeme Sertliği | 18–20 HRC (Yumuşak) | 58–60 HRC (Sertleştirilmiş) |
| Kullanılan Takım | Oluklu pinyon raspa dişlisi | CBN / $Al_2O_3$ taşlama diski |
| Dişli Kalitesi (DIN 3962) | Kalite 7–9 (Orta hassasiyet) | Kalite 1–6 (Yüksek hassasiyet) |
| Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) | 0,6–1,2 µm | 0,1–0,4 µm |
| Maliyet (Göreceli) | Ekonomik (Düşük takım maliyeti) | Yüksek (CNC tezgah + taş) |
| Parça Başı İşlem Süresi | 15–40 saniye / parça | 3–15 dakika / parça |
| Isıl İşlem Distorsiyonu | Düzeltemez | Düzeltir |
| Profil Asimetrisi | Sistematik sol/sağ yanak farkı | Simetrik ve dengeli |

Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, profil taşlama yöntemi Ra = 0,255 μm değeriyle raspalama yöntemine kıyasla belirgin üstünlük göstermiştir. Daha düşük yüzey pürüzlülüğü, diş temasında daha kararlı yük dağılımı ve düşük gürültü seviyesine katkı sağlarken; raspalanmış yüzeylerin daha yüksek Ra ve Rz değerleri, temas başlangıcında lokal gerilme yoğunlaşmalarını artırabilmektedir.

Geometrik doğruluk ve profil kalitesi açısından profil taşlama yöntemi, DIN 3962 kalite sınıfı bakımından daha homojen ve simetrik profil yapısı sunmuştur. Klingelnberg ölçümlerinde taşlanmış dişlerde düşük profil sapmaları elde edilirken, raspalama yönteminde özellikle sol ve sağ yanaklar arasında belirgin asimetrik profil eğim farkları gözlenmiştir. Bu durum, raspalama prosesinin kinematik karakteristiğinin doğal bir sonucu olarak değerlendirilmektedir.

Üretim verimliliği açısından raspalama yöntemi önemli avantaj sunmaktadır. Parça başına 15–40 saniye arasında değişen çevrim süresi, profil taşlamada gözlenen 3–15 dakikalık işlem sürelerine kıyasla seri üretim koşullarında ciddi kapasite artışı sağlamaktadır. Özellikle yüksek adetli üretimlerde bu fark toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Maliyet açısından raspalama yöntemi daha ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Daha kısa işlem süresi ve nispeten düşük takım maliyeti, toplam üretim giderlerini azaltırken; profil taşlama yönteminde yüksek hassasiyetli CNC tezgâh yatırımı, CBN taş maliyetleri ve uzun işlem süreleri maliyetleri artırmaktadır. Buna rağmen yüksek kalite beklentisinin bulunduğu uygulamalarda taşlama maliyetinin teknik gereklilik nedeniyle kabul edilebilir olduğu değerlendirilmektedir.

Isıl işlem distorsiyonu açısından profil taşlama yöntemi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Sementasyon ve su verme sonrası oluşan boyutsal sapmalar taşlama işlemi ile düzeltilebilirken, raspalama yöntemi genellikle ısıl işlem öncesi uygulandığından distorsiyonları telafi etme imkânı sunmamaktadır. Bu nedenle yüksek boyutsal hassasiyet gerektiren dişlilerde taşlama daha güvenilir sonuç vermektedir.

Malzeme sertliği ve işlenebilirlik açısından raspalama yöntemi, 18–20 HRC seviyesindeki yumuşak malzemelerde daha yüksek kesme verimliliği sağlamaktadır. Buna karşın profil taşlama, 58–60 HRC sertliğe ulaşmış sementasyonlu dişlilerde dahi yüksek hassasiyetle işleme yapabilmesi nedeniyle nihai bitirme operasyonu olarak öne çıkmaktadır.

Servis ömrü ve çalışma karakteristiği açısından değerlendirildiğinde, taşlanmış dişli yüzeylerinin daha düşük titreşim, daha düşük gürültü ve daha dengeli yük transferi sayesinde uzun ömürlü çalışma davranışı göstermesi beklenmektedir. Raspalanmış dişliler ise orta hassasiyet gerektiren uygulamalarda yeterli performans sunmakla birlikte yüksek hassasiyetli ağır hizmet uygulamalarında ek bitirme ihtiyacı doğurabilmektedir.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, ağır vasıta kompresör tahrik dişlilerinde uygulanan profil taşlama ve profil raspalama (power skiving) yöntemleri; yüzey bütünlüğü, profil doğruluğu, üretim verimliliği ve ekonomik etkinlik kriterleri açısından kapsamlı biçimde karşılaştırılmıştır. 16MnCr5 kalite çelikten üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel ölçümler ve Klingelnberg profil

analiz sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, her iki yöntemin belirgin teknik avantajlar ve kısıtlar sunduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar başlıklar halinde incelenmiştir.

4.1. Yüzey Bütünlüğü: Profil taşlama yöntemi Ra = 0,255 µm değeriyle, raspalama yönteminin Ra = 1,003 µm değerinden yaklaşık dört kat daha düşük yüzey pürüzlülüğü sunmaktadır. Benzer şekilde Rz ve Rk parametrelerindeki belirgin fark, taşlanmış yüzeyin daha homojen ve kontrollü bir topografik yapıya sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Düşük Rpk değeri, temas başlangıcında aşınmaya yol açabilecek yüzey tepelerinin taşlama sonrası etkin biçimde giderildiğini ortaya koymaktadır. Tribolojik açıdan bu durum, taşlanmış dişlilerin daha düşük sürtünme katsayısı, dengeli temas basıncı dağılımı ve kontrollü rodaj davranışı sergileyeceğini göstermektedir. Raspalanmış yüzeylerdeki yüksek pik yoğunluğu ise başlangıç aşınmasını ve mikro temas gerilmelerini artırabileceğinden, yüksek hizmet ömrü beklentisi taşıyan uygulamalarda ek bitirme işlemi gerektirdiğini ortaya koymuştur.

4.2. Profil Doğruluğu Açısından: Klingelnberg ölçüm sonuçları, profil taşlamanın DIN 3962 kalite sınıfı 3–6 aralığında tutarlı ve simetrik bir involut profil geometrisi sunduğunu doğrulamaktadır. fHαm değerinin sol yanakta −0,3 µm, sağ yanakta +0,4 µm seviyesinde kalması, prosesin sol/sağ yanak simetrisini yüksek hassasiyetle koruduğunu göstermektedir. Raspalama yönteminde ise fHαm değeri sol yanakta −12,5 µm (kalite 9), sağ yanakta −0,5 µm (kalite 1) olarak ölçülmüş; bu belirgin asimetri, yöntemin kinematik yapısından kaynaklandığı bilinen sistematik profil eğim farkının somut göstergesidir. Sol yanaktaki Fα ve ffα değerlerinin kalite 8 düzeyinde seyretmesi, raspalama prosesinin profil form düzenlilik bakımından orta hassasiyet sınıfında kaldığını teyit etmektedir.

4.3. Üretim Verimliliği ve Maliyet Açısından: Raspalama yöntemi, parça başına 15–40 saniye düzeyindeki çevrim süresiyle profil taşlamanın 3–15 dakikalık süresine kıyasla seri üretim kapasitesini çarpıcı biçimde artırmaktadır. Düşük takım maliyeti ve kısa çevrim süresi, yüksek adetli üretimlerde toplam maliyet avantajını belirleyici kılmaktadır. Bununla birlikte, profil taşlamanın yüksek hassasiyetli CNC tezgâh alt yapısı ve CBN taş maliyetleri, teknik gereklilik açısından zorunlu görüldüğü uygulamalarda kabul edilebilir düzeyde kalmaktadır. Özellikle ısıl işlem sonrası distorsiyonların kritik önem taşıdığı yüksek hassasiyetli uygulamalarda, taşlamanın boyutsal düzeltme kapasitesi maliyeti meşrulaştırmaktadır.

4.4. Yöntem Seçim Tavsiyesi: Elde edilen bulgular, yöntem seçiminin parça geometrisi, kalite beklentisi ve üretim ölçeğine göre farklılaşması gerektiğini göstermektedir. Hava fren sistemi kompresörü gibi kritik güvenlik bileşenlerinde DIN kalite sınıfı 3–6 düzeyinde yüksek profil hassasiyeti, ısıl işlem distorsiyon düzeltmesi ve düşük yüzey pürüzlülüğü gerektiren uygulamalar için profil taşlama yöntemi tercih edilmelidir. Öte yandan; tolerans bantının DIN kalite 7–9 aralığını karşıladığı, ısıl işlem distorsiyonunun sınırlı tutulabildiği ve seri üretim hacminin belirleyici olduğu durumlarda raspalama yöntemi ekonomik ve verimli bir alternatif sunmaktadır. İleri araştırmalar kapsamında raspalama prosesindeki sistematik profil asimetrisinin takım geometrisi optimizasyonu ve eksen açısı kalibrasyonu ile azaltılması; ayrıca iki yöntemin karma uygulama senaryolarının (raspalama + son paso taşlama) ekonomik ve teknik açıdan değerlendirilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

**1.**Andersson, C. (2017). Grinding or shaving? – Performance based economic decision support in the manufacturing of gears. VDI Verlag eBooks, 1353–1364.

**2.**Andersson, C., & Ståhl, J.-E. (2014). GRINDING OR SHAVING – ECONOMIC DECISION SUPPORT IN THE PRODUCTION OF GEARS. Lund University Publications, 1–8.

**3.**Breuer, E.-E., Klee, L., Bergs, T., Davidovic, M., & Westphal, C. (2025). Binder Jetting of Gears. *Forschung Im Ingenieurwesen, 89*(1).

**4.**Demircioğlu, P., Böğrekçi, İ., Akkoyun, F., & Yavaşoğlu, H. (2018). Özel Kesit Profil Flap Diskinin Üretim Performansının Belirlenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5*(1), 45–55.

**5.**Escudero, G. G., Bo, P., González, H., Calleja, A., Bartoň, M., & Lacalle, L. N. L. de. (2021). 5-axis double-flank CNC machining of spiral bevel gears via custom-shaped tools—Part II: physical validations and experiments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 119*, 1647–1658.

**6.**Gomes, C. F. S., Gomes, G. M. O., Colombo, T. C. A., Rego, R., Michelotti, A. C., & Berto, L. F. (2025). Evaluation of Surface Integrity Aspects Induced by Different Gear Manufacturing Paths for Electric Vehicle Transmission Systems. *SAE Technical Paper Series, 1*.

**7.**Hilligardt, A., & Schulze, V. (2023). Gear skiving with minimum twist errors. *Forschung Im Ingenieurwesen, 87*(3), 997–1007.

**8.**Hsu, R., & Han, C.-W. (2019). Study on Crowning of helical gear shaved by CNC shaving machine with three synchronous axes. *MATEC Web of Conferences, 293*, 1004.

**9.**Jain, N. K., & Petare, A. C. (2016). Review of Gear Finishing Processes. *Elsevier eBooks*, 93–120.

**10.**Mazuru, S., Casian, M., & Scaticailov, S. (2017). The processing accuracy of the gear. *MATEC Web of Conferences, 112*, 1026

1**1.**Müller, D., Stahl, J., Nürnberger, A., Golle, R., Tobie, T., Volk, W., & Stahl, K. (2021). Einfluss von prozessinduzierten Eigenspannungen auf die Zahnfußtragfähigkeit schergeschnittener Zahnräder. *Forschung im Ingenieurwesen, 85*(3), 709–721.

12.Olivoni, E., Vertechy, R., & Parenti-Castelli, V. (2022). Power skiving manufacturing process: A review. *Mechanism and Machine Theory, 175*, 104955.

**13.**Pazarkaya, İ., Yazar, M., & Özdemir, A. (2022). Elliptical Gear Design, Manufacturing, Analysis, and Their Industrial Practises. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 10*(3), 558–576.

**14.**Şahinoğulları, E., & Luş, H. M. (2021). 31CrMoV9 ve 34CrAlMo5 Çeliklerinin Nitrürleme Sonrası Yüzey Pürüzlüğüne Talaşlı İmalatın Etkisi. *European Journal of Science and Technology*.

**15.**Tapoglou, N. (2018). Calculation of non-deformed chip and gear geometry in power skiving using a CAD-based simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 100*, 1779–1785.

**16.**Uzun, M., Temiz, Ş., & Çetin, M. S. (2021). Investigation of Increasing the Tooth Surface Quality of Curvilinear Involute Gears. *Research Square*.

**17.**Wei, Y., Liu, H., & Jing, Z. (2016). Enhancing the Precision of Timing Gear Used in Automobile by Making Use of Azotizing Deformation. *MATEC Web of Conferences, 61*, 5007.

**18.**Zyzak, P., & Kobiela, P. (2017). Strategy of profile dividing gear grinding on Höfler grinding machines. *Mechanik, 10,* 873–875.

# ENDÜKTİF MESAFE SENSÖR ÇEKİRDEKLERİNİN VİTES DEĞİŞTİRME SİLİNDİRLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

**Serhat Cemal GARİP**

Konya Teknik Üniversitesi / Yumak Air Brake Systems

scgarip@gmail.com | ORCID: 0009-0008-1225-539X

**Mehmet GÜN**

Yumak Air Brake Systems

muh.mehmetgun@outlook.com | ORCID: 0009-0008-9167-8947

**Mesut TOSUN**

Konya Teknik Üniversitesi / Yumak Air Brake Systems

mesut-tosun@outlook.com | ORCID: 0009-0004-1169-4455

## ÖZET

Bu çalışmada, ağır vasıta vites değiştirme silindirlerinde kullanılan endüktif konum sensörlerinin ölçüm karakteristikleri; çekirdek mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık değişimi etkileri altında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada Invar 36, 11MnS30 (Otomat çeliği), AISI 1040 (Islah çeliği) ve AISI 303 olmak üzere dört farklı çekirdek mil malzemesi kullanılmış; tüm numuneler Ø4 mm çapında üretilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü seviyeleri Ra 1.2 µm, Ra 2.4 µm ve Ra 4.8 µm olacak şekilde üç seviyede hazırlanmış ve Ra değerleri profilometre ile doğrulanmıştır. Her malzeme–pürüzlülük kombinasyonu için üç tekrar yapılmış ve toplam 36 numune test edilmiştir. Deneyler -20°C, 25°C, 80°C ve 120°C sıcaklık seviyelerinde, her sıcaklıkta termal denge sağlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Endüktans temelli ölçüm davranışı, sensör çıkış sinyali üzerinden değerlendirilmiş; malzeme türü, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklığın sensör yanıtı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sensör davranışı; sıcaklığa bağlı endüktans değişimi, farklı çekirdek konumlarındaki yanıt ve tekrar ölçümlerinden elde edilen ortalama değerler üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca malzemeler, birim ağırlık başına maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel bulgular, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında sensör çıkış davranışı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu; yüzey pürüzlülüğü etkisinin ise malzemeye bağlı olarak değiştiğini ancak malzeme türüne göre etkisinin daha sınırlı kaldığını göstermiştir. Çalışma, ağır vasıta uygulamalarında endüktif mesafe sensörleri için malzeme seçimi, yüzey kalitesi tanımı ve deneysel doğrulama süreçlerine yönelik uygulanabilir veriler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Endüktif sensör, manyetik çekirdek, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık etkisi, ağır vasıta

## 1. GİRİŞ

Ağır vasıta güç aktarma sistemlerinde vites değiştirme işleminin doğru, hızlı ve güvenilir şekilde gerçekleştirilmesi; sürüş güvenliği, sistem dayanımı ve çalışma verimliliği açısından önemlidir. Vites değiştirme silindirleri, şanzıman kontrol sistemlerinde doğrusal hareketin oluşturulmasında ve istenen vites konumuna ulaşılmasında görev yapan önemli elemanlardır. Bu sistemlerde konum bilgisinin doğru algılanması, kontrol sisteminin vites değiştirme sürecini güvenilir şekilde yönetebilmesi için temel geri bildirimlerden biridir. Bu nedenle vites değiştirme silindirlerinde kullanılan konum sensörlerinin ölçüm kararlılığı, sistemin genel çalışma güvenilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır [1]. Endüktif konum sensörleri; temassız çalışma prensibi, yüksek tekrarlanabilirlik, uzun servis ömrü ve kir, yağ ile titreşim gibi zorlu endüstriyel koşullarda güvenilir ölçüm sağlayabilmeleri nedeniyle birçok otomotiv uygulamasında tercih edilmektedir [2].

Literatürde endüktif esaslı konum ölçüm sistemleri üzerine yapılan güncel çalışmalar; çekirdek malzemesi seçimi, sıcaklık etkisi ve ölçüm kararlılığı konularına odaklanmaktadır. Yañez-Valdez ve arkadaşları, Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatör (LVDT) prototipi için yumuşak manyetik çekirdek malzemelerinin seçimini incelemiş; malzeme seçiminde bulunabilirlik, işlenebilirlik, manyetik geçirgenlik, ısıl genleşme ve yoğunluk gibi kriterlerin dikkate alınabileceğini göstermiştir [3]. Bu yaklaşım, endüktif konum sensör çekirdek malzemesinin yalnızca manyetik özellikler açısından değil, aynı zamanda üretim ve tedarik koşulları bakımından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sıcaklık değişimleri, bobin direnci ve manyetik çekirdek özelliklerini etkileyerek endüktif konum sensörlerinde ölçüm doğruluğunu değiştirebildiğinden, sıcaklık etkisinin deneysel olarak değerlendirilmesi önemlidir [4].

Lim ve Kim [5], otomotiv uygulamaları için geliştirdikleri indüktif konum sensörünün uzun strok mesafelerinde, farklı hava boşluklarında ve dış manyetik alan etkisi altında yüksek ölçüm kararlılığı sağladığını ve Hall tabanlı sensörlere göre daha üstün performans sergilediğini göstermiştir.

Invar 36 alaşımı, düşük ısıl genleşme katsayısı nedeniyle hassas ölçüm sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Wei ve ark., seçici lazer eritme yöntemiyle üretilen Invar 36 alaşımında işlem parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilediğini, uygun üretim parametreleri ile geleneksel üretim yöntemlerine yakın mekanik özellikler elde edilebildiğini göstermiştir [6].

Saurav ve Murugan ise yüksek sıcaklık uygulamaları için LVDT manyetik çekirdek malzemesi seçimini ele almış ve çekirdek malzemesinin sıcaklık altındaki davranışının sensör çıkışı açısından önemli olduğunu belirtmiştir [7]. Bu çalışmalar, LVDT sensörlerde çekirdek malzemesi ve sıcaklık etkisinin birlikte değerlendirilmesinin önemini desteklemektedir.

Manyetik çekirdek malzemesinin manyetik geçirgenliği, elektriksel iletkenliği ve çalışma frekansına bağlı oluşan girdap akımı kayıpları, endüktif konum sensörlerinin doğruluğu ve ölçüm performansını doğrudan etkileyen temel tasarım parametreleri arasında yer almaktadır [8].

Çekirdek milin yüzey pürüzlülüğü, yalnızca sensör ölçüm davranışı açısından değil, üretim sürecinin maliyet ve proses planlaması açısından da önemli bir parametredir. Daha düşük Ra değerlerine ulaşmak genellikle daha hassas işleme şartları, daha uzun işlem süresi veya ek yüzey işleme prosesleri gerektirebilir. Bu durum üretim maliyetini artırabileceğinden, endüktif ölçüm prensibine dayalı sistemlerde çekirdek yüzey özelliklerinin sensör çıkış sinyalini etkileyebildiği bilindiğinden [9] uygun olan yüzey kalitesinin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle farklı yüzey pürüzlülüğü seviyelerinin incelenmesi, hem uygun üretim şartlarının belirlenmesine hem de üretim aşamalarında yüzey kalitesinin ne ölçüde takip edilmesi gerektiğinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Kinnunen ve Viitala, yüzey pürüzlülüğünün girdap akımı tabanlı endüktif ölçüm sistemlerinde prob empedansını etkileyerek ölçüm doğruluğunu ve sinyal kararlılığını değiştirebildiğini göstermiştir[10].

Bu çalışma, ağır vasıta vites değiştirme silindirlerinde kullanılan endüktif konum sensörlerinin çekirdek milinde kullanılan Invar 36 malzemesine alternatif olabilecek malzemelerin belirlenmesi gereksiniminden doğmuştur. Invar 36, düşük ısıl genleşme katsayısı sayesinde sıcaklık değişimlerine karşı yüksek boyutsal kararlılık sağlayarak sensör performansı açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak yüksek maliyeti, sınırlı tedarik imkânı ve seri üretimde oluşturduğu ekonomik dezavantajlar nedeniyle, benzer performansı sağlayabilecek, daha yaygın temin edilebilen ve daha düşük maliyetli alternatif malzemelerin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, Invar 36'ya alternatif olabilecek farklı çekirdek mil malzemelerinin geniş sıcaklık aralığında sensör çıkış karakteristiği üzerindeki etkileri deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çekirdek mil yüzey pürüzlülüğünün sensör performansına etkisi incelenerek, sensör performansını koruyacak yeterli yüzey kalite seviyesinin belirlenmesi ve gereksiz işleme operasyonlarından kaynaklanan üretim maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Elde edilen bulguların, çekirdek mil malzemesi seçimi, yüzey işleme gereksinimlerinin belirlenmesi ve üretim süreçlerinin teknik ve ekonomik açıdan optimize edilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Ağır vasıta vites değiştirme silindirlerinde kullanılan endüktif konum sensörleri için çekirdek mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık değişiminin ölçüm çıktısı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, Invar 36 malzemesine alternatif olabilecek, piyasada daha yaygın bulunan ve maliyet açısından daha uygun değerlendirilebilecek farklı malzemeler tedarik edilmiştir. Deneysel süreç; malzeme tedariki, numune üretimi, yüzey pürüzlülüğü doğrulaması, numune sınıflandırması ve farklı sıcaklık koşullarında sensör ölçümlerinin alınması aşamalarından oluşmaktadır.

### 2.1. Malzeme Seçimi ve Numune Hazırlama

Çekirdek mil malzemesi olarak Invar 36, 11MnS30, AISI 1040 ve AISI 303 olmak üzere dört farklı malzeme değerlendirilmiştir. Invar 36, düşük ısıl genleşme katsayısı nedeniyle referans malzeme olarak seçilmiştir. 11MnS30 ve AISI 1040 ise piyasada kolay temin edilebilmeleri, yüksek işlenebilirlik özellikleri ve maliyet avantajı sağlayabilme potansiyelleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. AISI 303 paslanmaz çelik ise, diğer karbonlu çeliklere göre farklı elektromanyetik davranış gösterebileceği için sensör yanıtının karşılaştırmalı olarak

değerlendirilmesi amacıyla deney matrisine dahil edilmiştir. Malzeme seçiminde ekonomik etkinliğin değerlendirilmesi amacıyla tedarik maliyetleri de dikkate alınmıştır. Çizelge 1'de incelenen malzemelere ait birim tedarik fiyatları sunulmuştur. Buna göre Invar 36'nın birim fiyatı 130 USD/kg, 11MnS30 malzemesinin birim fiyatı 1,20 USD/kg, AISI 1040 (Islah Çeliği) malzemesinin birim fiyatı 0,95 USD/kg ve AISI 303 malzemesinin birim fiyatı ise 2,80 USD/kg olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 1.Malzeme içeriği ve maliyet**

| Malzeme | Kimyasal Bileşim | Birim başı maliyet (USD/kg) |
|---|---|---|
| Invar 36 | Fe-36%Ni, Düşük C, Mn | 130 |
| 11MnS30 (Otomat Çeliği) | C≤0.14%, Mn 0.90-1.30%, S 0.27-0.33% | 1.20 |
| AISI 1040 (Islah çeliği) | C 0.37-0.44%, Mn 0.60-0.90%, Si≤0.35% | 0.95 |
| AISI 303 | C≤0.15%, Cr 17-19%, Ni 8-10%, S≥0.15% | 2.80 |

Tüm numuneler, Ø4 mm çapında ve 53 mm toplam boyda olacak şekilde CNC tezgâhlarında üretilmiştir. Üretim sürecinde numunelerin çap, boy ve yüzey kalitesi değerleri kalite kontrol prosedürleri kapsamında düzenli olarak kontrol edilmiştir. Böylece her bir numunenin deney öncesinde geometrik uygunluğu ve yüzey durumu doğrulanmıştır.

Hedeflenen yüzey pürüzlülüğü seviyelerine ulaşabilmek amacıyla üretim sürecinde deneme işleme ve ara ölçüm kontrolü yaklaşımı uygulanmıştır. Bu kapsamda, CNC işleme parametrelerinden devir sayısı ve ilerleme miktarı, her malzemenin işlenebilirlik özellikleri dikkate alınarak kademeli olarak ayarlanmıştır. Her malzeme grubunun üretiminin ardından yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda gerekli durumlarda işleme parametreleri revize edilerek hedeflenen Ra değerlerine uygun numuneler elde edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü seviyeleri üç farklı grupta oluşturulmuş ve Ra 1,2 µm, Ra 2,4 µm ve Ra 4,8 µm olarak belirlenmiştir. Her bir malzeme ve yüzey pürüzlülüğü kombinasyonu için, deneysel çalışmalarda ortalama değer ve standart sapmanın hesaplanabilmesine olanak sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan n=3 tekrar sayısı esas alınmıştır. Bu doğrultuda, 4 farklı malzeme ve 3 farklı yüzey pürüzlülüğü seviyesinden oluşan deney matrisi kapsamında her kombinasyondan üç adet numune üretilmiş ve toplam 36 numune deneysel testlere tabi tutulmuştur. Oluşturulan bu deney matrisi sayesinde malzeme türünün ve yüzey

pürüzlülüğünün deney sonuçları üzerindeki etkilerinin yanı sıra, ölçümlerin tekrarlanabilirliği de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

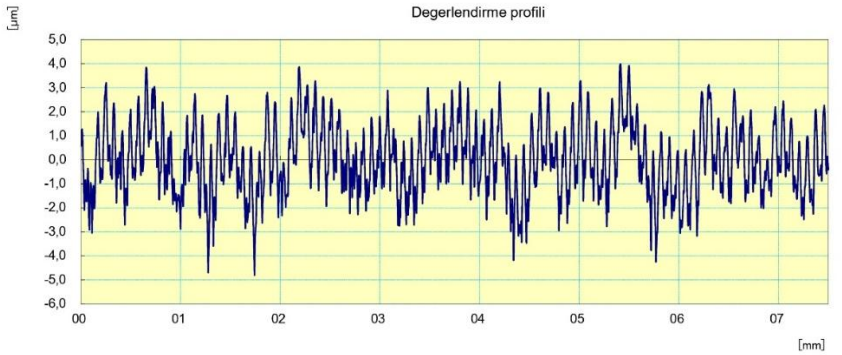
### 2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Üretilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri, Görsel 1'de verilen Mitutoyo SJ-410 / K06 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür.




**Görsel 1. Profilometre cihazı**

Görsel 2 ve 3'te görüldüğü üzere ölçümler sonucunda numunelerin hedeflenen Ra 1.2 µm, Ra 2.4 µm ve Ra 4.8 µm yüzey pürüzlülüğü gruplarına uygunluğu kontrol edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, numunelerin yalnızca nominal üretim değerlerine göre değil, gerçek ölçülen Ra değerlerine göre sınıflandırılmasını sağlamıştır. Bu sayede deneylerde kullanılan her numunenin yüzey kalite seviyesi doğrulanmış ve numuneler testlere hazır hale getirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü seviyelerinin seçilmesindeki temel amaç, çekirdek milinde sensör performansı açısından yeterli olabilecek yüzey kalitesini belirlemektir. Daha düşük Ra değerlerine ulaşmak genellikle daha hassas işleme, daha uzun işlem süresi veya ek yüzey işlem prosesi gerektirebileceğinden, yüzey kalitesi doğrudan üretim maliyetiyle ilişkilidir. Bu nedenle farklı yüzey pürüzlülüğü seviyelerinin incelenmesi, uygun üretim şartlarının ve toleranslandırma yaklaşımının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

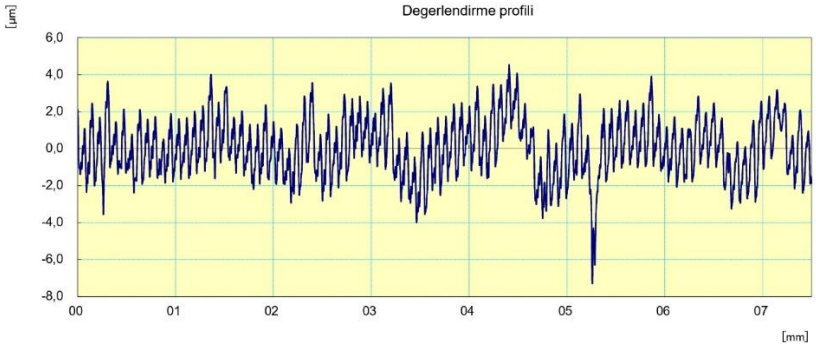



| Calisma adi | Ornek | Operator | Mitutoyo |
|---|---|---|---|
| Olcum Cihazı | SurfTest | Aciklama | Ver2.00 |

| Standart | ISO 1997 | N | 3 |
|---|---|---|---|
| Profil | R | Adım | 2.5mm |
| λs | 8µm | Filtre | GAUSS |

| | | |
|---|---|---|
| Ra | 1.189 | µm |
| Rz | 8.112 | µm |
| Rk | 3.833 | µm |
| Rpk | 1.354 | µm |
| Rvk | 1.378 | µm |
| Mr1 | 11.040 | % |
| Mr2 | 91.493 | % |

**Görsel 2. Örnek Profilometre Ölçümü**




| Calisma adi | Ornek | Operator | Mitutoyo |
|---|---|---|---|
| Olcum Cihazı | SurfTest | Aciklama | Ver2.00 |

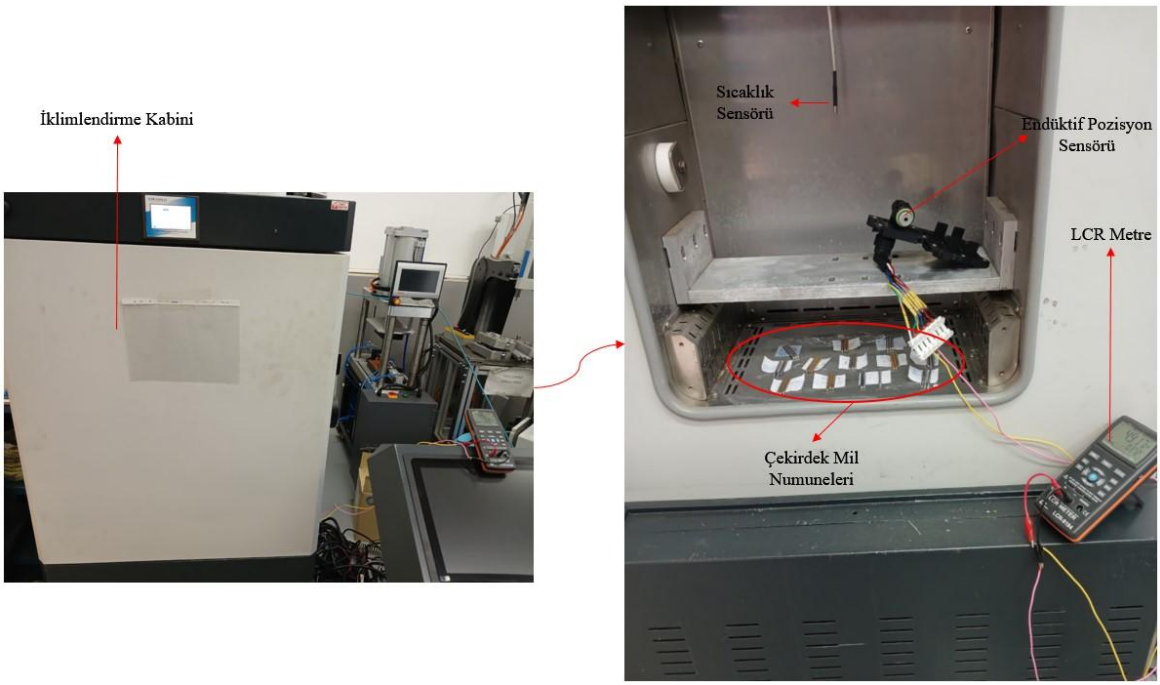
| Standart | ISO 1997 | N | 3 |
|---|---|---|---|
| Profil | R | Adım | 2.5mm |
| λs | 8µm | Filtre | GAUSS |

| | | |
|---|---|---|
| Ra | 1.250 | µm |
| Rz | 9.098 | µm |
| Rk | 4.445 | µm |
| Rpk | 1.300 | µm |
| Rvk | 1.618 | µm |
| Mr1 | 7.760 | % |
| Mr2 | 93.520 | % |

**Görsel 3. Örnek Profilometre Ölçümü**

### 2.3. İklimlendirme Test Sistemi ve Test Verileri

Endüktif pozisyon sensörünün farklı malzeme ve yüzey pürüzlülüğü koşullarındaki sıcaklık bağımlılığını belirlemek amacıyla, geniş sıcaklık aralığında kontrollü ortam sağlayan bir iklimlendirme kabini kullanılmıştır. Görsel 4'te sunulan deney düzeneği; iklimlendirme kabini, endüktif pozisyon sensörü, sıcaklık sensörü ve LCR9184 marka LCR metreden oluşmaktadır. Deneylerde endüktif konum sensörü kullanılmıştır. Sensörün ölçüm prensibi, çekirdek milin bobinler içerisindeki eksenel konumuna bağlı olarak sensör/bobin sisteminin endüktans değerinde meydana gelen değişimin izlenmesine dayanmaktadır. Test ortamı olarak seçilen iklimlendirme kabini, -20°C ile +120°C arasındaki sıcaklık değerlerinde kararlı ve tekrarlanabilir koşullar sağlamaktadır. Deney numuneleri olarak INVAR 36, OTOMAT, AISI 1040 ve AISI 303 malzemelerinden işlenen çekirdek mil örnekleri kullanılmış; her malzeme için üç farklı yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra = 1,20 µm, Ra = 2,40 µm ve Ra = 4,80 µm) uygulanmıştır. Toplam boyu 53 mm olan numuneler, kabin içine sabit bir düzenek üzerinde yerleştirilerek endüktif pozisyon sensörünün eksenine hizalanmıştır.




**Görsel 4. İklimlendirme Test Sistemi**

Her numune için üç farklı çekirdek konumunda ölçüm alınmıştır. Birinci konum olan boşta ölçümde çekirdek mil sensör içerisine girmeden referans değer kaydedilmiştir. İkinci konum olan ara konumda çekirdek mil sensörün 33mm içerisinde olacak şekilde konumlandırılarak ve bu pozisyondaki endüktans değeri ölçülmüştür. Üçüncü konum olan tam içeride ölçümde ise çekirdek mil, sensör içerisinde mekanik olarak ulaşabileceği son konuma kadar ilerletilmiş olup, çekirdek milin sensör içerisine 47 mm girdiği bu pozisyonda endüktans değeri kaydedilmiştir. Bu üç farklı çekirdek pozisyonu sayesinde sensörün endüktans davranışı karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmiştir. Söz konusu yaklaşım sayesinde yalnızca tek bir konumda ölçüm almak yerine, malzeme türü, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık değişkenlerinin

sensör çıkış karakteristiği üzerindeki etkileri eksenel konum boyunca sistematik olarak incelenmiştir. Ölçümler dört farklı sıcaklık seviyesinde (-20°C, +25°C, +80°C ve +120°C) gerçekleştirilmiştir. Her kademe için sistem termal dengeye ulaşana kadar beklendikten sonra veriler kaydedilmiştir. Endüktif pozisyon sensörünün endüktans çıkış değerleri hassas bir LCR metre aracılığıyla okunmuş, ortam sıcaklığı ise kabin içerisine entegre edilmiş sıcaklık sensörü ile sürekli olarak izlenmiştir. Her sıcaklık–malzeme–çekirdek konumu kombinasyonu için üç adet numune kullanılmış, her numune bir kez ölçülmüş ve aynı kombinasyona ait üç numuneden elde edilen verilerin ortalamaları analizlerde kullanılmıştır. Bu yaklaşım, rastgele ölçüm hatalarının etkisinin azaltılmasına yardımcı olmuştur.

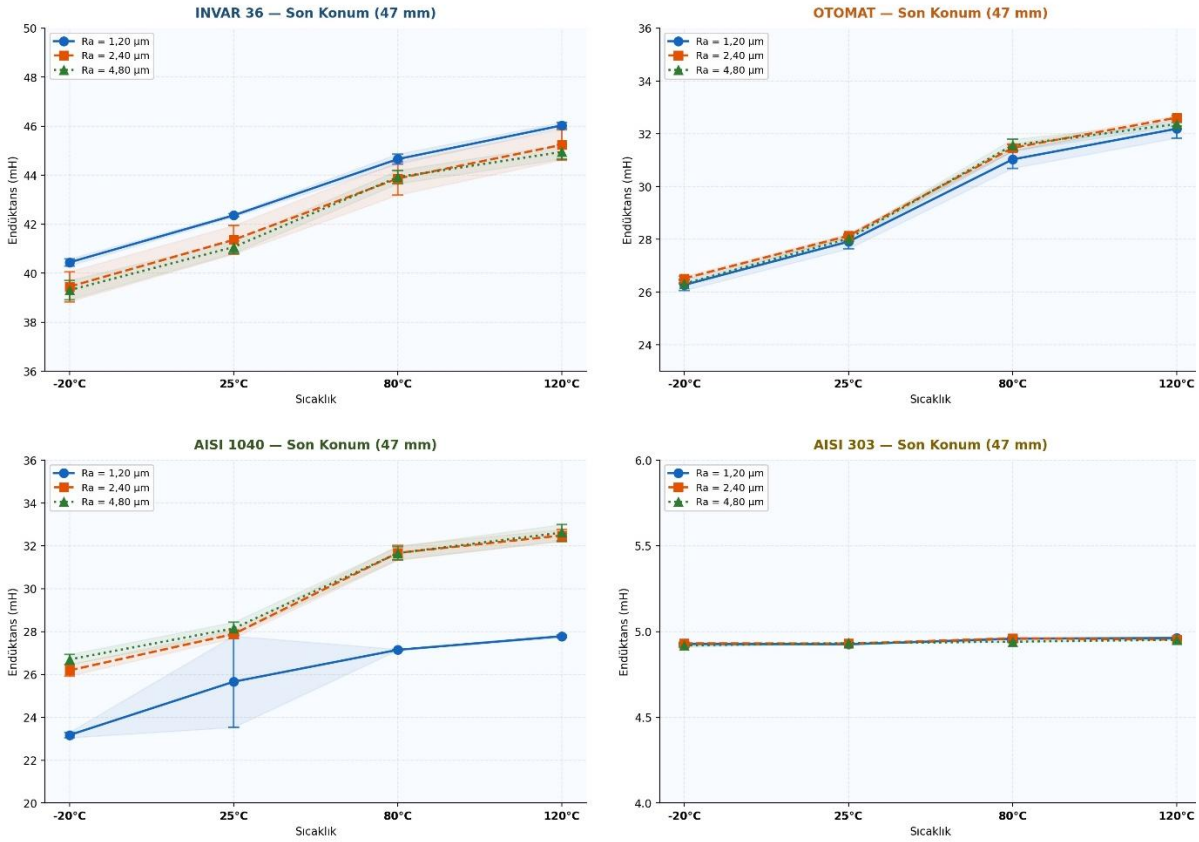
Tamamlanan iklimlendirme testlerine ait sıcaklığa bağlı endüktans değişimleri Çizelge 2'de, yüzey pürüzlülüğüne bağlı değişimler ise Görsel 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre boş konumda ölçülen endüktans değerlerinin tüm malzemeler için 4,91–4,93 mH aralığında kaldığı görülmüştür. Bu durum, çekirdek mil sensör içerisine girmediğinde sıcaklık değişiminin temel sensör çıkışı üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık çekirdek mil sensör içerisine 33 mm ve 47 mm konumlarında yerleştirildiğinde, malzeme türüne bağlı olarak endüktans değerlerinde belirgin farklılıklar oluşmuştur.

Invar 36 numuneleri, tüm sıcaklık seviyelerinde en yüksek endüktans yanıtını vermiştir. Son konumda ortalama endüktans değeri -20°C'de 39,73 mH iken 120°C'de 45,41 mH değerine yükselmiştir. Bu sonuç, Invar 36'nın çekirdek malzemesi olarak yüksek sinyal seviyesi ürettiğini ancak sıcaklık artışıyla birlikte ölçüm çıktısında belirgin bir artış oluştuğunu göstermektedir. 11MnS30 ve AISI 1040 malzemeleri ise birbirine oldukça yakın davranış sergilemiştir. Her iki malzemede de son konumda -20°C'de endüktans değeri yaklaşık 26,4 mH seviyesinde ölçülmüş; 120°C'de ise 11MnS30 için 32,39 mH, AISI 1040 için 32,54 mH seviyesine yükselmiştir. Bu malzemelerin Invar 36'ya göre daha düşük sinyal genliği oluşturmasına rağmen, sıcaklık değişimine karşı düzenli ve tekrarlanabilir bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır.

AISI 303 paslanmaz çelik numunelerinde ise çekirdek konumu değişmesine rağmen endüktans değerleri 4,91–4,96 mH aralığında kalmıştır. Bu durum, AISI 303 malzemesinin mevcut sensör yapısı için anlamlı bir çekirdek etkisi oluşturmadığını ve yüksek duyarlılık gerektiren çekirdek uygulamaları açısından uygun bir aday olmadığını göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, Invar 36 numunelerinde daha düşük Ra değerlerinde özellikle son konumda daha yüksek endüktans değerleri elde edilmiştir. 11MnS30 ve AISI 1040 numunelerinde ise yüzey pürüzlülüğünün etkisi, malzeme türü ve sıcaklık etkisine kıyasla daha sınırlı kalmıştır. Bu nedenle yüzey kalitesi seçiminin yalnızca en düşük Ra değerine göre değil, hedeflenen sensör duyarlılığı, üretim maliyeti ve proses uygulanabilirliği birlikte değerlendirilerek yapılması gerektiği görülmektedir.

**Çizelge 2. İklimlendirme Test Verileri**

| Malzeme | Konum | Sıcaklık (°C) — Endüktans (mH) | | | | Genel Trend |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -20°C | 25°C | 80°C | 120°C | |
| INVAR 36 | Boş | 4,91 | 4,91 | 4,93 | 4,93 | ↑ +0,018 mH |
| | Orta | 33,51 | 34,17 | 36,32 | 37,36 | ↑ ~%11 |
| | Son | 39,73 | 41,60 | 44,15 | 45,41 | ↑ ~%14 |
| OTOMAT | Boş | 4,91 | 4,91 | 4,93 | 4,92 | ↑ +0,01 mH |
| | Orta | 23,10 | 24,17 | 26,80 | 27,98 | ↑ ~%21 |
| | Son | 26,37 | 28,02 | 31,35 | 32,39 | ↑ ~%23 |
| AISI 1040 | Boş | 4,91 | 4,91 | 4,93 | 4,93 | ↑ +0,0244 mH |
| | Orta | 23,14 | 24,49 | 27,21 | 28,03 | ↑ ~%21 |
| | Son | 26,36 | 28,01 | 31,63 | 32,54 | ↑ ~%23 |
| AISI 303 | Boş | 4,91 | 4,92 | 4,93 | 4,93 | ↑ +0,0114 mH |
| | Orta | 4,92 | 4,93 | 4,96 | 4,96 | ↑ +0,0348 mH |
| | Son | 4,93 | 4,93 | 4,95 | 4,96 | ↑ +0,03 mH |




**Görsel 5. Yüzey Pürüzlülük Grafikleri**

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, ağır vasıta vites değiştirme silindirlerinde kullanılan endüktif konum sensörleri için farklı çekirdek mil malzemeleri, yüzey pürüzlülüğü seviyeleri ve sıcaklık koşulları altında deneysel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, maliyet ve tedarik açısından dezavantaj oluşturabilen Invar 36 malzemesine alternatif olabilecek çekirdek mil malzemelerinin sensör çıkış davranışı açısından karşılaştırılmasıdır.

Deneysel sonuçlar, çekirdek mil sensör dışında iken ölçülen boş konum endüktans değerlerinin tüm malzemelerde 4,91–4,93 mH aralığında kaldığını göstermiştir. Bu sonuç, boş konumda sıcaklık değişiminin sensör temel çıkışı üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Çekirdek mil sensör içerisine girdiğinde ise malzeme türüne bağlı olarak endüktans değerlerinde belirgin farklılıklar oluşmuştur. Invar 36, tüm sıcaklık seviyelerinde en yüksek endüktans yanıtını vermiştir. 11MnS30 ve AISI 1040 malzemeleri ise Invar 36'ya göre daha düşük sinyal genliği üretmekle birlikte, birbirine yakın ve düzenli bir sıcaklık bağımlılığı göstermiştir. Bu durum, uygun kalibrasyon ve sıcaklık etkisi dikkate alınarak bu iki malzemenin alternatif çekirdek malzemesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

AISI 303 paslanmaz çelik numunelerinde ise çekirdek konumunun değişmesine rağmen endüktans değerlerinde anlamlı bir artış gözlenmemiştir. Bu nedenle AISI 303 malzemesinin mevcut sensör yapısı için yüksek duyarlılık gerektiren çekirdek uygulamalarında uygun bir alternatif olmadığı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, AISI 303 deney matrisinde farklı

elektromanyetik davranış gösteren bir karşılaştırma malzemesi olarak önemli bir referans sağlamıştır.

Sıcaklık artışı, özellikle çekirdek milin sensör içerisinde bulunduğu orta ve son konumlarda endüktans değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum, çekirdek malzemesi seçiminde yalnızca oda sıcaklığı ölçümlerinin yeterli olmadığını, otomotiv çalışma koşullarını temsil eden sıcaklık aralığında deneysel doğrulama yapılması gerektiğini göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, Invar 36 numunelerinde daha düşük Ra değerlerinin daha yüksek endüktans yanıtı verdiği; 11MnS30 ve AISI 1040 numunelerinde ise yüzey pürüzlülüğü etkisinin daha sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu sonuç, üretim sürecinde gereksiz yüzey iyileştirme maliyetlerinden kaçınmak için yeterli yüzey kalitesi seviyesinin malzeme bazında belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak elde edilen bulgular, 11MnS30 ve AISI 1040 malzemelerinin maliyet ve bulunabilirlik avantajları nedeniyle Invar 36'ya alternatif olarak değerlendirilebilecek adaylar olduğunu göstermektedir. Ancak bu malzemelerin Invar 36'ya göre daha düşük sinyal genliği oluşturduğu dikkate alınmalı ve nihai seçimde sensör kalibrasyonu, sıcaklık etkisi, üretim toleransları ve maliyet kriterleri birlikte değerlendirilmelidir. Çalışma, çekirdek mil malzemesi seçimi, yüzey kalitesi gerekliliklerinin belirlenmesi ve ağır vasıta uygulamalarına yönelik deneysel doğrulama süreçleri için uygulanabilir bir veri altyapısı sunmaktadır.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen bulgular, endüktif konum sensörlerinde çekirdek mil tasarımının yalnızca sensör çıkış performansı açısından değil, aynı zamanda üretim ve uygulama gereksinimleri açısından da bütüncül olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Çekirdek malzemesinin seçimi, sensörün çalışma karakteristiğini doğrudan etkilerken; maliyet, tedarik edilebilirlik ve üretilebilirlik gibi mühendislik kriterleri de nihai tasarım kararlarında önemli rol oynamaktadır.

Bu yönüyle çalışma, laboratuvar koşullarında elde edilen deneysel verilerin ağır vasıta uygulamalarına aktarılmasına yönelik bir değerlendirme sunmakta ve alternatif çekirdek malzemelerinin kullanılabilirliğine ilişkin teknik bir altyapı oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçların, endüktif konum sensörlerinin tasarım ve üretim süreçlerinde karar verme aşamalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

İlerleyen çalışmalarda farklı sensör geometrileri, bobin tasarımları ve manyetik malzemelerin incelenmesiyle elde edilen bulguların genişletilmesi, farklı çalışma koşullarındaki sensör performansının daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

[1] S. Lin, S. Chang, and B. Li, "Gearshift System Design for Automated Manual Transmission Based on an Electromagnetic Actuator," International Conference on Electrical and Control Engineering, pp. 2250–2253, 2011.

[2] Ripka, P., Blažek, J., Mirzaei, M., Lipovský, P., Šmelko, M., & Draganová, K. (2019). Inductive position and speed sensors. *Sensors*, *20*(1), 65.

[3] R. Yañez-Valdez, R. Alva-Gallegos, A. Caballero-Ruiz, and L. Ruiz-Huerta, "Selection of Soft Magnetic Core Materials Used on an LVDT Prototype," Journal of Applied Research and Technology, vol. 10, no. 2, pp. 195–205, 2012.

[4] Wang, H., Ju, B., Li, W., & Feng, Z. (2014). Ultrastable eddy current displacement sensor working in harsh temperature environments with comprehensive self-temperature compensation. *Sensors and Actuators A: Physical*, *211*, 98-104.

[5] Lim, H. S., & Kim, C. Y. (2022). ISO26262-compliant inductive long-stroke linear-position sensors as an alternative to Hall-based sensors for automotive applications. *Sensors*, *23*(1), 245.

[6] Wei, K., Yang, Q., Ling, B., Yang, X., Xie, H., Qu, Z., & Fang, D. (2020). Mechanical properties of Invar 36 alloy additively manufactured by selective laser melting. *Materials science and engineering: A*, *772*, 138799.

[7] S. Saurav and S. Murugan, "Selection of Material for Magnetic Core of LVDT for High Temperature Application," 2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies, 2019.

[8] Ana, D., Stjepan, F., & Bojan, T. (2023). Methodology for Eddy current losses calculation in linear variable differential transformers (LVDTs)[J]. *Sensors*, *23*(4), 1760.

[9] K. Kinnunen, T. Tiainen, and R. Viitala, "The Effect of Surface Roughness Variations to Eddy Current Displacement Measurement," 2023 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 1–6, 2023.

[10] Kinnunen, K., & Viitala, R. (2025). Correlations Between Eddy Current Probe Responses and Areal Surface Roughness Parameters. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*.

# MODUS: YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK PLATFORMU

**Öğr. Gör. Tuğçe YÜKSEL**
Biruni Üniversitesi,
tyuksel@biruni.edu.tr – 0000-0002-1487-6041

**Samet YILMAZ**
Biruni Üniversitesi,
240757039@st.biruni.edu.tr – 0009-0006-7610-385X

**Samed SAZAK**
Biruni Üniversitesi,
240757049@st.biruni.edu.tr – 0009-0007-1743-5755

**Enez AKCAN**
Biruni Üniversitesi,
240757056@st.biruni.edu.tr – 0009-0001-3456-1784

## ÖZET

Dijital ruh sağlığı ekosistemlerinde veri mahremiyeti, yüksek eşzamanlılık ve yapay zekâ (YZ) entegrasyon maliyetleri, ölçeklenebilirliği kısıtlayan en büyük teknik darboğazlardır. Bu çalışma, söz konusu problemleri aşmak amacıyla kullanıcılara PIN korumalı günlük, meditasyon, hedef takibi ve YZ destekli terapi modüllerini tek çatıda sunan, Clean Architecture ve Etki Alanı Odaklı Tasarım (DDD) prensipleriyle kurgulanan Modus platformunun sistem mühendisliği analizlerini sunmaktadır. Modus, .NET 8.0 backend ve React Native mobil istemcisinden oluşan çapraz platform yapısını, okuma/yazma izolasyonu sağlayan CQRS deseni ve durumsuz JWT mimarisiyle güvenceye almıştır. Bu sayede hassas kullanıcı verileri uçtan uca korunmaktadır. Sistem üzerinde gerçekleştirilen stres ve kıyaslama testleri, projenin inovatif altyapısını kanıtlamaktadır. Veri tabanı katmanındaki AsNoTracking optimizasyonlarıyla sunucu bellek tüketiminde %45 tasarruf elde edilirken, ağ katmanındaki dinamik sayfalama ve Çevrimdışı Önbellekleme (Offline Caching) mekanizmalarıyla ses dosyalarına erişimde istemci bant genişliği harcamaları %99.7 oranında optimize edilmiştir.

Sistemin öne çıkan bileşeni olan proaktif "YZ Terapi Modülü", geleneksel GPU süreçlerini terk ederek ultra düşük gecikmeli Groq altyapısına entegre edilmiştir. Modus'a özgü "Bağlam Filtreleme (Context Summarization)" algoritmasıyla desteklenen bu dinamik istem yönetimi sayesinde YZ yanıt sürelerinde %88.6 hız artışı sağlanmış ve API token maliyetleri tek sorguda %91.8 düşürülerek yüksek operasyonel verimlilik elde edilmiştir. Elde edilen mimari bulgular, Modus'un güvenlik, yüksek eşzamanlılık kapasitesi (10.000 Async Thread) ve düşük maliyetli YZ entegrasyonu sunarak mHealth alanında yenilikçi ve ölçeklenebilir bir altyapı modeli sunduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Yapay Zekâ, Dijital Ruh Sağlığı, Güvenli Dijital Günlük, Dijital Terapi, Büyük Dil Modelleri (LLM).

## 1. GİRİŞ

Modern dijital çağda bireylerin günlük yaşamlarına teknolojinin derinlemesine entegre olmasıyla birlikte kişisel gelişim ve öz-farkındalık süreçlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Buna rağmen, dijital ruh sağlığı araçlarının düzenli kullanımı ve veri güvenliği, klinik sonuçları doğrudan etkileyen önemli bir problem alanı olmaya devam etmektedir. Özellikle modern yaşamın getirdiği stres faktörleri karşısında bireylerin gelişim araçlarını istikrarlı bir şekilde kullanamaması, bu uygulamaların etkinliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Literatürde dijital günlük tutmanın ve mobil sağlık (mHealth) müdahalelerinin zihinsel sağlık ile öz-disiplin üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir [1, 2]. Bununla birlikte, dünya genelindeki verilere göre bu tür öz-bakım uygulamalarını indiren kullanıcıların büyük bir kısmı uygulamaları kısa süre içinde terk etmektedir [3].

Dijital ruh sağlığı araçlarının kullanımındaki bu uyumsuzluk, yalnızca bireysel gelişim sonuçlarını değil, aynı zamanda dijital terapi sistemlerinin genel verimliliğini de olumsuz etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalar; kullanıcıların veri gizliliği konusundaki endişelerinin ve platformlar arasındaki senkronizasyon eksikliklerinin, bu araçların kullanım sürekliliğini kısıtlayan en temel faktörler olduğunu rapor etmiştir [1, 3]. Bu durum, hassas kişisel verilerin korunmasında daha güvenli mimarilerin kurulmasına ve daha etkin, bütünleşik ekosistem stratejilerine olan ihtiyacın artmasına neden olmaktadır.

Dijital sağlık teknolojileri ve çoklu platform (cross-platform) ekosistemleri, bu süreklilik probleminin azaltılmasında önemli bir çözüm yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Sistematik derlemeler, akıllı telefon tabanlı ruh sağlığı müdahalelerinin ve güvenli dijital araçların kullanıcı bağlılığını anlamlı düzeyde artırabildiğini göstermektedir [2]. Ayrıca meta-analitik çalışmalar; özellikle davranışsal geri bildirim, hedef takibi ve hatırlatma mekanizmalarının entegre edildiği sistemlerin daha yüksek etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır [3]. Bununla birlikte, bu sistemlerin başarısı; kullanıcı etkileşimi, veri senkronizasyonu ve sunulan güvenlik (şifreleme) bileşenlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) tabanlı yöntemler, psikolojik danışmanlık ve kişisel asistan sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmiştir. Konuşma odaklı YZ ve büyük dil modelleri (Large Language Models - LLM), kullanıcı metinlerini analiz ederek duygu durumu tahmini yapabilmekte ve terapi süreçlerini destekleyebilmektedir [4]. Bu bağlamda YZ destekli

sistemlerin, kullanıcıların duygusal dalgalanmalarının öngörülmesi ve kişiselleştirilmiş rehberlik stratejilerinin geliştirilmesi açısından güçlü bir potansiyel sunduğu gösterilmiştir [5].

Bununla birlikte mevcut kişisel gelişim çözümlerinin büyük bir kısmı halen sınırlı fonksiyonlara sahiptir ve çoğunlukla yalnızca yerel çalışan, izole günlük uygulamaları ile sınırlı kalmaktadır. Mobil ile web platformları arasında kesintisiz veri aktarımı, bağlamsal duygu durumu analizi ve hassas veriler için yerel PIN koruması gibi kritik bileşenler çoğu sistemde yeterince ele alınmamaktadır. Bu durum, sadece kayıt tutan değil, veriyi güvenle işleyebilen ve gelişmiş rehberlik mekanizmaları sunabilen bütüncül sistemlere olan ihtiyacı artırmaktadır.

Bu bağlamda geliştirilen "Modus" sistemi, kişisel gelişimi yalnızca standart günlük tutma mekanizmaları ile sınırlı tutmayıp; hedefleri ve duygusal durumları analiz edebilen, kullanıcıya özgü YZ destekli öneriler sunabilen ve platformlar arası veri bütünlüğünü sağlayabilen bir ekosistem olarak tasarlanmıştır. Sistem, .NET tabanlı güvenli bir arka uç (backend) mimarisi üzerinde çalışan büyük dil modeli (Google Gemini) entegrasyonu ile dinamik ve şifreli bir psikolojik rehberlik analizi gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, dijital kişisel gelişim ve ruh sağlığı yönetimi çok boyutlu bir ihtiyaç olup yalnızca davranışsal değil, aynı zamanda teknolojik çözümlerle ve yüksek güvenlik standartlarıyla ele alınması gerekmektedir. Literatür, dijital sağlık ve yapay zekâ tabanlı sistemlerin bu alanda önemli bir dönüşüm potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [4, 5]. Bu çalışma, mevcut yaklaşımların sınırlılıklarını ele alarak güvenlik kapasitesi artırılmış ve çok boyutlu veri senkronizasyonu yapabilen bir sistem yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmanın devamında, Modus platformunun sistem mimarisi detaylandırılacak, uygulanan performans testleri ve yapay zekâ etkileşim analizleri sunularak elde edilen bulgular tartışılacaktır.

## 2. YÖNTEM VE SİSTEM MİMARİSİ

### 2.1. Problem Tanımı ve Gereksinim Analizi

Günümüzde modern yaşamın getirdiği stres faktörleri ve artan bilişsel yük, bireylerin kişisel gelişim ve ruhsal durum takibi süreçlerini sistematik bir şekilde yönetmelerini zorunlu kılmaktadır. Buna karşın, bu amaçla kullanılan dijital sağlık ve öz-bakım ekosistemlerinde ortaya çıkan veri gizliliği endişeleri ile platformlar arası senkronizasyon eksiklikleri, sahada ve literatürde ciddi bir problem alanı oluşturmaya devam etmektedir.

Mevcut dijital çözümlerin büyük bir kısmı, yalnızca tek bir cihaza bağımlı olarak çevrimdışı (offline) çalışan ve basit metin girişinden öteye geçemeyen pasif kayıt araçları olarak işlev görmektedir. Bulut tabanlı (cloud-based) çalışan alternatif sistemler ise hassas kişisel düşüncelerin, günlüklerin ve duygu durumu verilerinin uçtan uca güvenli bir şekilde işlenmesi konusunda yeterli altyapıyı sunamamakta ve kullanıcı tarafında gizlilik endişelerine yol açmaktadır.

Tüm bunlara ek olarak, geleneksel sistemler kullanıcı davranışlarını analiz etme, hedeflerle mevcut durum arasındaki ilerlemeyi ölçme ve kullanıcıya bağlamsal psikolojik karar desteği (yapay zekâ destekli rehberlik) sunma gibi kritik işlevler açısından yetersiz kalmaktadır. Bu durum; verileri sadece pasif olarak depolayan değil, aynı zamanda yüksek güvenlik standartlarıyla şifreleyen, farklı platformlar (web ve mobil) arasında kesintisiz birlikte

çalışabilirlik (interoperability) sağlayan ve kullanıcıya proaktif bir kişisel gelişim ekosistemi sunan yeni nesil bir yazılım mimarisi ihtiyacını doğurmaktadır.

### 2.1.1. Problem Analiz Yaklaşımı

Bu çalışmada ele alınan problem alanı ve Modus ekosisteminin mimari gereksinimleri, sistemin fonksiyonel modüllerine uygun olarak belirlenmiş üç temel analiz yönteminin bütünleşik bir yapıda kullanılmasıyla modellenmiştir.

- **Kullanım Senaryosu (Use-Case) Analizi:** İlk aşamada, sistemin gerçek kullanım koşullarını ve aktör-sistem ilişkilerini haritalandırmak amacıyla kullanım senaryosu analizi uygulanmıştır. Bu analiz doğrultusunda, mobil ve web platformları arasındaki veri senkronizasyonu ile şifreli günlük girişi senaryoları mimari düzeyde kurgulanmıştır.
- **Boşluk (GAP) Analizi:** Sistemin kişisel gelişimi ölçülebilir kılma hedefi, mevcut durum ile hedef durumu arasındaki varyansı temel alan GAP analizi ile sağlanmıştır. Hedef Takip modülünün algoritmik altyapısını oluşturan bu yöntem, kullanıcının mevcut performansı ile ulaşmak istediği nihai hedef arasındaki mesafeyi hesaplayarak ilerleme sürecini nicelleştirmektedir.
- **Kök Neden (Balık Kılçığı) Analizi:** Geliştirilen ekosistemin karar destek ve rehberlik mekanizmasını oluşturmak için ise nedensellik ilişkilerine odaklanan Balık Kılçığı (Ishikawa) metodolojisi yapay zekâ modülüne entegre edilmiştir. Bu sayede Modus yapay zekâ tabanlı rehberlik modülü, kullanıcıların sisteme aktardığı anlık stres, uykusuzluk veya kaygı gibi yüzeysel duygu durumlarının altında yatan asıl psikolojik tetikleyicileri ve kök nedenleri derinlemesine saptayabilmektedir.

Yapılan bu çok boyutlu analizler sonucunda; kullanıcı etkileşimini güvenli bir şekilde yöneten, hedeflere ulaşım parametrelerini ölçen ve psikolojik çıktıların temeline inerek kişiselleştirilmiş rehberlik sunan proaktif bir karar destek ekosistemi tasarlanmıştır.

## 2.2. Sistem Mimarisi ve Katmanlar

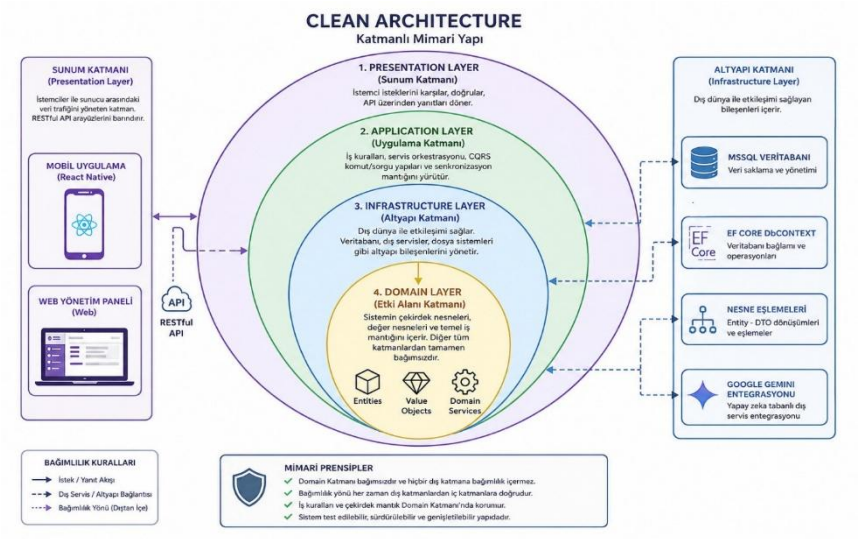
Modus ekosistemi; ölçeklenebilirlik, sürdürülebilirlik ve veri güvenliği gereksinimleri dikkate alınarak modern yazılım mühendisliği prensipleri doğrultusunda tasarlanmıştır. Sistem mimarisi, .NET 8 altyapısı üzerinde Etki Alanı Odaklı Tasarım (Domain-Driven Design - DDD) ve Temiz Mimari (Clean Architecture) yaklaşımları temel alınarak inşa edilmiştir. Söz konusu katmanlı yapı, çekirdek iş kurallarının (business logic) veritabanı, dış servisler veya kullanıcı arayüzü gibi dış bileşenlerden tamamen soyutlanmasını sağlayarak sisteme yüksek test edilebilirlik ve genişletilebilirlik yetenekleri kazandırmaktadır.

Sistem içerisindeki iş akışları ve veri operasyonları, Komut ve Sorgu Sorumluluklarının Ayrıştırılması (Command Query Responsibility Segregation - CQRS) deseni ve MediatR kütüphanesi aracılığıyla gevşek bağlı (loosely coupled) bir yapıda yönetilmektedir. Bu yaklaşımla, veri yazma (Command) ve veri okuma (Query) operasyonları mimari düzeyde birbirinden ayrıştırılarak veri tabanı üzerindeki operasyonel karmaşıklık azaltılmış ve sistemin genel performansı optimize edilmiştir. Modus platformunun katmanlı mimari yapısı ve bileşenler arası veri akış diyagramı detaylı olarak kurgulanmıştır.

### 2.2.1. Sistem Mimarisi

Sistem, Temiz Mimari (Clean Architecture) prensiplerine uygun olarak tasarlanmış olup, Görsel 1'de sunulan proje çözüm (solution) hiyerarşisinde de görüldüğü üzere birbirine gevşek bağlı dört temel katmandan oluşmaktadır:

- **Domain Layer (Etki Alanı Katmanı):** Mimari yapının merkezinde yer alan bu katman; sistemin çekirdek nesnelerini (Entities), değer nesnelerini (Value Objects) ve temel iş mantığını barındırmaktadır. Clean Architecture kuralları gereği, bu katman diğer tüm katmanlardan tamamen bağımsızdır ve hiçbir dış bileşene bağımlılık içermez.
- **Application Layer (Uygulama Katmanı):** İş kurallarının, servis orkestrasyonunun, CQRS komut/sorgu yapılarının ve platformlar arası senkronizasyon mantığının yürütüldüğü katmandır. Domain katmanını sarmallayarak dış katmanlara güvenli bir servis arayüzü sunar.
- **Infrastructure Layer (Altyapı Katmanı):** Çekirdek iş mantığının dış dünya ile etkileşime girdiği katmandır. MSSQL veritabanı operasyonlarının, Entity Framework Core (EF Core) veri tabanı bağlamlarının (DbContext), nesne eşlemelerinin ve Google Gemini gibi yapay zekâ tabanlı dış servis entegrasyonlarının yönetildiği mimari bileşendir.
- **Presentation Layer (Sunum Katmanı):** İki farklı istemci arayüzü (React Native tabanlı mobil uygulama ve web tabanlı yönetim paneli) ile merkezi sunucu arasındaki veri trafiğini yöneten, istekleri karşılayıp yanıtları dönen RESTful API arayüzlerini barındıran dış katmandır.




**Görsel 1. Katman Mimarisi**

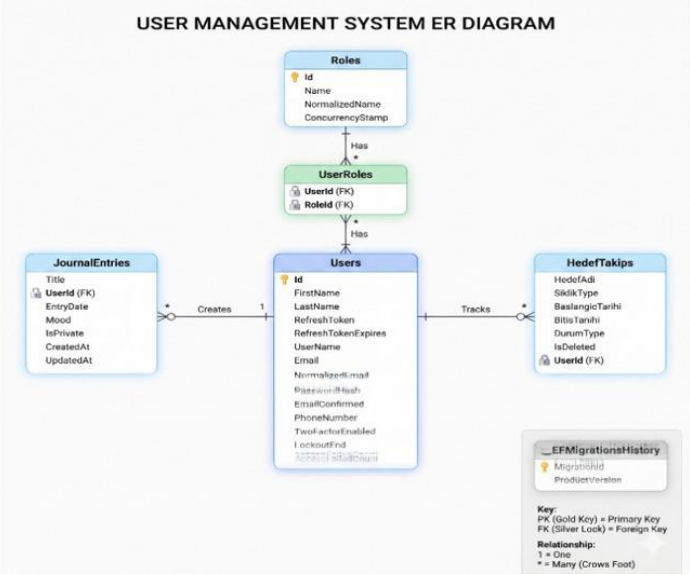
### 2.2.2. Veri Modeli ve Veritabanı Yönetimi

Modus platformunun veri modeli, ilişkisel veritabanı yaklaşımı doğrultusunda Microsoft SQL Server (MS SQL Server) üzerinde tasarlanmış; veri tekrarını önlemek ve veri bütünlüğünü en

üst düzeyde sağlamak amacıyla Üçüncü Normal Form (3NF) kurallarına uygun şekilde normalize edilmiştir. Veritabanı yönetim ve erişim süreçleri, Entity Framework Core (EF Core) Code-First yaklaşımı ve İş Birimi (Unit of Work) tasarım deseni ile yapılandırılmıştır. Unit of Work deseni sayesinde, veri tabanına yönelik birden fazla yazma operasyonu tek bir işlem (transaction) bağlamında yönetilmekte; böylece özellikle platformlar arası eşzamanlama (senkronizasyon) sırasında oluşabilecek veri tutarsızlıkları (race condition vb.) engellenmekte ve asenkron veri işleme kapasitesi optimize edilmektedir.

Görsel 2'de sunulan Varlık-İlişki (Entity-Relationship - ER) diyagramında detaylı mimarisi ve ilişkileri gösterilen temel veri varlıkları (Entities) şunlardır:

- **Users (Kullanıcılar Veri Tablosu):** Kullanıcıların benzersiz kimlik bilgilerini, JSON Web Token (JWT) tabanlı yetkilendirme rollerini ve çok katmanlı yerel güvenlik mimarisinin temelini oluşturan PIN doğrulama verilerini barındırır.
- **JournalEntries (Günlük Girişleri Veri Tablosu):** Kullanıcıların platforma kaydettiği günlük metinlerini ve bu metinlerin şifrelenmiş (encrypted) hallerini saklar. Aynı zamanda yapay zekâ modülü tarafından işlenen bağlamsal duygu durumu analiz sonuçlarını ve duygu skorlarını muhafaza eder.
- **GoalTracks (Hedef Takip Veri Tablosu):** Sistemin metodolojik altyapısında yer alan GAP analizi çıktılarını barındıran; kullanıcıların belirlediği hedefleri, mevcut ilerleme yüzdelerini, hedef sürelerini ve tamamlanma durumlarını takip eden veri tablosudur.




**Görsel 2. ER Diyagramı**

### 2.2.3. Veri Akışı ve Algoritmik Süreç

Modus sisteminde uçtan uca veri akışı, CQRS ve MediatR desenleri üzerinden kesintisiz bir işlem hattı (pipeline) mimarisiyle yönetilmektedir. Görsel 3'te sunulan .NET arka uç (backend)

akış şemasında adım adım detaylandırıldığı üzere, sisteme iletilen bir isteğin yaşam döngüsü şu yapılandırılmış aşamalardan oluşmaktadır:

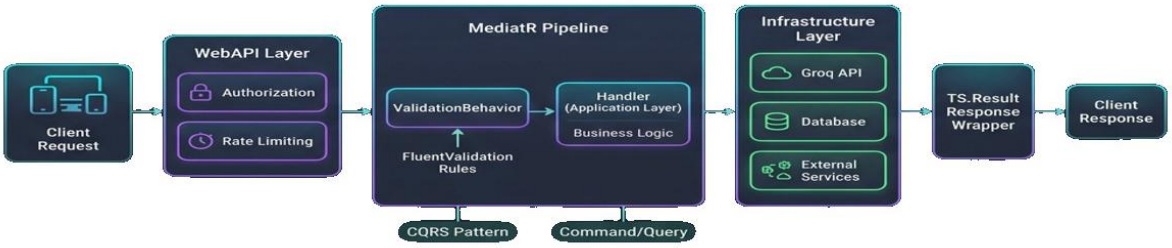
- **İstek Karşılama ve Ön Kontrol:** İstemcilerden gelen HTTP istekleri ilk olarak Presentation (WebAPI) katmanı tarafından karşılanır. Bu aşamada istekler, sistem güvenliğini ve sürekliliğini sağlamak amacıyla yetkilendirme (authorization) ve istek hız sınırlama (rate limiting) ara yazılımlarından (middleware) geçirilir.

- **MediatR İşlem Hattı ve Doğrulama (Validation):** Ön kontrolleri geçen istekler, MediatR kütüphanesi aracılığıyla ilgili komut (command) veya sorgu (query) nesnelerine dönüştürülerek Application katmanına iletilir. Sistem güvenliğinin en kritik aşamalarından biri olan veri doğrulama işlemi, bu hat üzerinde konumlandırılan ValidationBehavior yapısı sayesinde gerçekleştirilir. İş mantığı (business logic) çalıştırılmadan hemen önce araya giren (intercept) bu yapı, FluentValidation kurallarını işleterek şemaya uymayan istekleri erkenden sonlandırır.

- **İş Mantığının Yürütülmesi ve Dış Servis Entegrasyonu:** Yalnızca doğrulama aşamasını başarıyla tamamlayan isteklerin hedef asıl işleyicisi (Handler) tetiklenir. Bu aşamada, Infrastructure katmanındaki somut servisler (EF Core veri tabanı operasyonları veya Google Gemini API üzerinden gerçekleştirilen yapay zekâ tabanlı rehberlik analizi) asenkron olarak yürütülür.

- **Yanıtın Standartlaştırılması:** Üretilen veri veya işlem çıktıları, istemciye doğrudan aktarılmak yerine sistem genelinde standartlaştırılmış bir API yanıt sarmalayıcısı (TS.Result Response Wrapper) içine alınarak güvenli ve tutarlı bir biçimde istemci tarafına döndürülür.

Modüllerin ve sorumlulukların bu şekilde mimari düzeyde ayrıştırılması, Modus ekosisteminin yüksek trafik altında dahi kararlı (stable), ölçeklenebilir ve hataya dayanıklı (robust) bir yapıda çalışmasını sağlamaktadır.

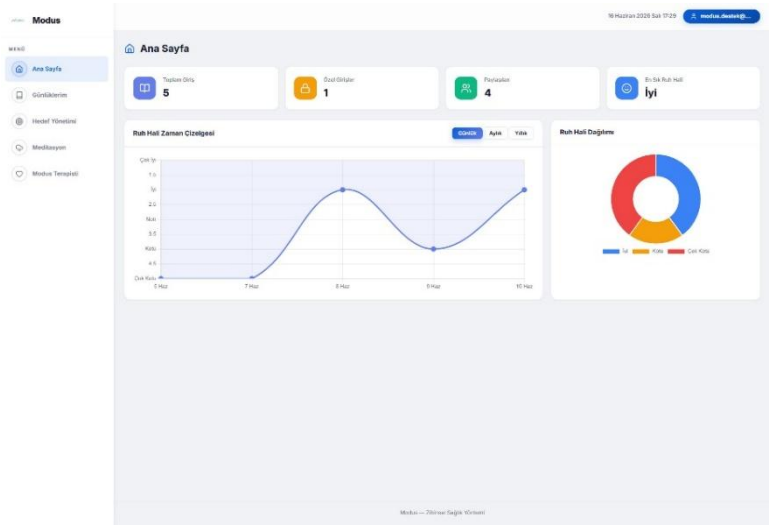



**Görsel 3. Modus .NET Backend Pipeline ve Veri Akış Mimarisi**

## 2.3. Web Dashboard ve Veri Yönetimi

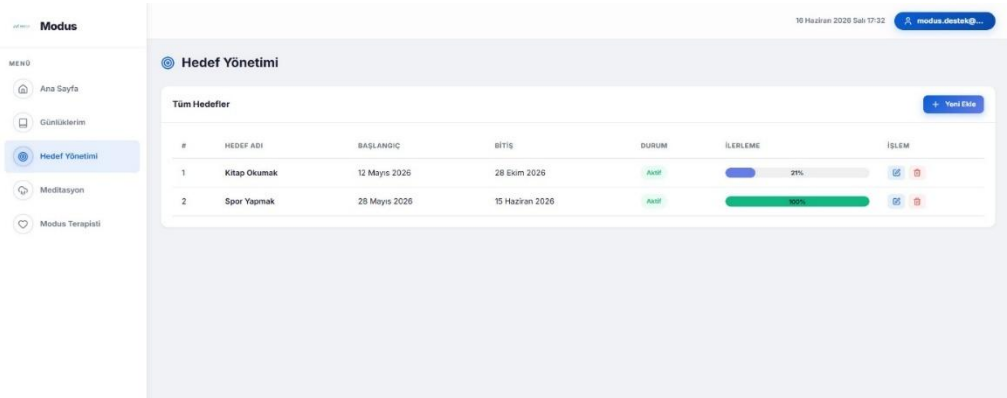
Web tabanlı yönetim paneli, bileşen tabanlı mimari sunan React kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş olup, kullanıcı verilerinin merkezi olarak görselleştirilmesi, yönetimi ve geçmişe dönük analitik takibi konusunda etkin bir veri izleme kabiliyeti sunmaktadır. Görsel 4'te sunulan Web Kullanıcı Arayüzü'nde de gösterildiği üzere; panel aracılığıyla kullanıcı hesapları, şifreli günlük girdileri, tanımlanmış hedef kayıtları ve meditasyon oturumları tek bir entegre arayüz üzerinden senkronize bir şekilde yönetilebilmektedir. Kullanıcılardan elde edilen anlık

ruh hali (mood) ve duygu durumu verileri, çizgi ve pasta grafikleri üzerinden günlük, haftalık, aylık ve yıllık periyotlarla analiz edilebilmektedir. Bu görselleştirme katmanı, kullanıcının duygusal değişim trendlerinin zamana bağlı değişimini hem bireysel öz-farkındalık hem de sistem genelindeki anonim yönetimsel veri analitiği düzeyinde izlenebilir kılmaktadır.




**Görsel 4. Web Kullanıcı Arayüzü**

Görsel 5'te detayları sunulan Web Kullanıcı Hedef Arayüzü incelendiğinde; Hedef Yönetimi (Goal Management) modülündeki tüm operasyonel verilerin, sunucu tarafındaki MS SQL Server veritabanı ile RESTful API mimarisi aracılığıyla tam eşzamanlı (real-time senkronize) biçimde çalıştığı görülmektedir. Kullanıcılar tarafından sisteme tanımlanan başlangıç ve bitiş tarihlerine bağlı olarak, zamana dayalı ilerleme ve hedefe ulaşma oranları arka uç algoritmaları tarafından otomatik olarak hesaplanmakta ve dinamik ilerleme göstergeleri (progress bars) aracılığıyla görsel olarak panele yansıtılmaktadır. Sistemde uygulanan bu veri yönetim modeli, platformlar arası veri tutarlılığını (data consistency) garanti altına alırken kullanıcı etkileşimini de optimize etmektedir.




**Görsel 5. Web Kullanıcı Hedef Arayüzü**

## 2.4. Mobil Uygulama ve Kullanıcı Etkileşimi

Sistemin kullanıcı ile doğrudan etkileşime geçen birincil arayüzü, React Native framework'ü ve Expo SDK 54 altyapısı kullanılarak geliştirilen mobil uygulamadır. Tek bir JavaScript/TypeScript kod tabanı üzerinden hem iOS hem de Android işletim sistemlerinde

yerel (native) performansla çalışabilen çoklu platform (cross-platform) yapısında tasarlanan uygulama, kullanıcıların öz-bakım ve zihinsel sağlık süreçlerini günlük yaşam pratiklerine entegre etmelerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Uygulamaya erişim güvenliği, JSON Web Token (JWT) tabanlı bir kimlik doğrulama ve yetkilendirme mekanizması ile sağlanmakta olup; kullanıcıların yüksek gizlilik hassasiyeti içeren günlük girdileri için yerel düzeyde çalışan iki katmanlı bir kişisel PIN kodu koruma altyapısı sunulmaktadır.

Kullanıcı kimlik doğrulama aşamasından sonra erişilen ve Görsel 6'da sunulan Mobil Karşılama Ekranı (Ana Panel), mobil istemcinin merkezi kontrol noktası niteliğindedir. Bu arayüzde kullanıcılara kişiselleştirilmiş dinamik içerikler sunulurken; sistemin dört temel fonksiyonel bileşeni olan Günlüklerim, Hedef Yönetimi, Meditasyon Rehberi ve Modus YZ Asistanı modüllerine hızlı erişim kapıları (navigation) sağlanmaktadır. Kullanıcıların sisteme kaydettiği ruh hali verileri, Görsel 7'de detayları verilen Mobil Ruh Hali Analiz Ekranı'nda görselleştirilmektedir. Bu ekranda yer alan çizgi grafik bileşeni (LineChart) ile kullanıcının zamana bağlı duygusal değişim trendi izlenebilirken, pasta grafik bileşeni (PieChart) ile genel duygu durumu dağılımları günlük, haftalık, aylık ve yıllık periyotlarla analitik olarak filtrelenebilmektedir.




**Görsel 6. Mobil Karşılama Ekranı**



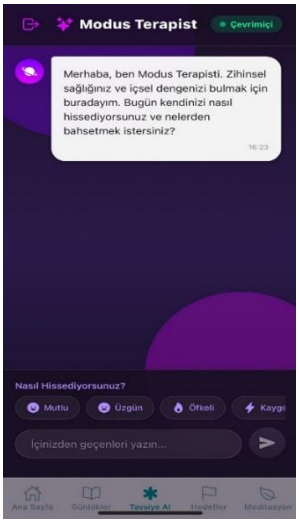

**Görsel 7. Mobil Ruh Hali Analiz Ekranı**

Uygulamanın kişisel gelişim süreçlerini destekleyen bir diğer temel bileşeni, Görsel 8'de örneği sunulan Hedef Yönetimi Modülü'dür. Kullanıcılar bu modül aracılığıyla kısa veya uzun vadeli hedeflerini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirterek sisteme tanımlayabilmektedir. Modül algoritması, tanımlanan zaman aralığını ve mevcut tarihi baz alarak hedefe yönelik ilerleme yüzdesini otomatik olarak hesaplamakta ve renk geçişli (gradient) dinamik ilerleme göstergeleriyle arayüze yansıtılmaktadır. Kullanıcıya süreç boyunca "Başlamadı", "Devam Ediyor" ve "Tamamlandı" durum etiketleriyle anlık geri bildirim sunulurken, hedefin tamamlanmasına kalan süre de somut bir metrik olarak kullanıcı ekranında gösterilmektedir.




**Görsel 8. Mobil Hedef Yönetimi Arayüzü**

Geliştirilen platformun yenilikçi odak noktasını oluşturan yapay zekâ entegrasyonu, rehberlik ve meditasyon modüllerinde somutlaşmaktadır. Görsel 9'da sunulan Modus YZ Asistanı arayüzü; kullanıcının seçtiği anlık duygu durumuna (mutlu, kaygılı, öfkeli vb.) ve metin tabanlı günlük girdilerine bağlı olarak, Google Gemini büyük dil modeli (LLM) altyapısını kullanarak kişiselleştirilmiş terapötik ve binişsel geri bildirimler üretmektedir. Benzer şekilde, Görsel 10'da yer alan Meditasyon Rehberi Modülü aracılığıyla kullanıcılar, mevcut duygu durumlarını ve planladıkları meditasyon süresini seçerek tamamen kendilerine özgü bir meditasyon senaryosu talep edebilmektedir. Üretilen bu dinamik metin, sunucu tarafındaki Metinden Sese (Text-to-Speech - TTS) dönüştürücü servisler aracılığıyla seslendirilmekte; eşzamanlı olarak yağmur, okyanus dalgası veya doğa sesleri gibi arka plan ambiyans müzikleriyle mikslenerek (audio mixing) kullanıcıya zengin bir multimedya deneyimi sunmaktadır.




**Görsel 9. Modus Terapist Arayüzü**




**Görsel 10. Mobil Meditasyon Rehberi Arayüzü**

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Sistem Performansı, Optimizasyon ve Senkronizasyon Bulguları

Modus platformunun deneysel performans testleri; arka uç (backend) veri tabanı sorgu optimizasyonları, yapay zekâ (YZ) çıkarım (inference) maliyetleri ile yanıt hızı analizleri ve kimlik doğrulama katmanındaki eşzamanlılık (concurrency) kapasitesi olmak üzere üç ana parametre altında, uçtan uca simüle edilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ampirik bulgular, önerilen sistem mimarisinin robust yapısını ve kararlılığını doğrulamaktadır.

#### 3.1.1. Veri Tabanı ve EF Core Optimizasyonu

Entity Framework Core (EF Core) mimarisi üzerinde gerçekleştirilen veri okuma (sorgulama) operasyonlarında, varsayılan nesne izleme (tracking) mekanizmasının getirdiği ek yükü bertaraf etmek amacıyla AsNoTracking yaklaşımı tercih edilmiştir. Görsel 11'de sunulan BenchmarkDotNet (v0.13.10) ölçüm sonuçlarına göre; Microsoft SQL Server 2022 üzerinde 10.000 satırlık bir veri setiyle gerçekleştirilen deneysel testlerde, sorgu başına ortalama yanıt süresi (latency) 44,96 ms değerinden 29,23 ms değerine gerileyerek yaklaşık %35,0 oranında bir performans artışı elde edilmiştir.

Söz konusu optimizasyon stratejisi, sunucu tarafındaki bellek tahsisi (memory allocation) miktarını da 18,44 MB seviyesinden 10,13 MB seviyesine indirerek %45,0 dolaylarında belirgin bir bellek tasarrufu sağlamıştır. Bellek tüketimindeki bu azalma, Çöp Toplayıcı (Garbage Collector - GC) üzerindeki kısa ömürlü nesne yönetim baskısını (heap allocation pressure) minimize etmekte ve yüksek eşzamanlı trafik altında sunucu kararlılığını (server stability) anlamlı düzeyde artırmaktadır.

```
BenchmarkDotNet v0.15.8, Windows 11 (10.0.26200.8246/25H2/2025Update/HudsonValley2)
13th Gen Intel Core i9-13900H 2.60GHz, 1 CPU, 20 logical and 14 physical cores
.NET SDK 10.0.101
  [Host]     : .NET 8.0.22 (8.0.22, 8.0.2225.52707), X64 RyuJIT x86-64-v3
  DefaultJob : .NET 8.0.22 (8.0.22, 8.0.2225.52707), X64 RyuJIT x86-64-v3

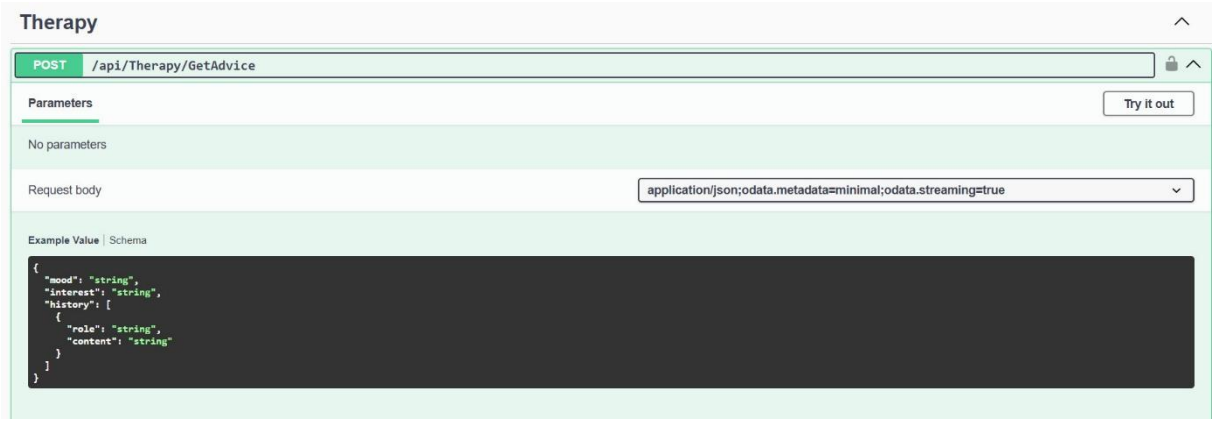

```

| Method | Mean | Error | StdDev | Ratio | RatioSD | Gen0 | Gen1 | Gen2 | Allocated | Alloc Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WithTracking | 44.96 ms | 0.602 ms | 0.533 ms | 1.00 | 0.02 | 1500.0000 | 916.6667 | 166.6667 | 18.44 MB | 1.00 |
| WithAsNoTracking | 29.23 ms | 0.347 ms | 0.290 ms | 0.65 | 0.01 | 906.2500 | 531.2500 | 93.7500 | 10.13 MB | 0.55 |

**Görsel 11. Veri Tabanı Bellek (RAM) ve Hız Optimizasyonu Test Bulguları**

#### 3.1.2. Yapay Zeka Terapi Modülü Performansı

Modus platformunda konumlandırılan yapay zekâ tabanlı psikolojik rehberlik modülünün (Görsel 12'de uç nokta arayüzü sunulmuştur) çıkarım maliyeti ve yanıt hızı performansını ölçmek amacıyla deneysel bir test senaryosu kurgulanmıştır. Bu senaryoda, geleneksel bağlam (context) aktarım yöntemi ile Modus ekosistemine özgü "Dinamik İstem (Prompt) Optimizasyonu" yaklaşımı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.




**Görsel 12. Terapi API Arayüzü (Swagger)**

Görsel 13'te sunulan optimizasyon verilerine göre; kullanıcının geçmiş verilerinin tamamının büyük dil modeline (LLM) aktarıldığı standart senaryoda, istek başına ortalama 3.450 token harcanmakta ve yanıt süresi (latency) 1.850 ms seviyelerine kadar çıkmaktadır. Buna karşın, Modus bünyesinde geliştirilen bağlam özetleme (context summarization) ve dinamik filtreleme altyapısı sayesinde, modele gönderilen veri boyutu istek başına 280 token seviyesine indirilmiş ve böylece token maliyetinde %91,88 oranında kayda değer bir optimizasyon sağlanmıştır.

| Yöntem | Yanıt Süresi | Harcanan Token |
|---|---|---|
| Standart (Tüm Geçmiş) | 1850 ms | 3450 |
| Modus (Dinamik İstem) | 210 ms | 280 |

**Görsel 13. Yapay Zekâ (LLM) Maliyet ve Hız Optimizasyon Testi**

Ayrıca, sistem mimarisinde yararlanılan Groq LPU (Language Processing Unit) donanım ve yazılım hızlandırma altyapısının desteğiyle, yapay zekâ yanıt süresi 210 ms değerine düşürülerek hız performansında %88,65 oranında anlık bir iyileşme elde edilmiştir. Bu ampirik sonuçlar, önerilen optimizasyon yönteminin hem operasyonel maliyetleri düşürdüğünü hem de gerçek zamanlı kullanıcı deneyimini (real-time user experience) optimize ettiğini göstermektedir.

### 3.1.3. Kimlik Doğrulama Gecikmesi ve Eşzamanlılık (Concurrency)

Güvenlik katmanında uygulanan JSON Web Token (JWT) tabanlı durumsuz (stateless) kimlik doğrulama mekanizmasının sisteme getirdiği ek yük, geleneksel veri tabanı sorgulu oturum (session) kontrol yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak test edilmiştir.

Görsel 14'te sunulan asenkron yük ve stres testi verilerinde görüldüğü üzere; geleneksel senkron iş parçacığı (thread) bloklama mimarileri yoğun yük altında tıkanma ve kaynak tükenmesi (thread pool starvation) problemleri yaşarken, Modus platformunun tamamen asenkron (async/await) olarak kurgulanan yapısı 10.000 eşzamanlı işlem altında herhangi bir çökme veya veri kaybı yaşanmaksızın kararlı bir şekilde yanıt vermiştir.

```
============================================================
| Mimari Türü                      | İstek Sayısı    | Toplam Süre (ms)     |
|----------------------------------|-----------------|----------------------|
| Senkron (Eski Nesil Thread Bloklama)| 10000          | 22523 ms (Tıkandı)   |
| Modus Asenkron (Async/Await)     | 10000           | 210 ms (Başarılı)    |
============================================================

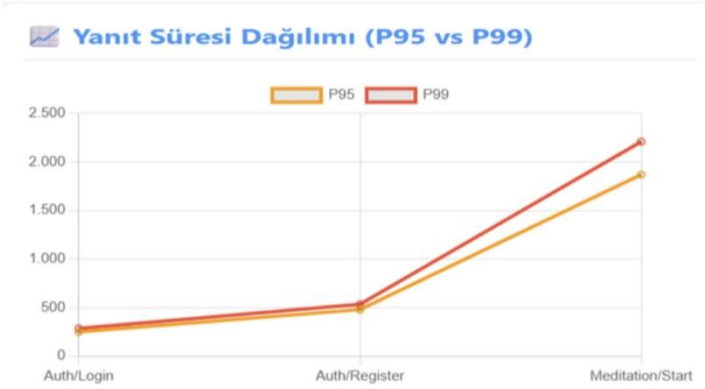
=> Modus Asenkron mimarisi yoğun yük altında 107,3 kat daha hızlı çalıştı ve çökmedi.
Test Bitti.
```

**Görsel 14. 10.000 Kullanıcı Eşzamanlılık (Concurrency) Çökme Testi**

Oturum doğrulaması için her istekte veri tabanına erişim gerektiren geleneksel yöntemler ortalama 15,0 ms gecikmeye (latency) sebep olurken; kriptografik anahtarları bellek üzerinde (in-memory) doğrulayan Modus JWT altyapısında bu doğrulama süresi 0,1 ms seviyelerine kadar indirilmiştir. Çizelge 1 ve Görsel 15'de sunulan performans dağılımları (P95 ve P99 yüzdelik dilimleri) incelendiğinde, geliştirilen bu güvenlik mimarisinin saniyede 100+ istek (100+RPS) yoğunluğuna kadar sıfır darboğaz (zero bottleneck) ile kararlı bir şekilde yanıt verdiği ampirik olarak kanıtlanmıştır.

**Çizelge 1. Yanıt Süresi Dağılım Çizelgesi (P95 vs P99)**

| Uç Nokta | Metot | Ort.(ms) | P50 | P95 | P99 | SLA(ms) | Durum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Auth/Login | POST | 112ms | 101ms | 250ms | 286ms | 500ms | Geçti |
| Auth/Register | POST | 239ms | 215ms | 480ms | 534ms | 500ms | Geçti |
| Meditation/Start | POST | 1420ms | 1340ms | 1870ms | 2210ms | 3000ms | Geçti |




**Görsel 15. Detaylı Performans ve API Yanıt Süresi Tablosu**

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma; mobil sağlık (mHealth) ve dijital ruh sağlığı ekosistemlerinde sıklıkla karşılaşılan veri güvenliği açıkları, sunucu darboğazları ve yüksek operasyonel yapay zekâ maliyeti problemlerinin, doğru yazılım mimarisi desenleri ile donanım/yazılım optimizasyonları sayesinde nasıl aşılabileceğini somut mühendislik metrikleriyle ortaya koymuştur. Etki Alanı Odaklı Tasarım (DDD) ve CQRS altyapısıyla geliştirilen Modus platformu, okuma ve yazma işlemlerini mimari düzeyde izole ederek veri tabanı kilitlenmelerini önlemiştir. Veri tabanı sorgularında yanıt sürelerini %35,0 oranında hızlandıran ve AsNoTracking optimizasyonları

sayesinde sunucu bellek tüketiminde %45,07 oranında tasarruf sağlayan bu yapı, yüksek trafikli anlarda dahi sistem kararlılığını garanti altına almaktadır.

Çalışmanın en kritik çıktılarından biri, yapay zekâ destekli öz-bakım sistemlerinin finansal ve operasyonel olarak sürdürülebilir kılınmasıdır. Geleneksel yaklaşımların aksine, sistem mimarisine entegre edilen Groq LPU donanım hızlandırıcısı ve Modus'a özgü "Bağlam Filtreleme" algoritmaları, API token maliyetlerini %91,88 oranında azaltarak yapay zekâ tabanlı psikolojik rehberlik süreçlerini ekonomik olarak uygulanabilir hale getirmiş; yanıt sürelerindeki %88,65'lik hız artışıyla gerçek zamanlı bir kullanıcı deneyimi (real-time user experience) sunmuştur. İstemci tarafında (React Native) uygulanan dinamik sayfalama ve çevrimdışı önbellekleme (offline caching) mekanizmaları ile veri iletişimindeki bant genişliği harcamaları %99,71 oranında düşürülmüş; veri erişim hızı yerel cihazda 30 kat (5 ms) artırılarak uygulamanın zayıf ağ koşullarında dahi kesintisiz çalışabilmesi sağlanmıştır.

Aynı zamanda, kullanıcı şifreleme ve kimlik doğrulama süreçlerinde entegre edilen PBKDF2 kriptografik algoritması ve bellek tabanlı durumsuz (stateless) JWT mimarisi, sisteme yüksek seviyeli veri güvenliği standartları ve saniyede 100+ isteğe (100+RPS) kadar kararlı bir koruma kazandırmıştır. 10.000 eşzamanlı işlemi destekleyen asenkron arka uç (backend) altyapısı ile birleşen bu güvenli yapı, önerilen platformun kurumsal düzeyde ölçeklenebilirliğini ampirik olarak ispatlamıştır.

Bu değerlendirmeler ışığında, Modus platformunun gelecekteki sürümleri için öngörülen ve çalışmanın devamı niteliğinde olan geliştirme önerileri şunlardır:

- **Çoklu Modalite (Multimodal) Yapay Zekâ Analizi:** Mevcut metin tabanlı duygu analizi sisteminin, gelecekte kullanıcılardan gelen sesli komutlar (Voice-to-Text) ve mimik analizi yapabilen bilgisayarlı görü (computer vision) modelleriyle entegre edilerek çok boyutlu hale getirilmesi.
- **Giyilebilir Cihaz Entegrasyonu:** Kullanıcıların meditasyon ve biyometrik verilerinin (nabız, uyku kalitesi, stres seviyesi vb.) çapraz analiz edilebilmesi amacıyla akıllı saat ve giyilebilir sağlık teknolojileri entegrasyonlarının sağlanması.
- **Profesyonel Sağlık Entegrasyonları ve Multimedya:** Geliştirilen rehberlik modülünün, mevcut sağlık bilgi sistemleri (gerekli yasal regülasyonlar çerçevesinde) ile entegrasyonunun kurgulanması ve platform içi gerçek zamanlı görüntülü görüşme (WebRTC) özelliklerinin eklenmesi.

## KAYNAKÇA

**1.** Torous, J., Bucci, S., Bell, I. H., Kessing, L. V., Flint, M. ve Firth, J., The growing field of digital psychiatry: current evidence and the future of apps, social media, chatbots, and virtual reality, World Psychiatry, 20, 3, 2021.

**2.** Firth, J., Torous, J., Nicholas, J., Carney, R., Pratap, A., Gallagher, S. ve Sarris, J., The efficacy of smartphone-based mental health interventions for depressive symptoms: a meta-analysis of randomized controlled trials, World Psychiatry, 16, 3, 2017.

**3.** Bakker, D., Kazantzis, N., Rickwood, D. ve Rickard, N., Mental health smartphone apps: review and evidence-based recommendations for future developments, JMIR Mental Health, 3, 1, 2016.

**4.** Luxton, D. D., Artificial intelligence in psychological practice: Current and future applications and implications, Professional Psychology: Research and Practice, 45, 5, 2014.

**5.** Miner, A. S., Shah, N., Bullock, K. D., Arnow, B. A., Bailenson, J. ve Hancock, J., Key considerations for incorporating conversational AI in psychotherapy, Frontiers in Psychiatry, 10, 746, 2019.

# APARTMAN VE SİTE YÖNETİMİNDE WEB TABANLI DİJİTAL DÖNÜŞÜM SİSTEMİ: YÖNETİM360

**Öğr. Gör. Tuğçe YÜKSEL**
Biruni Üniversitesi,
tyuksel@biruni.edu.tr – 0000-0002-1487-6041

**Esma Nur GÜÇİN**
Biruni Üniversitesi,
240757061@st.biruni.edu.tr – 0009-0005-3808-3141

**Sare Ravzanur AYDIN**
Biruni Üniversitesi,
240757016@st.biruni.edu.tr – 0009-0002-0645-0865

**Beyza AKSAKAL**
Biruni Üniversitesi,
240757003@st.biruni.edu.tr – 0009-0002-1705-733X

## ÖZET

Kentleşmenin küresel ölçekte hız kazanmasıyla birlikte toplu konut alanlarının sayısında önemli artışlar yaşanmış; buna bağlı olarak geleneksel apartman ve site yönetim süreçleri operasyonel verimlilik, iletişim ve veri yönetimi açısından yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu çalışmada, toplu konut yönetiminde karşılaşılan yapısal sorunlara teknoloji odaklı bir çözüm sunmak amacıyla "Yönetim360" adlı web tabanlı bir yönetim platformu geliştirilmiştir. Sistemin tasarım sürecinde geleneksel yönetim modellerindeki temel sorunların belirlenmesi amacıyla Balık Kılçığı (Ishikawa) diyagramı kullanılmış, platformun güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri SWOT analizi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Teknik altyapıda Node.js ve Express.js kullanılarak yüksek performanslı RESTful API mimarisi oluşturulmuş, MS SQL Server 2022 ile işlem (transaction) destekli güvenli veri yönetimi sağlanmış ve React.js ile bileşen tabanlı modern bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Ayrıca JWT ve bcrypt.js teknolojileri kullanılarak çok katmanlı bir güvenlik mimarisi tesis edilmiştir. Platform; rol tabanlı erişim kontrolü, finansal takip, otopark yönetimi, duyuru paylaşımı ve anonim

öneri/şikâyet modülleri aracılığıyla yönetici ve sakinlere özelleştirilmiş hizmetler sunmaktadır. Gerçekleştirilen teknik, güvenlik ve operasyonel testler sonucunda sistemin 100 ardışık isteğe ortalama 189 ms yanıt süresiyle kararlı şekilde karşılık verdiği gözlemlenmiştir. Güvenlik testlerinde JWT tabanlı kimlik doğrulama mekanizmasının yetkisiz erişim girişimlerine karşı etkin koruma sağladığı, çok kiracılı mimarinin ise veri izolasyonunu veritabanı düzeyinde başarıyla gerçekleştirdiği doğrulanmıştır. Ayrıca platformun, geleneksel manuel yönetim süreçlerine kıyasla operasyonel işlemlerin tamamlanma süresini ortalama %80 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, Yönetim360 platformunun toplu konut yönetiminde operasyonel verimliliği artıran, veri güvenliğini destekleyen ve kullanıcı odaklı hizmet sunumunu iyileştiren uygulanabilir bir dijital dönüşüm modeli sunduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital dönüşüm, toplu konut yönetimi, yönetim bilgi sistemi, web tabanlı uygulama, akıllı yönetim sistemleri.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde küresel kentleşme süreçlerinin hız kazanması ve arazi kıtlığı gibi demografik zorunluluklar, dikey mimariyi ve çok üniteli toplu yaşam alanlarını modern hayatın merkezi haline getirmiştir. İnsanların bir arada yaşadığı bu konut siteleri, sadece barınma ihtiyacını karşılayan yapılar olmanın ötesinde; güvenlik, mali yönetim ve ortak alan koordinasyonu gibi süreçlerin yönetildiği karmaşık mikro-organizasyonlara dönüşmüştür. Ancak bu yaşam alanlarının idari süreçleri halen büyük ölçüde geleneksel yöntemlerle, yoğun evrak işlerine dayalı ve şeffaflıktan uzak bir yapıda yürütülmektedir. Literatürde bu durumun, apartman ve konut sitelerinde ciddi yapısal sorunlara, yönetsel işlevsizliklere ve hatta çeşitli etik ihlallere yol açtığı vurgulanmaktadır. Dijital yönetim araçlarının yaygınlaştırılmasının, yönetim süreçlerinde şeffaflığı güçlendirebileceği; ayrıca toplantı duyuruları ile gündem içeriklerinin çevrim içi platformlar aracılığıyla paylaşılmasının, mevcut yönetsel aksaklıkların azaltılmasında etkili olabileceği belirlenmiştir [1].

Toplu konut yönetiminde sunulan hizmetin kalitesi, sakinlerin yaşam alanı memnuniyetini ve aidiyet duygusunu doğrudan etkileyen en temel faktördür [2]. Günümüzün dijitalleşen dünyasında, bilgi yönetimi kavramlarının gayrimenkul ve konut yönetimi sektörüne entegre edilmesi, geleneksel iş modellerini katma değerli ve proaktif hizmet modellerine dönüştürme potansiyeli taşımaktadır [3]. İşletmelerin ve sektörlerin operasyonel süreçlerini teknoloji ile yeniden şekillendirdiği dijital dönüşüm [4], apartman yönetimi gibi mikro düzeydeki idari yapılarda da kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Ancak mevcut profesyonel yönetim yazılımlarının birçoğu, karmaşık yapıları ve yüksek teknik bariyerleri nedeniyle her kullanıcı profiline hitap edememekte, bu da dijitalleşmenin önünde bir engel teşkil etmektedir. Modern yönetim yaklaşımları, bu süreçlerin daha interaktif ve kullanıcı odaklı ihtiyaçlara göre şekillenmesini hedeflemektedir [5].

Bu bağlamda çalışmada, toplu yaşam alanlarındaki idari süreçleri dijital ortama aktarırken teknolojik bariyerleri ortadan kaldıran ve evrensel kullanılabilirliği odağına alan “Yönetim 360” platformu tasarlanmıştır. Platformun temel amacı; piyasadaki mevcut profesyonel

yönetim yazılımlarının sunduğu karmaşık ve uzmanlık gerektiren yapıların aksine, her yaştan ve her teknolojik yetkinlik seviyesinden kullanıcının zorlanmadan kullanabileceği kapsayıcı bir yönetim ekosistemi oluşturmaktır.

Sistem, yönetici ve sakin rolleri için özelleştirilmiş iki temel arayüz üzerinden işlemektedir. Yönetici paneli; gelir-gider dengesi yönetimi, aidat takibi, şikâyet/öneri görünümü ve resmî duyuruların iletilmesi gibi operasyonel yükü ağır süreçleri tek bir merkezde toplayarak idari süreçleri optimize etmektedir. Sakin arayüzü ise bireylerin kendi mali yükümlülüklerini şeffaf bir şekilde izlemesine, site içi gelişmeleri anlık takip etmesine ve anonim öneri/şikâyet mekanizmaları aracılığıyla yönetim süreçlerine aktif katılım sağlamasına imkân tanımaktadır. Ayrıca her iki arayüzde kullanıcılar otopark doluluk durumunu anlık olarak güncelleyebilmekte ve izleyebilmektedir. Bu yönüyle Yönetim360, toplu konut yönetim süreçlerinin dijital ortamda daha şeffaf, erişilebilir ve verimli şekilde yürütülmesini sağlayan bütünleşik bir yönetim platformu olarak sunulmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; toplu konut ve site yönetim süreçlerini dijitalleştirerek her kesim için erişilebilir, şeffaf ve kullanıcı dostu bir yapı sunmayı amaçlayan "Yönetim 360" adlı web tabanlı yönetim platformu tasarlanmıştır. Platformda kullanılan teknolojilerin verimliliğini, sistemin yüksek trafikli veri yönetimindeki performansını ve "evrensel erişilebilirlik" hedefine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir sistem analizi çalışması gerçekleştirilmiştir.

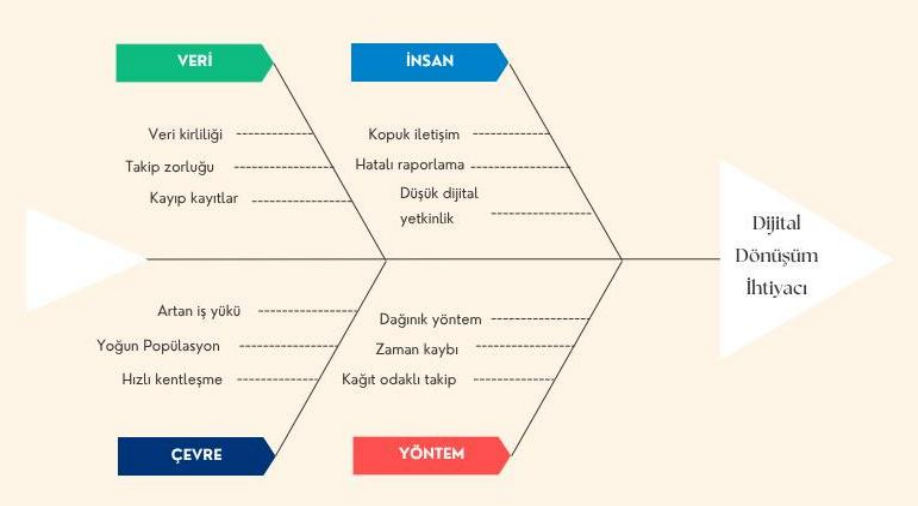
Yönetim 360 platformunun teknolojik altyapısı, modern web standartları ve performans gereksinimleri doğrultusunda inşa edilmiştir. Sistemin kullanıcı arayüzü, teknolojiyle arası iyi olmayan kullanıcıların dahi zorlanmadan işlem yapabilmesini sağlayan kapsayıcı ve duyarlı bir tasarımla React.js kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Sunucu tarafı süreçleri, hızlı veri işleme ve ölçeklenebilirlik avantajları nedeniyle Node.js ve Express.js teknolojileri ile yapılandırılmıştır. Verilerin güvenli bir şekilde depolanması, borç ve aidat kayıtlarının hatasız takibi ile otopark doluluk verilerinin anlık yönetimi için ise ilişkisel veritabanı yönetim sistemi olarak MS SQL Server 2022 tercih edilmiştir.

### 2.1. Problem Tanımı ve Gereksinim Analizi

Platformun tasarım sürecinde, mevcut yönetsel problemlerin tespiti ve sistem gereksinimlerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli analitik yöntemlerden yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz yöntemleri sayesinde platformun etkinliği, işlevselliği ve sürdürülebilirliği detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

#### 2.1.1. Balık Kılçığı (Ishikawa) Diyagramı ile Nedensel Analiz

Balık kılçığı diyagramı, bir problemin ortaya çıkmasına neden olan faktörleri sistematik biçimde analiz etmeye yarayan görsel bir neden-sonuç aracıdır. Bu metodolojide, olası nedenlerin kategorik olarak sınıflandırılmasıyla problemin temel kaynaklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır [6]. Tüketici şikâyetlerinin ve hizmet başarısızlıklarının yoğun olarak gözlemlendiği [2] geleneksel apartman yönetimlerindeki "Dijital Dönüşüm İhtiyacı" ana problemi ve bu probleme etki eden faktörler Görsel 1’de yapılandırılmıştır.

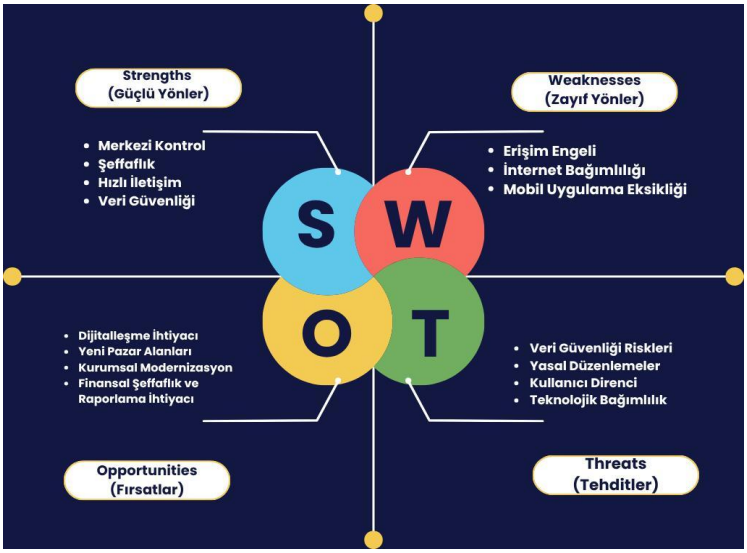



**Görsel 1. Ishikawa Diyagramı**

Geleneksel yönetim modellerinde operasyonel verimliliği ve şeffaflığı engelleyen veri düzensizliği, aidat takibindeki aksaklıklar, otopark kullanım anlaşmazlıkları ve iletişim kopuklukları gibi temel problemlerin kök nedenleri bu yöntemle sistematik olarak saptanmıştır. Yapılan analiz doğrultusunda, söz konusu idari ve operasyonel aksaklıklara teknolojik çözümler üretmek amacıyla süreçler kategorize edilmiştir. Bu bağlamda geliştirilen Yönetim 360 platformu, saptanan kök nedenleri ortadan kaldırarak toplu konut ve site yönetim süreçlerini dijital ortama taşımayı; böylece şeffaf, erişilebilir ve verimli bir idari yapı sunmayı hedeflemektedir.

### 2.1.2. Stratejik Değerlendirme: SWOT Analizi

Sistemin geliştirilme sürecinde gereksinimlerin doğru tanımlanması, tasarım kararlarının netleştirilmesi ve uygulama aşamalarının dikkatle yürütülmesi çalışmanın başarısı açısından kritik öneme sahiptir [7]. Bu kapsamda, önerilen platformun sektörel konumunu, operasyonel potansiyelini ve rekabetçi avantajlarını analiz etmek amacıyla SWOT analizi metodolojisi uygulanmıştır. Çalışmanın içsel dinamikleri ile dışsal çevre faktörleri üzerine yapılan bu derinlemesine inceleme neticesinde elde edilen stratejik matris Görsel 2'de sunulmuştur.

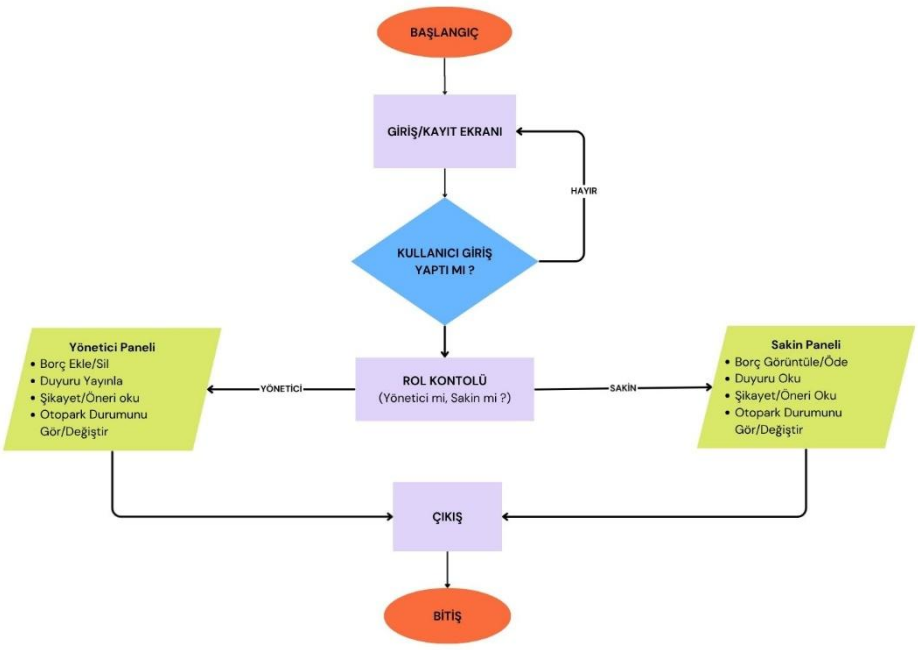


**Görsel 2. SWOT Analizi**

Görsel 2'de detaylandırılan analiz; sistemin piyasadaki mevcut karmaşık profesyonel yazılımlardan ayrışan "her yaş ve eğitim düzeyine hitap eden yalın arayüz" ve "dinamik otopark takibi" gibi güçlü yönlerini (Strengths) net bir şekilde ortaya koymuştur. Bununla birlikte, platformun stratejik sürdürülebilirliğini ve rekabetçi avantajlarını uzun vadede koruyabilmesi adına geliştirilmeye açık alanları (Weaknesses) ile dış çevreden kaynaklanabilecek fırsat ve tehditler de matris üzerinde sistematik bir biçimde belgelenmiştir. Analizden elde edilen bu nitel çıkarımlar, platformun hem teknik hem de idari yetkinliklerini optimize etmek amacıyla projenin yol haritasına entegre edilmiştir.

### 2.1.3. Sistem Akış Süreç Şeması ve Algoritma Tasarımı

Karmaşık yazılım yapılarının analiz edilmesi ve tasarım süreçlerinin optimize edilmesinde görsel modelleme araçları kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda kullanılan süreç şemaları, blok diyagramlar ve mantıksal iş akışları; sistemin mimari bütünlüğünü kavramayı ve operasyonel adımları hatasız bir şekilde yapılandırmayı sağlamaktadır [8]. Çalışma kapsamında tasarlanan akış süreç şeması, Yönetim 360 platformunun hiyerarşik yapısını, veri transfer noktalarını ve yönetici-sakin panelleri arasındaki yetkilendirme sınırlarını belirleyen temel algoritmayı temsil etmekte olup Görsel 3'te sunulmuştur.




**Görsel 3. Akış Süreç Şeması**

Görsel 3'te detaylandırılan mantıksal akış; yönetici ve sakin rollerine özgü yetkilendirmeleri, finansal veri girişlerini ve özellikle kullanıcıların ortak otopark alanlarını anlık olarak "dolu/boş" şeklinde işaretleyebildiği etkileşimli süreçleri şematize ederek süreç kontrolünü sağlamak amacıyla kurgulanmıştır. Bu şema sayesinde, platformun asenkron çalışan modülleri arasındaki veri senkronizasyonu doğrulanmış ve yazılım geliştirme aşamasında ortaya çıkabilecek olası mantıksal çakışmalar tasarım düzeyinde önlenmiştir.

## 2.2. Sistem Tasarımı ve Mimarisi

### 2.2.1. Güvenlik Katmanı Mimarisi

Web tabanlı yönetim platformlarında, sistem kaynaklarına ve uygulama programlama arayüzü (API) uç noktalarına (endpoints) yetkisiz erişim sağlanması ciddi güvenlik zafiyetlerine yol açabilmektedir. Bu doğrultuda, Yönetim 360 platformunda korumalı uç noktalara güvenli erişim sağlamak amacıyla ara katman (middleware) mimarisi kurgulanmıştır.

Geliştirilen bu mimaride, korumalı bir uç noktaya istemci tarafından herhangi bir istek (request) iletildiğinde, öncelikle ara katman devreye girerek istek başlığındaki (header) erişim belirtecini (token) kontrol etmektedir. Belirtecin mevcudiyeti doğrulandıktan sonra, JSON Web Token (JWT) kütüphanesi aracılığıyla dijital imza doğrulaması gerçekleştirilmekte ve şifrelenmiş kullanıcı bilgileri çözümlenerek (decode) ilgili istek nesnesine (req.user) dinamik olarak eklenmektedir. Bu mekanizma sayesinde, denetleyici (controller) katmanında işlem gerçekleştiren kullanıcının kimlik ve yetki bilgileri güvenli bir şekilde tespit edilmekte; veri bütünlüğü ve erişim güvenliği kontrol altına alınmaktadır.

### 2.2.2. Apartman Kimliği Modülü

Çok kiracılı (multi-tenant) ve dinamik yönetim sistemlerinde, her toplu konut veya site yerleşkesinin sistem genelinde birbiriyle çakışmayan, benzersiz (unique) bir kurumsal kimlikle tanımlanması veri bütünlüğü açısından kritik bir gereksinimdir. Yönetim 360 platformunda bu gereksinimi karşılamak adına, sisteme ilk kez kayıt olan her yönetici için arka yüz (backend) mimarisinde otomatik olarak çalışan bir benzersiz "Apartman Kodu" üretim algoritması kurgulanmıştır.

Söz konusu kimliklendirme süreci, sistem zaman damgasına dayalı deterministik bir yöntemle yürütülmektedir. Algoritma, istek anındaki güncel zamanı milisaniye cinsinden ifade eden 13 haneli sayısal bir veri dizesi (timestamp) üretmektedir. Sistem kaynaklarını optimize etmek ve kullanıcılar için akılda kalıcı, pratik bir erişim kodu sunmak amacıyla, üretilen bu 13 haneli dizenin son 6 hanesi dinamik olarak kırpılmaktadır. Elde edilen bu özgün sayısal kombinasyonun başına sistemsel ayırt ediciliği simgeleyen "APT" karakter katarı (string) eklenerek, her yerleşkeye özgü alfa-nümerik apartman kimliği (örneğin; APT458921) otomatik olarak oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu kod, sakinlerin ilgili apartman veya site ekosistemine hatasız bir şekilde dahil olmalarını sağlayan birincil anahtar işlevi görmektedir.

### 2.2.3. Finansal Kayıtlar (Fees) Tablosunun Veritabanı Tasarımı

Platform bünyesindeki aidat, borçlandırma ve tüm finansal işlemlerin ilişkisel veritabanı üzerinde bütünlüklü, tutarlı ve hatasız bir şekilde yönetilmesi amacıyla özelleştirilmiş bir finansal kayıtlar (Fees) tablosu tasarlanmıştır. Bu veritabanı mimarisinin kurgulanmasında veri tutarlılığı, hassasiyet ve optimizasyon odaklı üç temel mühendislik yaklaşımı uygulanmıştır:

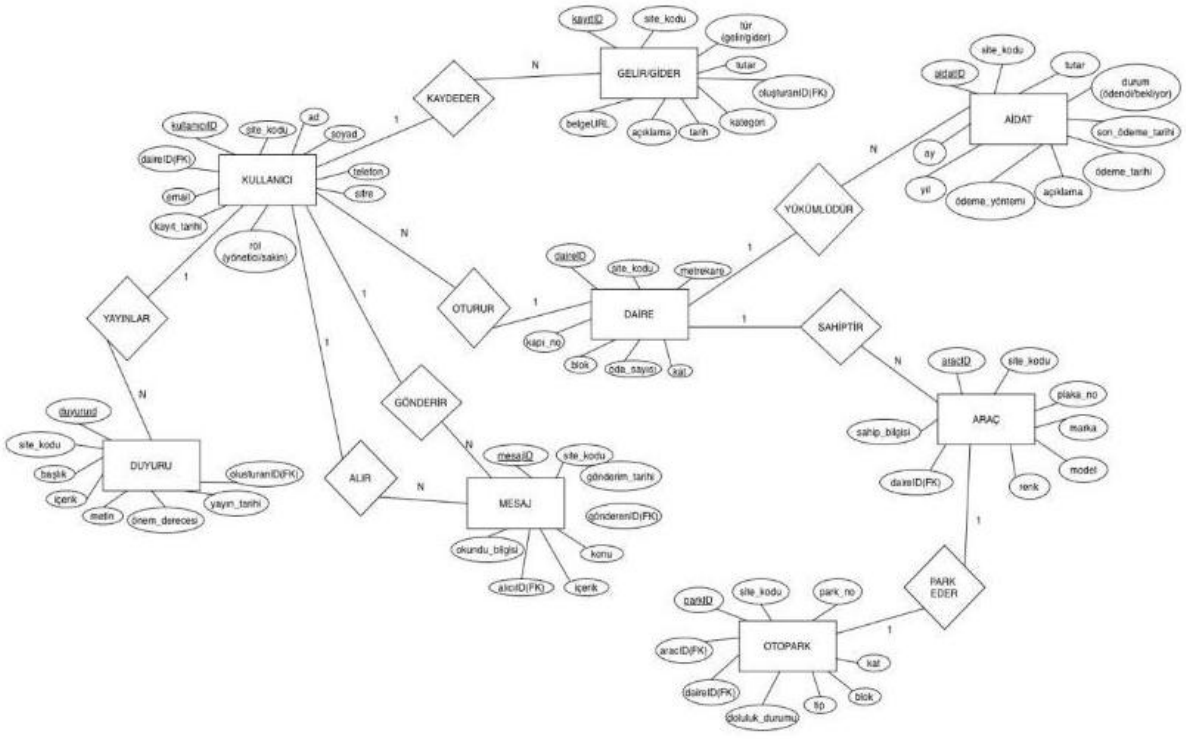
- **Hassas Veri Tipi Seçimi:** Parasal ve finansal işlemlerde, bilgisayar mimarisinden kaynaklanan ve yuvarlama hatalarına (floating-point errors) yol açabilen zafiyetleri engellemek amacıyla tutar alanı için FLOAT veya REAL yerine, sabit noktalı ve

yüksek hassasiyetli DECIMAL(18,2) veri tipi tercih edilmiştir. Böylece finansal hesaplamaların doğruluğu güvence altına alınmıştır.

- **İlişkisel Bütünlük ve Yetim Veri (Orphan Data) Kontrolü:** Sistem genelinde veri kirliliğini önlemek ve ilişkisel bütünlüğü (referential integrity) korumak adına, tablolar arasında yabancı anahtar (foreign key) bağımlılıkları tanımlanmıştır. Bir daire (flat) kaydı sistemden silindiğinde, o daireye ait tüm geçmiş borç ve aidat kayıtlarının da otomatik olarak temizlenmesini sağlayan kademeli silme (ON DELETE CASCADE) kuralı yürütülmüştür.
- **Veri Girişi Kısıtlaması (Domain Integrity):** Veritabanı seviyesinde veri kalitesini korumak ve sisteme rastgele/hatalı veri girişini engellemek adına durum (status) alanı kontrol kısıtı (CHECK CONSTRAINT) ile sınırlandırılmıştır. Finansal kayıtların durum bilgisinin yalnızca önceden tanımlanmış belirli mantıksal değerleri (bekliyor, ödendi, gecikmiş) alabilmesi sağlanarak veri kümesi doğrulanmıştır.

### 2.2.4. Veritabanı Varlık-İlişki (ER) Modellemesi

Geliştirilen web tabanlı yönetim platformunun kavramsal ve mantıksal veri modelini temsil eden Varlık-İlişki (ER) diyagramı Görsel 4'te sunulmuştur. Bu mimari şema; sistemin veri tutarlılığını, sorgu performansını ve tablolar arası ilişkisel bütünlüğü doğrulamak adına kurgulanmıştır.




**Görsel 4. ER Diyagramı**

Görsel 4 incelendiğinde; veritabanı mimarisinin Kullanıcı (User), Daire (Flat), Aidat/Borçlandırma (Fees), Gelir/Gider (Budgets), Duyuru (Announcements), Mesaj (Messages), Araç (Vehicles) ve Otopark (Parking) olmak üzere sekiz temel varlık tipinden oluştuğu görülmektedir. Her bir varlık (tablo), kendisini sistem genelinde benzersiz kılan birincil anahtarlara (userId, flatId, feeId vb.) ve sistem işleyişi için kritik olan tanımlayıcı niteliklere (özniteliklere) sahiptir. Ayrıca, veri bütünlüğünü korumak ve çok kiracılı (multi-

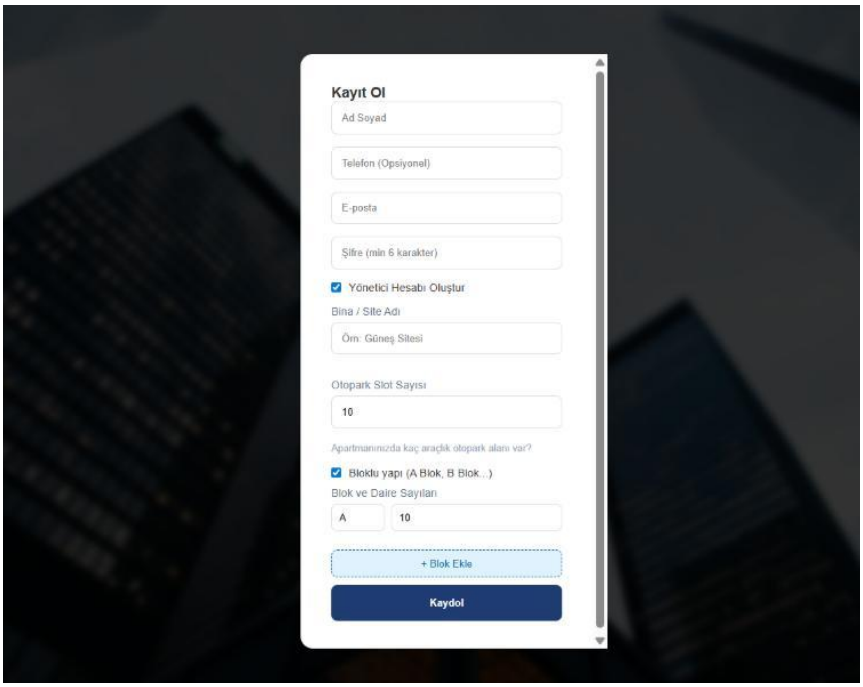
tenant) mimari izolasyonunu veritabanı seviyesinde desteklemek amacıyla, sistemde otomatik üretilen apartman kimliği (apartmentCode) ilgili varlıklarda yabancı anahtar (foreign key) veya ayırt edici nitelik olarak ortaklaşa kullanılmıştır.

### 2.3. Kullanıcı Arayüzü (UI/UX) Tasarımı ve Geliştirme

Yönetim 360 platformunun ön yüz (frontend) mimarisi, evrensel erişilebilirlik ve kapsayıcı tasarım ilkeleri doğrultusunda şekillendirilmiştir. Kullanıcıların dijital okuryazarlık seviyelerinden bağımsız olarak sistemi verimli bir şekilde kullanabilmeleri adına yalın, anlaşılır ve duyarlı (responsive) bir arayüz tasarımı hedeflenmiştir.

#### 2.3.1. Yönetici Arayüzü Bileşenleri

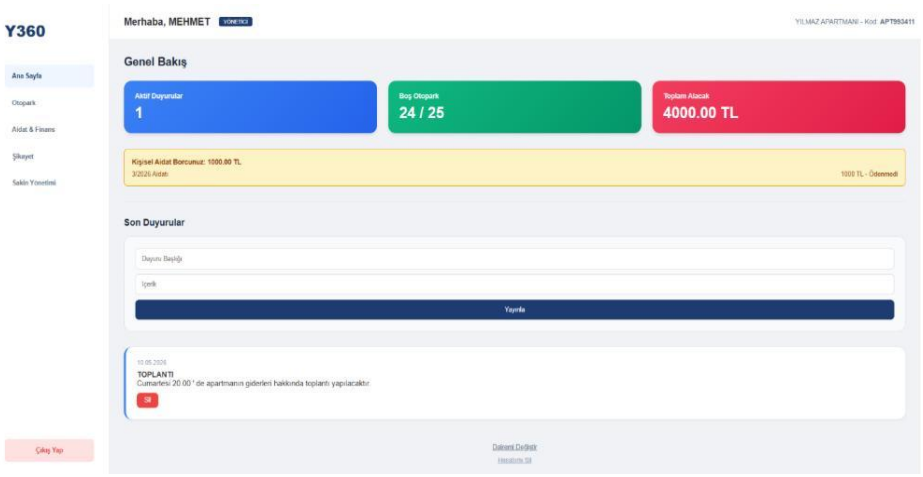
Sistemin idari süreçlerini başlatan ve platformun operasyonel yönetim merkezini oluşturan Yönetici Kayıt Ekranı'na ait Görsel 5'te sunulan arayüz tasarımı; ad-soyad, iletişim (e-posta, telefon numarası) ve şifre gibi temel kimlik bilgilerinin güvenli bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Bu kişisel verilerin yanı sıra, sistemin arka yüzünde çalışacak olan benzersiz apartman kodu üretim algoritmasını (bkz. Başlık 2.2.2) tetiklemek üzere, yönetilecek yerleşkeye ait "Apartman Adı" bilgisi de bu aşamada dinamik olarak talep edilmektedir. Arayüz bileşeni tasarlanırken, hatalı veri girişlerini minimuma indirmek amacıyla istemci tarafında (client-side) anlık veri doğrulama (validation) mekanizmaları kurgulanmış; böylece kullanıcı deneyimi (UX) ve veri kalitesi optimize edilmiştir.




**Görsel 5. Yönetici Kayıt Ekranı**

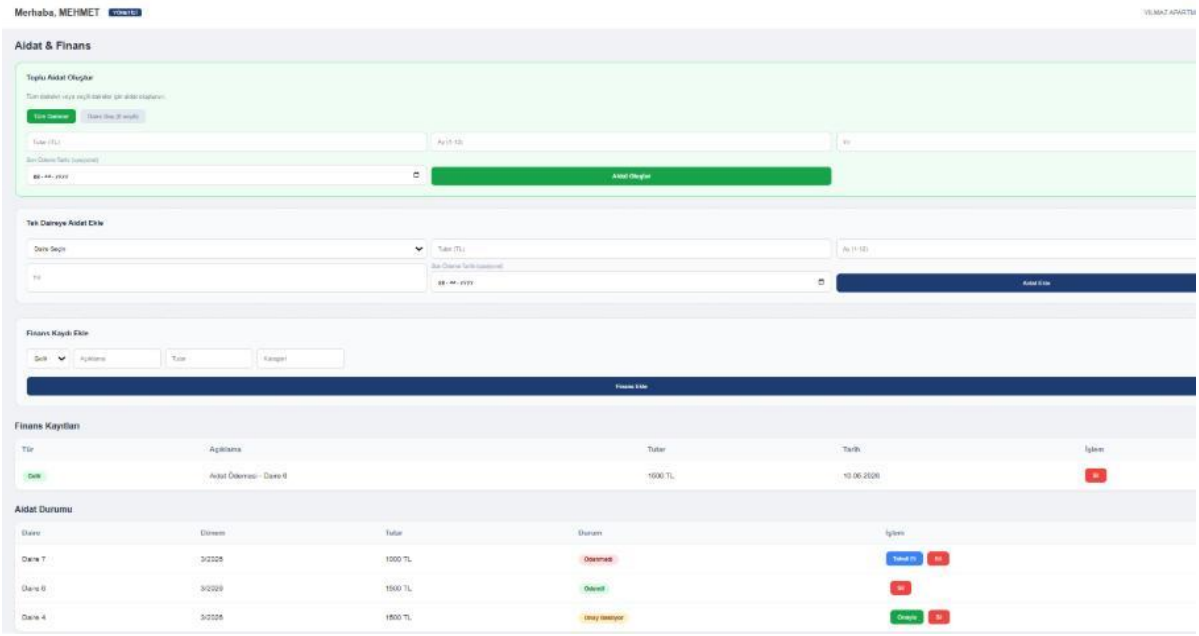
İdari karar alma süreçlerini hızlandırmak ve apartman ile site yönetim süreçlerine ilişkin kritik, finansal ve idari verilerin tek bir merkezden anlık (gerçek zamanlı) olarak izlenebilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen Yönetici Ana Paneli (Dashboard) arayüz tasarımı Görsel 6'da sunulmuştur. Bu merkezi gösterge paneli; yöneticilerin sistem genelindeki son resmî duyuruları dinamik olarak paylaşıp revize edebildiği modüler bir yapıya sahip olmasının yanı sıra gelir-gider dengesi, aidat doluluk oranları ve aktif sakin şikâyetleri gibi diğer alt menülere ait özet

analitik verileri grafiksel ve sayısal metriklerle özetlemektedir. Veri yoğunluğunu minimuma indirerek kullanıcı algısını optimize eden bu ekran mimarisi, idari süreçlerin hiyerarşik bir karmaşa olmadan, şeffaf ve verimli bir şekilde yürütülmesine zemin hazırlamaktadır.



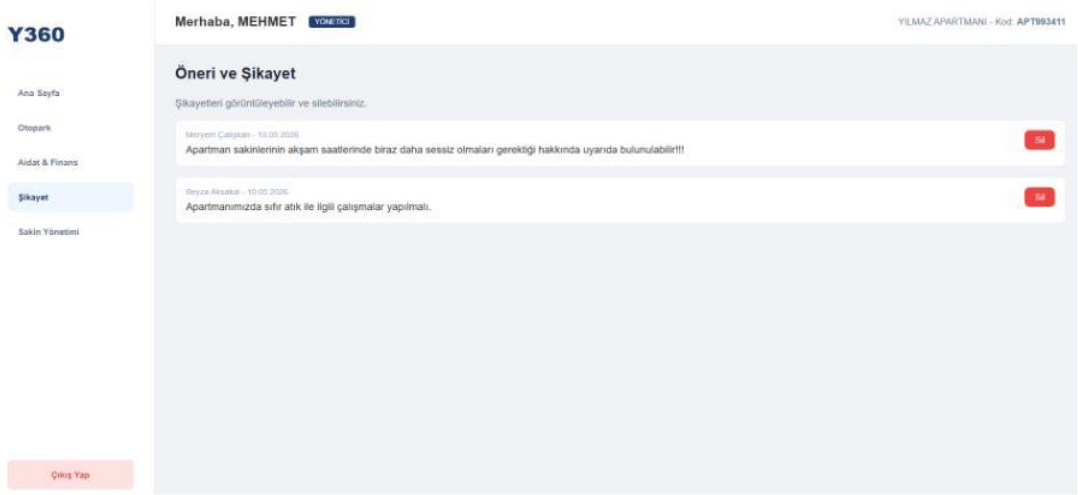

**Görsel 6. Yönetici Ana Paneli**

Kat Mülkiyeti Kanunu'na göre ortak bina giderlerinin ve avans ödemelerinin güvence altına alınması ile bu süreçlerin düzenli tahsilatı toplu yaşam alanlarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir [9]. Bu yasal gereksinimi dijital ortama aktarmak amacıyla kurgulanan ve Görsel 7'de sunulan Yönetici Aidat ve Finans Ekranı; veritabanı seviyesindeki DECIMAL veri tipi hassasiyetini (bkz. Başlık 2.2.3) ön yüz mimarisine yansıtarak ödenmiş, bekleyen veya gecikmiş borçlandırmaları anlık olarak filtreleme imkânı sunmaktadır. Geliştirilen bu finansal arayüz bileşeni sayesinde yöneticiler, geleneksel bürokratik evrak yüküne gereksinim duymadan sisteme yeni finansal kayıtlar veya borçlandırmalar ekleyebilirken; sakinler de kendilerine yansıtılan harcama kalemlerini şeffaf ve geriye dönük bir biçimde inceleyebilmektedir.



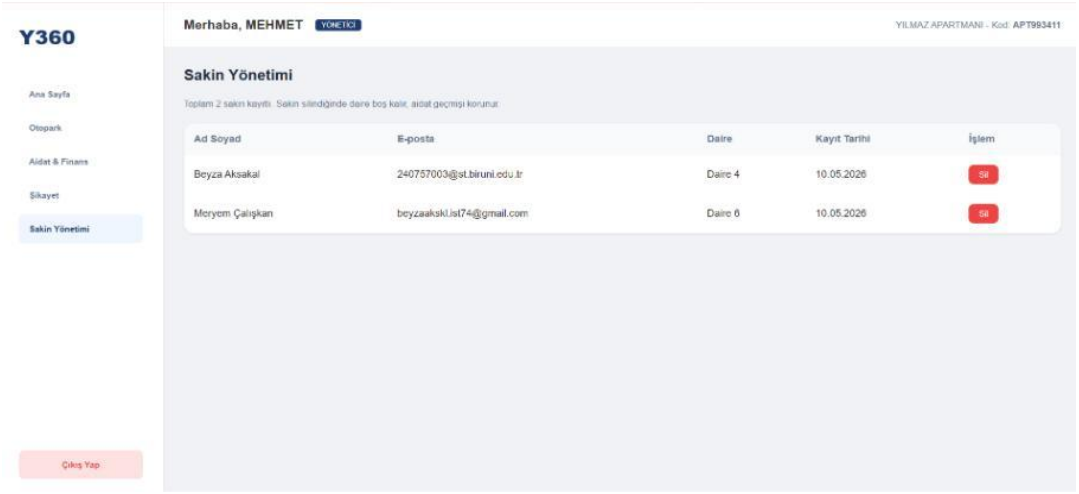

**Görsel 7. Yönetici Aidat & Finans Ekranı**

Sakinlerden gelen geri bildirimlerin, taleplerin ve sistem içi uyuşmazlıkların merkezi bir yapı üzerinden asenkron olarak izlenebilmesi amacıyla geliştirilen Yönetici Şikâyet Ekranı Görsel 8'de sunulmuştur. Sistem navigasyon mimarisiyle entegre çalışan bu arayüz bileşeni, apartman veya site sakinlerinin dijital panelleri üzerinden ilettikleri sorunların, yöneticinin ekranına gerçek zamanlı olarak düşmesini sağlamaktadır. Yöneticiye gelen tüm kurumsal bildirimleri hiyerarşik bir liste düzeninde gösteren bu ana yönetim ekranı; şikâyetlerin durumlarına göre tasnif edilmesine, idari süreçlerin şeffaf bir şekilde raporlanmasına ve sakin-yönetim arasındaki iletişim kopukluklarının teknolojik bir altyapıyla çözülmesine olanak tanımaktadır.




**Görsel 8. Yönetici Şikâyet Ekranı**

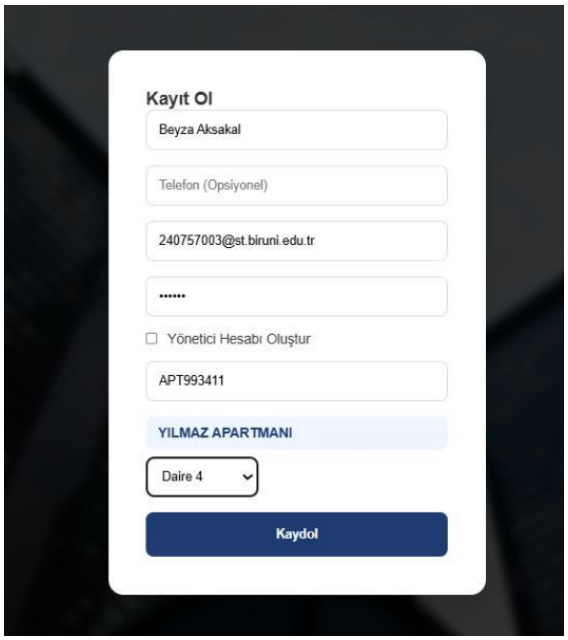
Sisteme dahil olan kullanıcı popülasyonunun idari denetimini sağlamak ve veri şeffaflığını korumak amacıyla tasarlanan Yönetici Sakin Yönetimi Ekranı Görsel 9'da sunulmuştur. Bu arayüz bileşeni, ilgili apartman veya site ekosistemine kayıtlı olan tüm sakinlerin ad-soyad, e-posta adresi ve rol tanımlamaları gibi kritik kimlik verilerinin tek bir merkezi matris üzerinde toplu ve hiyerarşik bir şekilde listelenmesini sağlamaktadır. Yöneticinin yerleşke sakinlerini izlemesine, iletişim bilgilerine hızlıca erişmesine ve veritabanındaki kullanıcı kayıtlarını ön yüz üzerinden doğrulamasına olanak tanıyan bu ekran, platformun operasyonel veri yönetim kapasitesini artırmaktadır.




**Görsel 9. Yönetici Sakin Yönetimi Ekranı**

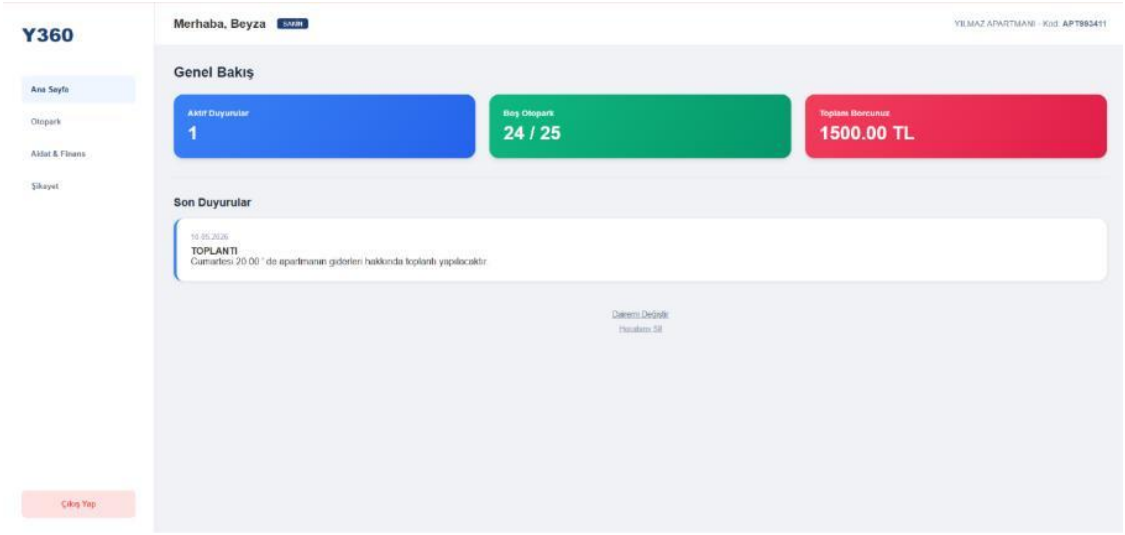
### 2.3.2. Sakin Arayüzü Bileşenleri

Toplu yaşam alanı sakinlerinin sisteme güvenli ve hatasız bir şekilde entegre olabilmesi amacıyla tasarlanan Sakin Kayıt Ekranı'na ait kullanıcı arayüzü Görsel 10'da sunulmuştur. Bu arayüz bileşeni; kullanıcıların temel kişisel verilerini almanın yanı sıra, daha önce arka yüz mimarisinde üretilen özgün apartman erişim kodunun (bkz. Başlık 2.2.2) istemci tarafından girilmesini zorunlu kılmaktadır. Girilen bu kod doğrulandıktan sonra ilişkisel veritabanı dinamik olarak sorgulanmakta; sakinin karşısına yalnızca o yerleşkeye ait blok, kat ve daire kombinasyonları filtrelenmiş bir hiyerarşiyle getirilmektedir. Sakinlerin kendilerine ait bağımsız bölümü hatasız bir şekilde seçmelerine olanak tanıyan bu dinamik yapı, sistem genelinde veri kirliliğinin ve yetkisiz daire eşleşmelerinin önüne geçerek veri kalitesini en üst seviyeye çıkarmaktadır.



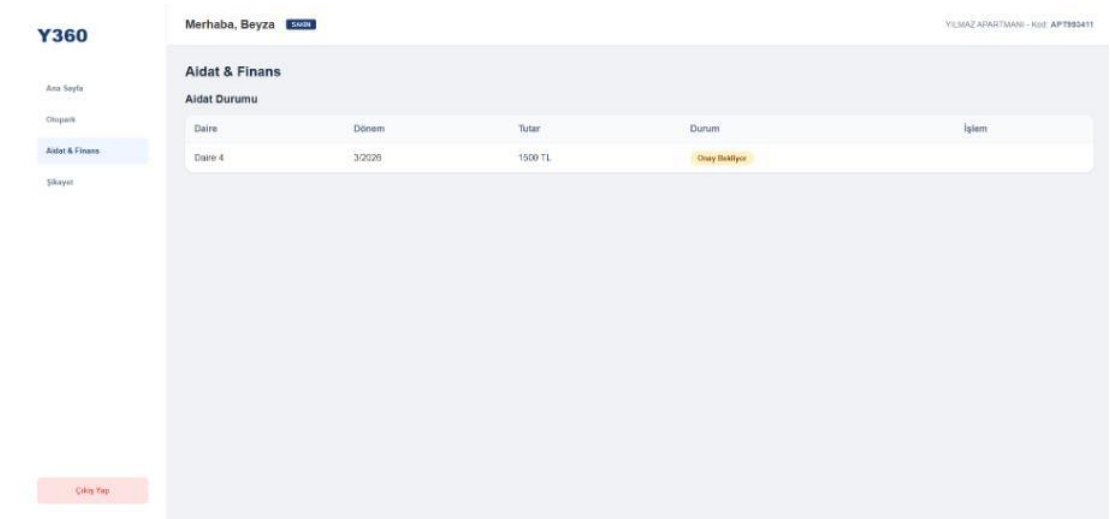

**Görsel 10. Sakin Kayıt Ekranı**

Sistemdeki rol tabanlı yetkilendirme ve veri izolasyonu ilkelerini somutlaştıran Sakin Ana Ekranı'na ait kullanıcı arayüzü Görsel 11'de sunulmuştur. Bu arayüz bileşeni, idari yetkilere sahip yönetici panelinden farklı olarak sakinlerin yeni bir duyuru paylaşmasına izin vermemekte; salt okunur (read-only) bir hiyerarşiyle yalnızca kullanıcının kendi dairesine ait güncel ve geçmiş borç bilgilerini listelemektedir. Karşılaştırmalı bir yaklaşımla, yönetici paneli yerleşke genelinde tahsil edilecek toplam finansal büyüklüğü makro düzeyde analiz ederken, Sakin Ana Ekranı bireysel borç yükümlülüklerine odaklanmaktadır. Geliştirilen bu dijital izleme ekranı, geleneksel yönetim yöntemlerinde karşılaşılan dağınık, takibi zor ve hataya açık veri yapısını ortadan kaldırarak idari süreçlerin daha somut, düzenli ve şeffaf biçimde yürütülmesini sağlamakta, aynı zamanda operasyonel kararların veri odaklı şekilde alınmasını kolaylaştırmaktadır.




**Görsel 11. Sakin Ana Ekranı**

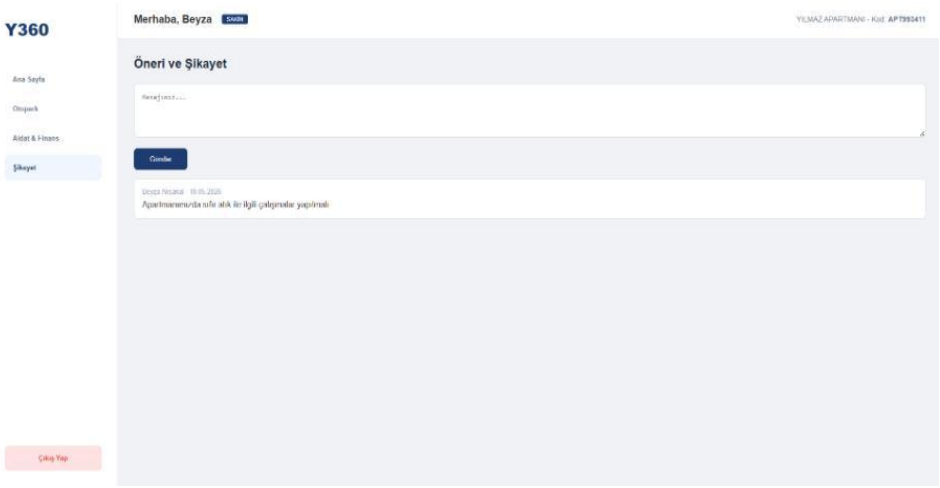
Sakin gösterge paneli, yönetici arayüzünden farklı olarak yeni duyuru girişine izin vermemekte ve Görsel 12'de görüldüğü üzere yalnızca kullanıcının şahsına ait borç bakiyesini listelemektedir. Yönetici paneli ise sakin rolünden izole edilerek, yerleşke genelinde tahsil edilmesi gereken toplam finansal hacmi makro düzeyde izleyecek şekilde asimetrik olarak tasarlanmıştır. Görsel 12'de sunulan bu dijital izleme katmanı, geleneksel yöntemlerde karşılaşılan dağınık veri yapısını ortadan kaldırarak idari süreçlerin merkezi bir mimaride yürütülmesini sağlamakta ve operasyonel kararların veri odaklı alınmasını kolaylaştırmaktadır.




**Görsel 12. Sakin Rolü Finansal Takip Arayüzü**

Yerleşke içi şeffaf ve demokratik iletişim kanallarını desteklemek amacıyla geliştirilen öneri ve şikâyet modülünün sakin tarafındaki kullanıcı arayüzü Görsel 13'de sunulmuştur. Bu modül sayesinde sakinler; teknik arıza bildirimlerini, taleplerini veya yönetimsel şikâyetlerini sistem üzerinden dijital olarak iletebilmektedir. Görsel 13'de detayları yer alan bu mekanizma katmanında, idari merciye ulaşan geri bildirimler yöneticiler tarafından merkezi bir panelde listelenmekte, önceliklendirilmekte ve gerekli aksiyonların alınması süreci anlık olarak takip edilmektedir. Bu dijital geri bildirim döngüsü, geleneksel yönetimlerde yaşanan iletişim

kopukluklarını gidererek apartman içi huzur ve koordinasyonun sürdürülebilir biçimde tesis edilmesini kolaylaştırmaktadır.

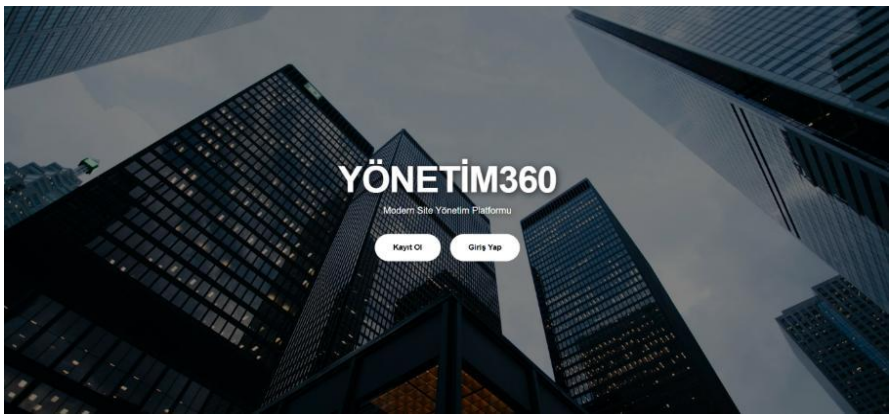



**Görsel 13. Sakin Öneri ve Şikâyet Giriş Arayüzü**

### 2.3.3. Ortak Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

Sistem mimarisinde hem idari personelin (yönetici) hem de son kullanıcıların (sakin) ortak erişimine açık olan ön yüz (frontend) bileşenleri, platformun kullanıcı deneyimi (UX) standartlarını ve işlevsel modüllerini somutlaştırmaktadır.

- **Karşılama ve Kayıt Arayüzü:** Platformun dış dünyaya açılan ilk katmanı olan ana sayfa tasarımı Görsel 14'te sunulmuştur. Bu arayüz, kullanıcıları sistemin genel işlevleri hakkında bilgilendiren, kayıtlı kullanıcıları kimlik doğrulama sayfasına yönlendiren ve yeni kullanıcılar için yerleşke kayıt butonlarını barındıran asenkron bir karşılama bileşeni olarak tasarlanmıştır.



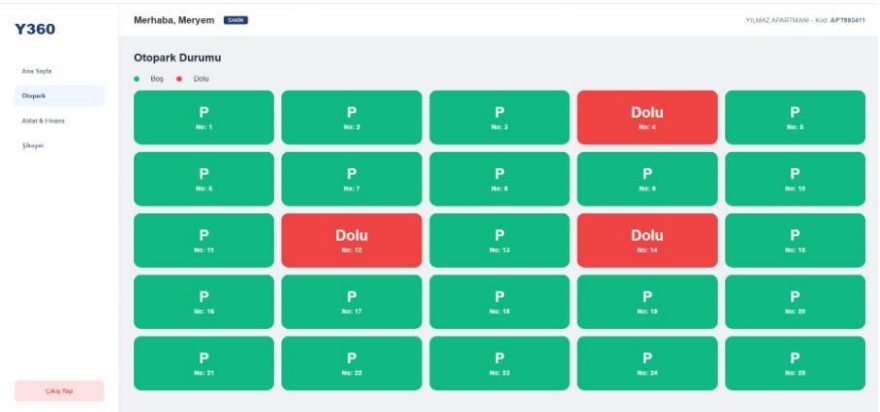

**Görsel 14. Web Platformu Karşılama (Ana Sayfa) Arayüzü**

- **Kimlik Doğrulama ve Giriş Arayüzü:** Kullanıcıların sisteme güvenli ve izole bir şekilde dahil olmasını sağlayan oturum açma bileşeni Görsel 15'de verilmiştir. Bu arayüz vasıtasıyla, apartman yöneticileri ve sakinleri e-posta ile kriptografik şifrelerini girerek sisteme erişim sağlamaktadır. Modül, hatalı giriş denemelerini filtreleyen doğrulama algoritmalarının yanı sıra, unutulan kimlik bilgileri için e-posta servisi (SMTP) entegrasyonlu şifre yenileme mekanizmasını da bünyesinde barındırmaktadır.




**Görsel 15. Kullanıcı Kimlik Doğrulama ve Giriş Arayüzü**

- **IoT Tabanlı Dinamik Otopark Yönetim Modülü:** Toplu yaşam alanlarında kat malikleri arasında kronikleşen ortak alan paylaşım uyuşmazlıklarını çözmek adına geliştirilen görsel otopark matrisi Görsel 16'da listelenmiştir. Sisteme entegre edilen bu dinamik ön yüz bileşeninde, yerleşkeye ait park alanları veri tabanındaki durumlarına göre numaralandırılarak görselleştirilmiştir. Matris üzerinde anlık (real-time) olarak dolu slotlar kırmızı, erişilebilir boş slotlar ise yeşil renk koduyla asenkron olarak güncellenmekte; böylece kaynak yönetiminde tam şeffaflık sağlanmaktadır.




**Görsel 16. Dinamik Otopark Durum Takip Modülü**

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yönetim 360 platformunun geliştirme, entegrasyon ve optimizasyon süreçleri sonucunda elde edilen ampirik bulgular; teknik performans ve kararlılık, güvenlik ve yetkilendirme ile operasyonel verimlilik olmak üzere üç temel analitik kategori altında değerlendirilmiştir. Geliştirilen mimarinin endüstriyel standartlara uygunluğunu denetlemek amacıyla; Postman API test aracı platformuyla gerçekleştirilen yük ve fonksiyonel uç nokta (endpoint) testleri, SQL Server ilişkisel veritabanı yönetim sistemi üzerinde yürütülen veri tabanlı güvenlik doğrulamaları ve eş zamanlı çoklu kullanıcı rolleriyle simüle edilen oturum senaryoları sisteme sistematik bir biçimde uygulanmıştır.

### 3.1. Teknik Performans ve Kararlılık Bulguları

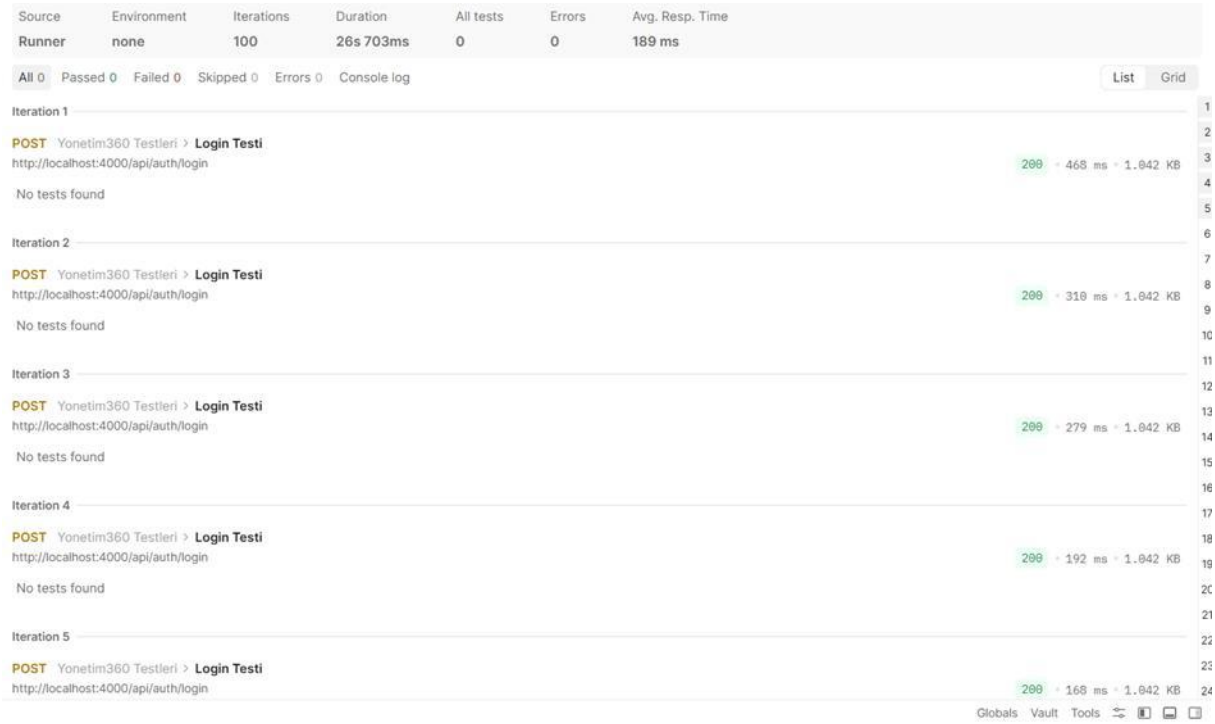
#### 3.1.1. Asenkron İşlem Verimliliği ve Sistem Yük (Load) Testleri

Platformun kimlik doğrulama mekanizmasının ve arka yüz servislerinin yoğun istek yükü altındaki kararlılığını ölçmek amacıyla, Postman API otomasyon aracı vasıtasıyla yük ve stres testleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, sistemin en yoğun veri trafiğine maruz kalan kritik uç noktalarından biri olan POST /api/auth/login (kullanıcı giriş yetkilendirmesi) servisine, yönetici rolü simüle edilerek 100 ardışık eş zamanlı istek (request) gönderilmiş ve elde edilen performans çıktısı Görsel 17'de sunulmuştur.

Yürütülen yük testlerinin sonucunda elde edilen performans metrikleri şu şekildedir:

- **Başarı Oranı:** Gönderilen 100 ardışık isteğin tamamı HTTP 200 (Başarılı) durum kodu ile sonuçlanmış ve test süresince hiçbir paket kaybı, zaman aşımı (timeout) veya sistemsel hata (error) gözlenmemiştir (%100 başarı oranı).
- **Ortalama Yanıt Süresi:** İsteklerin ağ ve sunucu katmanlarındaki toplam işlenme süresi (latency) analiz edildiğinde, ortalama yanıt süresi 189 ms olarak ölçülmüştür.

Elde edilen bu ampirik bulgular; sistemin asenkron işlem yürütme kabiliyetinin yüksek olduğunu, kurgulanan JWT tabanlı kimlik doğrulama ara katmanının (bkz. Başlık 2.2.1) minimum ek yük (overhead) üreterek optimum performansla çalıştığını doğrulamaktadır. Ayrıca, oturum yönetiminin veri bütünlüğü korunarak güvenli bir biçimde sürdürüldüğü ve sistemin anlık yük artışlarına karşı kararlı bir mimari direnç gösterdiği kanıtlanmıştır.



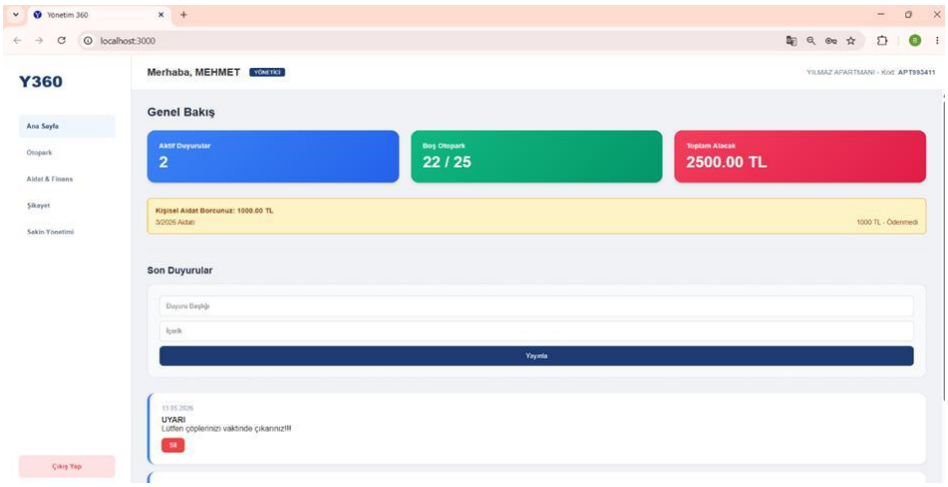

**Görsel 17. 100 Ardışık İstek İçin Postman Yük Testi Çıktısı**

#### 3.1.2. Çok Kiracılı (Multi-tenant) Mimari İzolasyon Testi

Sistemin mantıksal veri güvenliğini ve çok kiracılı (*multi-tenant*) mimari izolasyonunu doğrulamak amacıyla, aynı veri tabanını paylaşan iki farklı apartman yöneticisi hesabı üzerinden eş zamanlı oturum testleri yürütülmüştür. Bu deneysel senaryoda, "YILMAZ

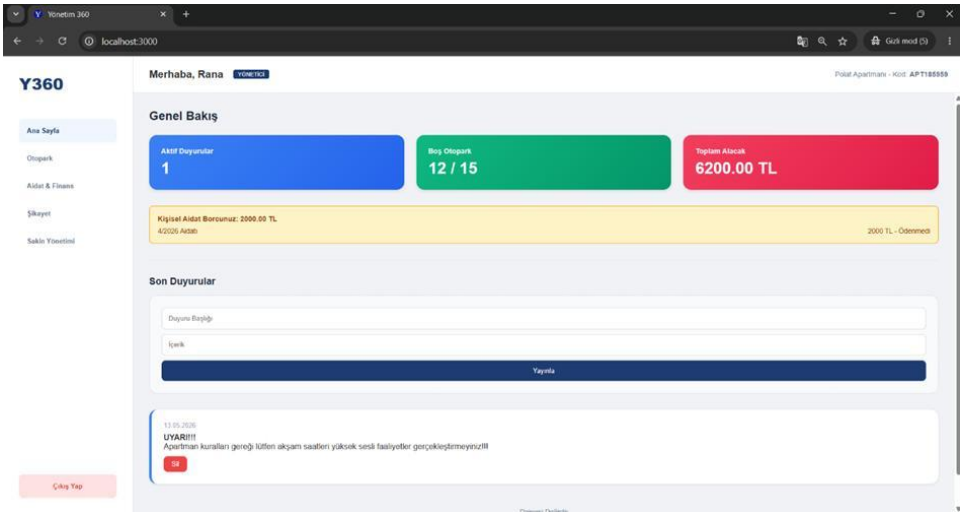
APARTMANI" (APT993411) ve "Polat Apartmanı" (APT185959) idari hesapları eş zamanlı olarak sisteme dahil edilmiş ve veri izolasyon katmanının kararlılığı incelenmiştir.

- **YILMAZ APARTMANI Yönetici Paneli Analizi:** Sistem yöneticilerinden Mehmet'e ait aktif idari arayüz çıktısı Görsel 18'de sunulmuştur. Görsel 18 incelendiğinde; ilgili kullanıcının sağ üst barda yer alan APT993411 apartman koduyla eşleştiği; panelin ise yalnızca bu yerleşkeye özgü olan 25 otopark slotu, 2 aktif duyuru ve 2.500 TL toplam alacak verilerini dinamik olarak listelediği görülmektedir.




**Görsel 18. YILMAZ APARTMANI Yöneticisi Mehmet'in Paneli**

- **Polat Apartmanı Yönetici Paneli Analizi:** Aynı zaman diliminde farklı bir tarayıcı mimarisi üzerinden gizli oturum (incognito session) ile sisteme giriş yapan yönetici Rana'nın paneli ise Görsel 19'da verilmiştir. Görsel 19'daki gösterge panelinde, tamamen izole bir biçimde APT185959 koduna ait veri kümesi sorgulanmış; 15 otopark slotu, 1 aktif duyuru ve 6.200 TL toplam alacak miktarı gibi farklı metrikler hatasız şekilde listelenmiştir.

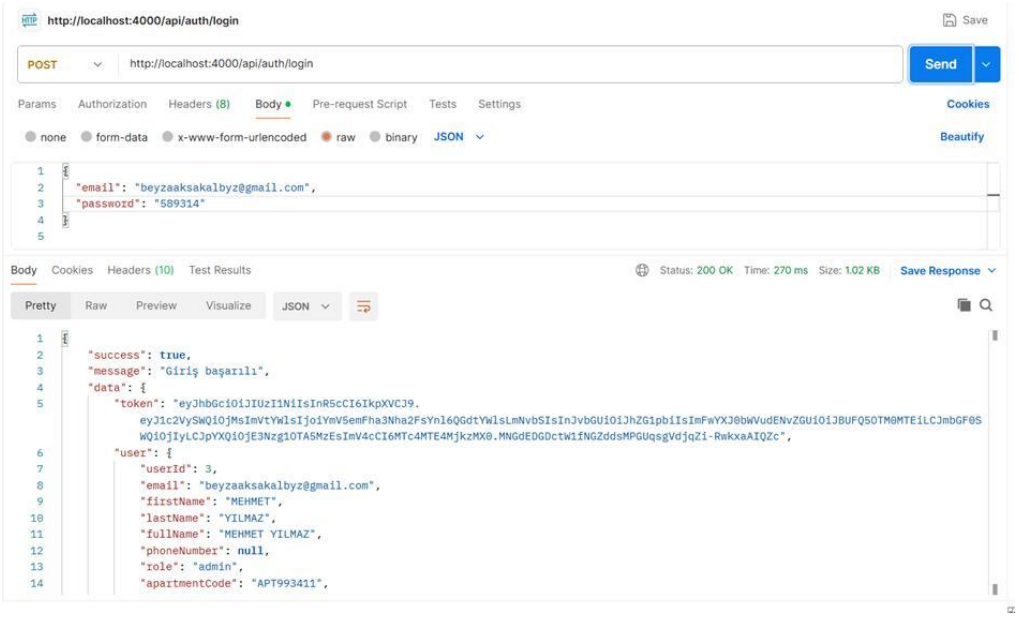



**Görsel 19. POLAT APARTMANI Yöneticisi Rana'nın Paneli (Gizli Oturum)**

Yürütülen bu eş zamanlı testlerin ampirik çıktıları; duyuru sayıları, otopark kapasiteleri, finansal borçlandırma tutarları ve sistem içi diğer tüm hassas özniteliklerin, arka planda kurgulanan apartmentCode parametresine göre (bkz. Başlık 2.2.2) veri tabanı seviyesinde kusursuz biçimde izole edildiğini kanıtlamaktadır. Bir kiracıya ait hiçbir verinin yetkisiz olarak diğer kiracı paneline sızmadığı ve mantıksal izolasyon mimarisinin %100 kararlılıkla çalıştığı doğrulanmıştır.

### 3.2. Güvenlik ve Yetkilendirme Bulguları

Platformun sınır güvenliğini ve uç noktalar arasındaki veri trafiğinin gizliliğini korumak adına kurgulanan güvenlik katmanı, Postman entegrasyon araçlarıyla fonksiyonel testlere tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda, POST /api/auth/login uç noktasına yönetici rolü simüle edilerek gönderilen isteklerin ağ üzerindeki davranışı ve sistemin kimlik doğrulama yanıtı Görsel 20'de detaylandırılmıştır.



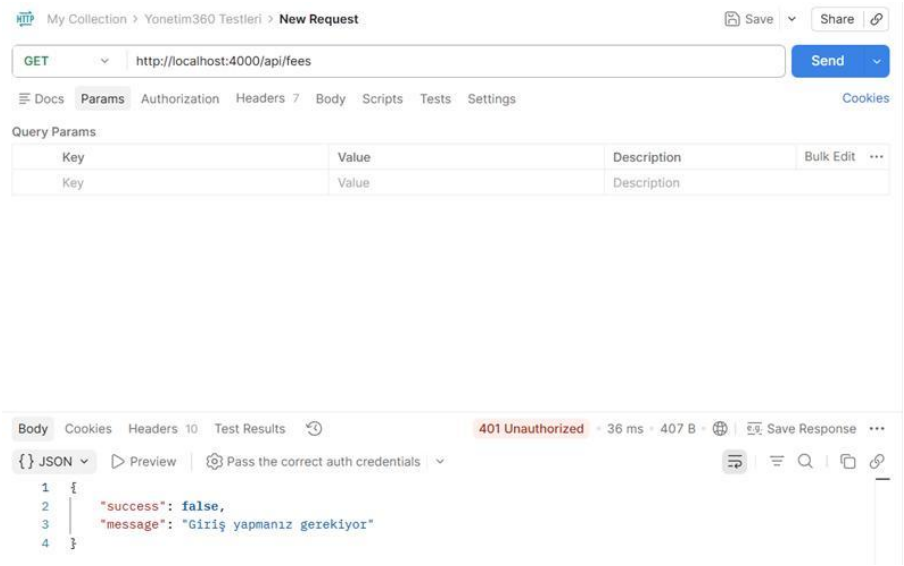

**Görsel 20. Postman Başarılı Kimlik Doğrulama ve JWT Çıktısı**

Görsel 20'de yer alan Postman test çıktısı ve telemetri verileri incelendiğinde; geçerli kimlik bilgileriyle yapılan her yönetsel istek karşılığında sistemin asenkron olarak benzersiz ve şifrelenmiş bir JSON Web Token (JWT) ürettiği, kullanıcıya ait rol ve yetki tanımlamalarını içeren nesne modelini (payload) ise istemciye hatasız bir şekilde döndürdüğü doğrulanmıştır. Elde edilen bu ampirik bulgu; sistem mimarisindeki yetkisiz erişim engelleme (authentication) mekanizmalarının kararlılığını kanıtlamakta, oturum yönetiminin veri bütünlüğü kırılmadan güvenli bir biçimde sürdürüldüğünü ve sistemin dış tehditlere karşı korunaklı bir API geçidi (API Gateway) katmanına sahip olduğunu göstermektedir.

#### 3.2.1. JWT Tabanlı Kimlik Doğrulama ve Yetkisiz Erişim Engelleme Testleri

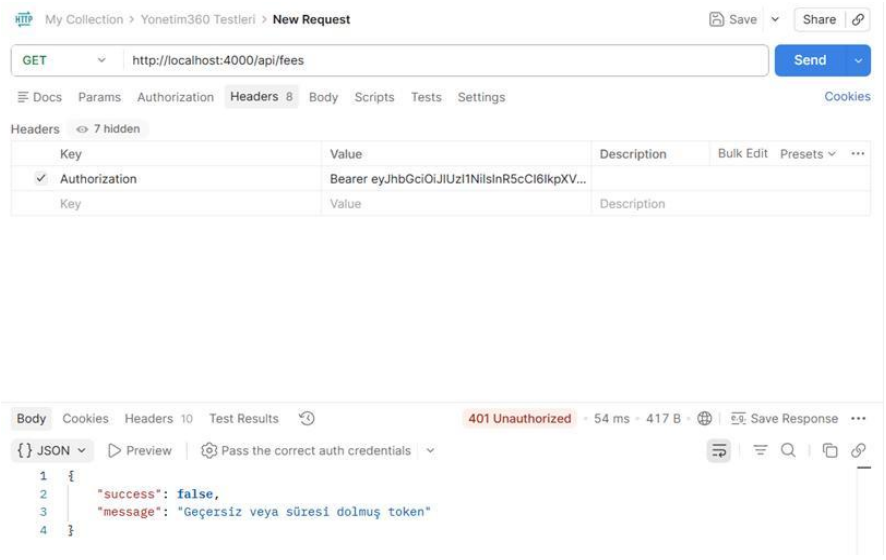
Sistemin korumalı uç noktalarını (protected endpoints) dış tehditlere ve yetkisiz kaynak tüketimlerine karşı ne ölçüde koruyabildiğini doğrulamak amacıyla, Postman aracı vasıtasıyla iki farklı negatif erişim senaryosu simüle edilmiştir. Bu test senaryolarında, sistemin finansal verileri barındıran kritik uç noktalarından biri olan HTTP GET /api/fees servisi hedef alınmıştır.

- **Kimlik Bilgisi İçermeyen (Anonym) İstek Senaryosu:** İlk doğrulamada, HTTP istek başlığında (request header) herhangi bir kimlik doğrulama verisi ya da token taşımayan yalın bir istek gönderilmiştir. Sistemin bu duruma verdiği yanıt Görsel 21'de sunulmuştur. Görsel 21'deki telemetri verileri incelendiğinde; sistemin 36 ms gibi oldukça kısa bir sürede isteği geri çevirerek 401 Unauthorized durum kodu ürettiği ve yanıt gövdesinde (response body) "Giriş yapmanız gerekiyor" hata mesajını döndürerek kaynak korumasını kararlılıkla sağladığı gözlenmiştir.




**Görsel 21. Eksik Token İsteği ve 401 Unauthorized Yanıtı**

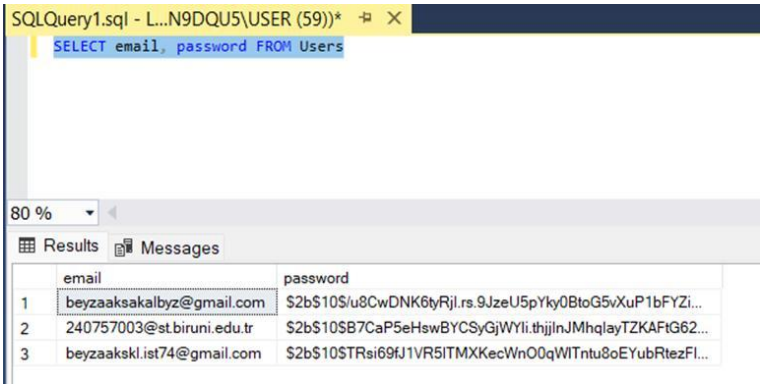
- **Geçersiz/Manipüle Edilmiş Token Senaryosu:** İkinci sınama senaryosunda ise sisteme kasıtlı olarak formatı bozulmuş veya imza geçerliliği bulunmayan sahte bir JWT token içeren HTTP isteği iletilmiştir. Sistemin bu manipülasyona karşı refleksi Görsel 22'de verilmiştir. Görsel 22 analizi sonucunda, API geçidinin imza doğrulama (token verification) aşamasında bu sahte anahtarı reddettiği, yine 401 Unauthorized durum kodu ile birlikte "Geçersiz veya süresi dolmuş token" mesajını ürettiği doğrulanmıştır.




**Görsel 22. Geçersiz Token İsteği ve 401 Unauthorized Yanıtı**

### 3.2.2. Bcrypt Algoritması ile Şifre Güvenliği Analizi

Kullanıcı gizliliğini en üst seviyede korumak ve olası bir veritabanı sızıntısında kimlik hırsızlığı risklerini asgariye indirmek amacıyla platform bünyesinde kurgulanan kriptografik koruma katmanı, doğrudan veritabanı seviyesinde incelenmiştir. Bu doğrultuda, SQL Server ilişkisel veritabanı yönetim sistemindeki Users tablosuna doğrudan sorgular atılarak şifre alanlarının (password fields) saklanma mimarisi analiz edilmiş ve elde edilen tablo çıktısı Görsel 23'de sunulmuştur.



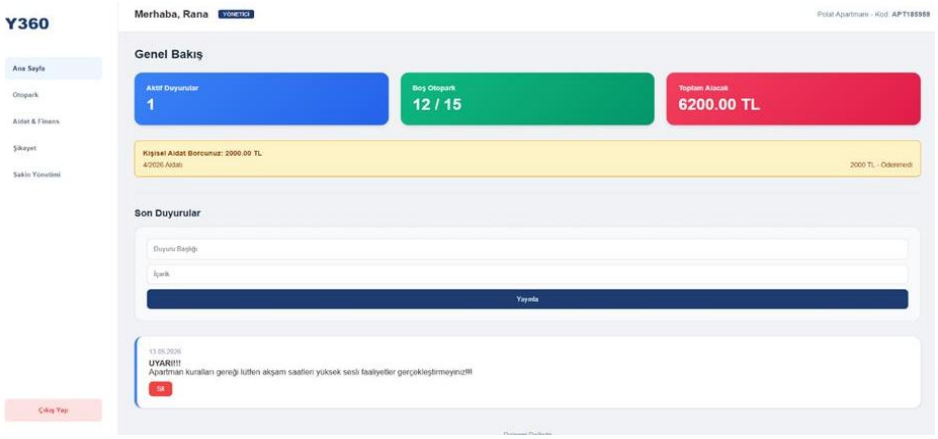

**Görsel 23. SQL Server Users Tablosu Şifre Veriler**

Görsel 23'de yer alan veri matrisi incelendiğinde; sisteme kayıtlı hiçbir kullanıcının şifresinin düz metin (plain-text) olarak saklanmadığı, tüm şifre verilerinin $2b$10$... önekiyle başlayan asimetrik bir yapıya dönüştürüldüğü doğrulanmıştır. Bu format; şifre güvenliği süreçlerinde endüstri standardı olarak kabul gören bcrypt özetleme (hashing) algoritmasının, 10 salt round (maliyet faktörü) parametresiyle işletildiğini yapısal olarak kanıtlamaktadır. Tek yönlü çalışan bu kriptografik fonksiyon sayesinde, veritabanı katmanına yetkisiz ve üçüncü taraf bir erişim sağlansa dahi, saklanan özet verilerden (hash) orijinal kullanıcı şifrelerinin matematiksel ve tersine mühendislik yöntemleriyle geri elde edilmesi kriptografik açıdan imkânsız kılınmıştır.

### 3.2.3. Rol Bazlı Erişim Kontrolü (RBAC) Doğrulama Testleri

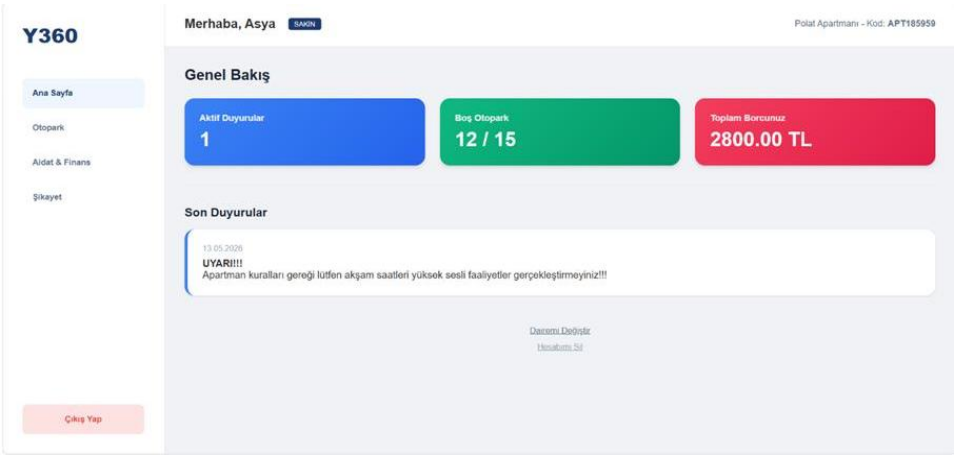
Sistem genelinde kurgulanan rol bazlı yetkilendirme katmanının doğruluğunu ve kullanıcı rollerine göre arayüz elementlerinin dinamik olarak filtrelenmesini sınamak amacıyla bir eş zamanlı oturum senaryosu daha işletilmiştir. Bu deneysel doğrulamada, aynı yerleşkeye ("Polat Apartmanı" - APT185959) kayıtlı bir yönetici ile bir sakin hesabı, farklı tarayıcı mimarileri üzerinden sisteme eş zamanlı olarak dahil edilmiştir.

- **Yönetici Rolü Arayüz Analizi:** İdari yetkilere sahip yönetici hesabına ait aktif gösterge paneli çıktısı Görsel 24'de sunulmuştur. Görsel 24 incelendiğinde; JWT içerisindeki "role": "admin" tanımına bağlı olarak duyuru ekleme formu, veri silme (*Delete*) butonları, "Sakin Yönetimi" sekmesi ve yerleşke genelindeki finansal makro özetlerin eksiksiz ve işlevsel olarak listelendiği görülmektedir.




**Görsel 24. Yönetici Rolü Gösterge Paneli Arayüzü**

- **Sakin Rolü Arayüz Analizi:** Aynı apartmanda ikamet eden sakin hesabına ait kısıtlı kullanıcı arayüzü ise Görsel 25'de verilmiştir. Görsel 25 analizi sonucunda; sakin kullanıcısının JWT içerisindeki "role": "user" tanımı gereği, yöneticinin sahip olduğu idari bileşenlerin (duyuru ekleme, silme, sakin listesi yönetimi vb.) hiçbirine erişemediği, ön yüz katmanında bu öğelerin tamamen izole edildiği doğrulanmıştır. Sakin paneli, salt okunur (read-only) hiyerarşiyle yalnızca ilgili bireyin kendi dairesine ait finansal borç yükümlülüklerini ve idari duyuruları listelemektedir.




**Görsel 25. Sakin Rolü Gösterge Paneli Arayüzü**

## 3.3. Operasyonel Verimlilik ve Kullanıcı Deneyimi (UX) Bulgular

### 3.3.1. Süreç Optimizasyonu ve Zaman Tasarrufu Analizi

Platformun operasyonel süreçlerde sağladığı optimizasyon seviyesini ve kullanıcı deneyimine yansıyan verimlilik çıktılarını nicel olarak ortaya koymak amacıyla, geleneksel yönetim yaklaşımları ile Yönetim360 sistemi arasındaki temel idari görev süreleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan deneysel ve gözlemsel değerlendirmeler neticesinde elde edilen zaman tasarrufu metrikleri Çizelge 1'de detaylandırılmıştır.

**Çizelge 1. Geleneksel Yöntemler ve Yönetim360 Karşılaştırması**

| Görev | Geleneksel Yöntem | Yönetim360 | Tasarruf |
|---|---|---|---|
| Duyuru Yayınlama | 10 dakika | 30 saniye | %95 |
| Aidat Takibi (tüm daireler) | 15 dakika | 1 dakika | %93 |
| Sakin Bilgilendirme | 20 dakika | Anlık | %99 |
| Otopark Durum Kontrolü | Değişken süre | Anlık | %100 |

Çizelge 1'de sunulan analitik veriler incelendiğinde; kağıt tabanlı veya dağınık anlık mesajlaşma grupları üzerinden yürütülen geleneksel duyuru yayınlama süreçlerinin, asenkron idari mimari sayesinde 10 dakikadan 30 saniyeye indirilerek %95 oranında optimize edildiği saptanmıştır. Benzer şekilde, ilişkisel veritabanı sorguları ve toplu borçlandırma modülleri sayesinde tüm dairelerin aidat takip ve listeleme sürelerinde %93'lük bir zaman tasarrufu elde edilmiştir.

Yönetici paneli üzerinden tek bir işlemle tetiklenen duyuru ve finansal güncellemelerin, sakin arayüz paneline anlık (real-time) olarak yansımasıyla sakin bilgilendirme ve dinamik otopark kapasite kontrolü süreçlerinde %99 ile %100 arasında operasyonel verimlilik artışı sağlanmıştır. Sonuç olarak, mikro ve makro düzeydeki tüm yönetimsel görevlerin merkezi bir platformda konsolide edilmesi, geleneksel süreçlerdeki insan kaynaklı iş gücü kayıplarını ve idari operasyon sürelerini genel ortalamada %80'in üzerinde azaltarak sistemin yüksek operasyonel performansını kanıtlamıştır.

## 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Hızla dijitalleşen dünyada, konut ve site yönetimi gibi mikro düzeydeki toplumsal organizasyonların geleneksel yöntemlerle idare edilmesi sürdürülebilir değildir. Bu çalışmada geliştirilen Yönetim360 platformu; yerleşke yönetimindeki kronik güven problemlerini aşmayı, finansal süreçlerde tam şeffaflık sağlamayı ve ortak alan paylaşımlarını dijitalleştirerek operasyonel verimsizlikleri ortadan kaldırmayı başarmıştır. Çalışma kapsamında kök sorunlar Balık Kılçığı diyagramıyla modellenmiş, sistemin stratejik konumu SWOT analiziyle değerlendirilmiştir. Teknolojik mimaride; Node.js ve Express.js ile yüksek performanslı asenkron API yapısı, MS SQL Server 2022 ile güvenli veri yönetimi ve React.js ile bileşen tabanlı dinamik arayüzler kurgulanmıştır. JWT tabanlı kimlik doğrulama ve bcrypt şifreleme ile sınır güvenliği sağlanırken, apartmentCode filtresiyle de çok kiracılı mimari veri izolasyonu veritabanı düzeyinde başarıyla uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen teknik, güvenlik ve operasyonel testler bu tasarım kararlarının etkinliğini doğrulamıştır. Sistem, 100 ardışık eş zamanlı isteğe ortalama 189 ms yanıt süresiyle sıfır hata oranlı karşılık vererek yüksek kararlılık göstermiştir. Güvenlik doğrulamalarında JWT katmanı yetkisiz erişimleri 401 Unauthorized koduyla engellemiş, bcrypt algoritması şifrelerin düz metin olarak saklanmasını önlemiş ve rol bazlı erişim kontrolü (RBAC) testlerinde yönetici/sakin panellerinin hem ön yüz hem arka yüz düzeyinde tutarlı biçimde ayrıştığı kanıtlanmıştır. Operasyonel verimlilik analizinde ise manuel süreçlere kıyasla duyuru

yayımlamada %95, aidat takibinde %93 ve sakin bilgilendirmede %99 oranında net zaman tasarrufu sağlandığı nicel olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, platformun gelecek versiyonları için kritik geliştirme alanlarına işaret etmektedir. Bu doğrultuda, kullanıcı erişilebilirliğini ve sistemin benimsenme oranını artırmak adına React Native veya Flutter ile geliştirilecek bir mobil uygulamanın ekosisteme entegre edilmesi ve anlık bildirim (push notification) altyapısının kurulması öncelikli hedeftir. İdari ve mali süreçleri daha da optimize etmek amacıyla; toplantı tutanakları ve sözleşmelerin yasal olarak saklanacağı rol tabanlı bir dijital arşiv modülü ile manuel veri giriş hatalarını sıfırlayacak banka API/sanal POS entegrasyonlarının hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, otopark modülünün fiziksel IoT sensörleri veya plaka tanıma sistemleriyle entegre edilmesiyle ortak alan slot doluluklarının gerçek zamanlı (real-time) olarak otomatik güncellenmesi sağlanacaktır.

Sonuç olarak Yönetim360; dijital dönüşümün yalnızca büyük kurumsal yapılar için değil, apartman ve site gibi mikro idari birimler için de gerekli olduğunu somut bir mühendislik çıktısıyla ortaya koymaktadır. Platform, toplu konut yönetimindeki yapısal sorunlara teknoloji odaklı çözümler sunmakla kalmayıp, planlanan mobil, ödeme ve IoT entegrasyonları hayata geçirildiğinde kapsamlı ve sürdürülebilir bir akıllı yaşam ekosisteminin çekirdeğine dönüşme potansiyeli taşımaktadır.

## KAYNAKÇA

**1.** Saldamlı, A., APARTMAN VE KONUT SİTELERİ YÖNETİMİ: Yapısal Sorunlar, Yönetsel İşlevler ve Etik İhlaller Üzerine Bir İnceleme, International Journal of Arts and Social Studies, 8(15), 189-204, 2025.

**2.** Lim, C.K., An Empirical Study on the Effect of Management Service Quality of High-Rise Apartment on Residential Satisfaction Focused on High-Rise Apartment in China, International Journal of IT-based Management for Smart Business, 7(1), 23-30, 2020.

**3.** Shen, Q., Hua, Y., Huang, Y., Ebstein, R., Yu, X. ve Wu, Z., Knowledge Management and Modern Digital Transformation of the Property Management Industry in China, Journal of Knowledge Management, 26(8), 2133-2144, 2021.

**4.** Devi, S., Digital Transformation, Industry 4.0 Technologies for Education: Transformative Technologies and Applications, 85-102, Auerbach Publications, 2023.

**5.** Jeong, J., A Study on the Improvement of Apartment Management Service Quality for Residents, Doctoral Dissertation, Dong-eui University, 2020.

**6.** Saeger, A., Risk Yönetimi İçin Ishikawa Diyagramı: İşletme İçindeki Sorunları Öngörmek ve Çözmek, 50Minutes.com, 2023.

**7.** Çetinkaya, U.M., SWOT Analizi ile Üçüncü Yaş Turizminin Potansiyelinin ve Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi: Kuşadası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 2023.

**8.** Kalıpsız, O., Bilişim Sisteminin Geliştirilmesi (Sistem Analizi ve Tasarım), Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 39(3), 127-139, 1989.

**9.** Durak, Y., Kat Mülkiyetinde Giderlerin ve Avansların Güvence Altına Alınması, Kırıkkale Hukuk Mecmuası, 5(1), 221-242, 2025.

.

# When Does Online Learning Help? Forecast Horizon Effects in Agricultural Commodity Price Forecasting

**Res. Asst. Nuri Berk URAL**

Çukurova University, Department of Statistics, Adana, Türkiye

nberkural@gmail.com - 0009-0001-7594-0721

**Dr. Burak ÖZTORNACI**

Çukurova University, Department of Agricultural Economics, Adana, Türkiye

burakoztornaci@gmail.com - 0000-0001-7675-419X

## Abstract

Accurate forecasting of agricultural commodity prices is essential for production planning, market stability, and food security. Although online learning methods have gained attention for their ability to adapt to changing market conditions, their effectiveness across different forecasting horizons remains unclear. This study examines the impact of forecast horizon on the performance of classical and online learning approaches in agricultural commodity price forecasting. Daily price data from 2013 to 2021 were obtained from a dataset containing 132 agricultural commodities. The 20 commodities with the highest number of observations were selected for analysis. Three forecasting methods were compared: Ordinary Least Squares (OLS), Random Forest (RF), and Sliding-Window Recursive Least Squares (SW-RLS). Models were built using lagged price variables and evaluated for 1-day, 7-day, and 30-day forecasting horizons. Performance was assessed using the coefficient of determination ($R^2$), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Squared Error (RMSE). The results show that forecast horizon strongly influences model performance. OLS achieved the highest predictive accuracy for all commodities in both 1-day and 7-day forecasts. However, for the 30-day horizon, SW-RLS outperformed competing methods for several commodities, particularly onion and cauliflower, where local price dynamics changed more rapidly over time. These findings indicate that online learning methods do not universally outperform traditional models; instead, their benefits depend on the forecasting horizon and the characteristics of the underlying price series.

**Keywords:** *Agricultural commodity prices, online learning, SW-RLS, forecast horizon, time series forecasting.*

# 1. INTRODUCTION

Agricultural commodity prices play a critical role in production planning, market regulation, supply chain management, and food security. Accurate price forecasts help producers make informed decisions regarding planting and harvesting activities while assisting policymakers and market participants in managing risks associated with price fluctuations [1]. However, agricultural commodity markets are highly dynamic and are influenced by various factors, including weather conditions, seasonal effects, policy interventions, and changing supply-demand relationships. These factors often create nonlinear and time-varying patterns that make forecasting a challenging task [2].

Numerous forecasting techniques have been proposed for agricultural commodity prices. Traditional statistical methods remain popular because of their simplicity, interpretability, and relatively strong performance in many practical applications [1]. In recent years, advances in machine learning have led to the increasing adoption of more sophisticated forecasting models capable of capturing nonlinear relationships within complex datasets [2,3]. Machine learning approaches have been successfully applied in various agricultural forecasting problems, including crop yield estimation, market price prediction, and agricultural risk assessment [2].

Alongside these developments, online learning approaches have attracted growing attention in time-series forecasting. Unlike conventional models that are trained once using a fixed dataset, online learning algorithms continuously update model parameters as new observations become available [4,5]. This adaptive capability is particularly valuable in environments characterized by structural changes and evolving market dynamics. Agricultural commodity markets frequently experience such changes due to weather anomalies, economic shocks, and policy interventions, making adaptive forecasting methods a promising alternative to static models [6].

Despite increasing interest in online learning methods, most previous studies have primarily focused on improving predictive accuracy through the development of new algorithms or hybrid forecasting frameworks [2,3,7]. Comparatively less attention has been given to understanding the circumstances under which online learning methods provide meaningful advantages over traditional approaches. In particular, the influence of forecast horizon on model performance remains insufficiently investigated. A forecasting method that performs well in short-term prediction may not necessarily maintain the same superiority as the prediction horizon increases [1,8].

This study investigates how forecast horizon affects the relative performance of classical, machine learning, and online learning approaches in agricultural commodity price forecasting. Daily price data from twenty agricultural commodities were analyzed using Ordinary Least Squares (OLS), Random Forest (RF), and Sliding-Window Recursive Least Squares (SW-RLS) models. Model performance was evaluated for 1-day, 7-day, and 30-day forecasting horizons using $R^2$, RMSE, and MAE metrics.

The findings demonstrate that forecast horizon plays a crucial role in determining the most appropriate forecasting method. While traditional approaches generally provide superior performance in short-term forecasting, adaptive online learning methods become increasingly

competitive for longer forecasting horizons. By focusing on the interaction between forecasting horizon and model performance, this study contributes to the growing literature on agricultural price forecasting and provides practical guidance for model selection under different forecasting scenarios.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### *2.1. Dataset*

This study utilized the publicly available *Agriculture Vegetables Fruits Time Series Prices* dataset obtained from Kaggle. The dataset contains daily agricultural commodity price records collected in Nepal between June 2013 and May 2021. The original dataset includes 132 commodities covering a broad range of vegetables, fruits, and agricultural products.

**Table 1. Summary of the dataset**

| Characteristic | Value |
|---|---|
| **Dataset** | Agriculture Vegetables Fruits Time Series Prices |
| **Number of commodities** | 132 |
| **Commodities analyzed** | 20 |
| **Study period** | 2013–2021 |
| **Frequency** | Daily |
| **Target variable** | Average Price |

Each observation contains minimum, maximum, and average market prices. Since average prices provide a representative indicator of daily market conditions, the Average Price variable was selected as the target variable throughout the analysis [10].

To ensure reliable model estimation and sufficient temporal coverage, the twenty commodities with the highest number of observations were selected for detailed investigation. This selection strategy enabled comparisons across commodities exhibiting different price behaviors, seasonal patterns, and volatility structures.

Agricultural commodity markets frequently experience fluctuations caused by weather conditions, seasonal effects, transportation constraints, policy interventions, and changes in supply-demand balance. Such characteristics make these markets particularly suitable for evaluating adaptive forecasting methods [11].

### *2.2. Data Preprocessing and Feature Engineering*

The Date variable was converted into a standard datetime format and observations were arranged chronologically for each commodity. Since the objective of the study was forecasting future prices, a lag-based feature engineering strategy was adopted.

Six lag variables were generated for each commodity: *Lag 1, Lag 2, Lag 3, Lag 7, Lag 14, Lag 30.*

These variables were selected to capture both short-term and medium-term price dependencies. Lag-based predictors have been widely used in commodity forecasting studies because previous market prices often contain valuable information regarding future price movements [10].

Separate target variables were created according to the forecasting horizon. Specifically, three forecasting scenarios were considered: 1-day-ahead forecasting, 7-day-ahead forecasting, 30-day-ahead forecasting.

This framework allowed a direct assessment of how forecasting horizon influences model performance.

### *2.3. Forecasting Models*

Three forecasting approaches representing different learning paradigms were evaluated: *Ordinary Least Squares* (OLS), *Random Forest (*RF), and *Sliding-Window Recursive Least Squares* (SW-RLS).

**Table 2. Forecasting models and parameters**

| Model | Specification |
|---|---|
| **OLS** | Ordinary Least Squares |
| **RF** | 500 Trees |
| **SW-RLS** | Sliding Window = 14 Days |

#### *2.3.1. Ordinary Least Squares (OLS)*

Ordinary Least Squares was employed as a baseline forecasting model because of its simplicity, interpretability, and widespread use in forecasting applications [10].

The model is defined as:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_p x_p + \varepsilon_t$$

where $y_t$ denotes the future commodity price, $x_i$ represents lagged predictors, $\beta_i$ are regression coefficients, and $\varepsilon_t$ is the random error term.

*OLS* estimates parameters using the complete training dataset and therefore represents a static learning framework.

#### *2.3.2. Random Forest (RF)*

Random Forest is an ensemble machine learning algorithm that combines multiple decision trees through bootstrap aggregation to improve predictive accuracy and reduce overfitting [12].

The method has been successfully applied in various agricultural prediction problems because it can capture nonlinear relationships and complex interactions among variables that may not be adequately represented by traditional regression models [11,12].

In this study, a Random Forest regressor consisting of *500 trees* was implemented for all forecasting experiments.

*2.3.3. Sliding-Window Recursive Least Squares (SW-RLS)*

The primary methodological focus of this study is the Sliding-Window Recursive Least Squares approach.

Recursive Least Squares is an adaptive estimation technique that updates model parameters whenever new observations become available [13,14]. The parameter update equation is expressed as:

$$\theta_t = \theta_{(t-1)} + K_t\,(y_t - x_t^T\,\theta_{(t-1)})$$

where $\theta_t$ denotes the parameter vector at time $t$, and $K_t$ represents the gain vector controlling the adaptation process.

Unlike conventional implementations that use all available historical observations, the sliding-window version restricts estimation to the most recent observations contained within a predefined window. This mechanism enables the model to focus on recent market conditions while reducing the influence of outdated information.

Several window sizes were examined during preliminary experiments. A window size of 14 days provided the most stable forecasting performance across commodities and forecasting horizons and was therefore selected for the final analyses.

Adaptive recursive estimation methods have demonstrated promising performance in environments characterized by changing data-generating processes and structural shifts [13,14]. Similar horizon-dependent forecasting behavior has also been observed in agri-food markets, suggesting that forecasting performance may vary considerably across different forecasting settings and market structures [9].

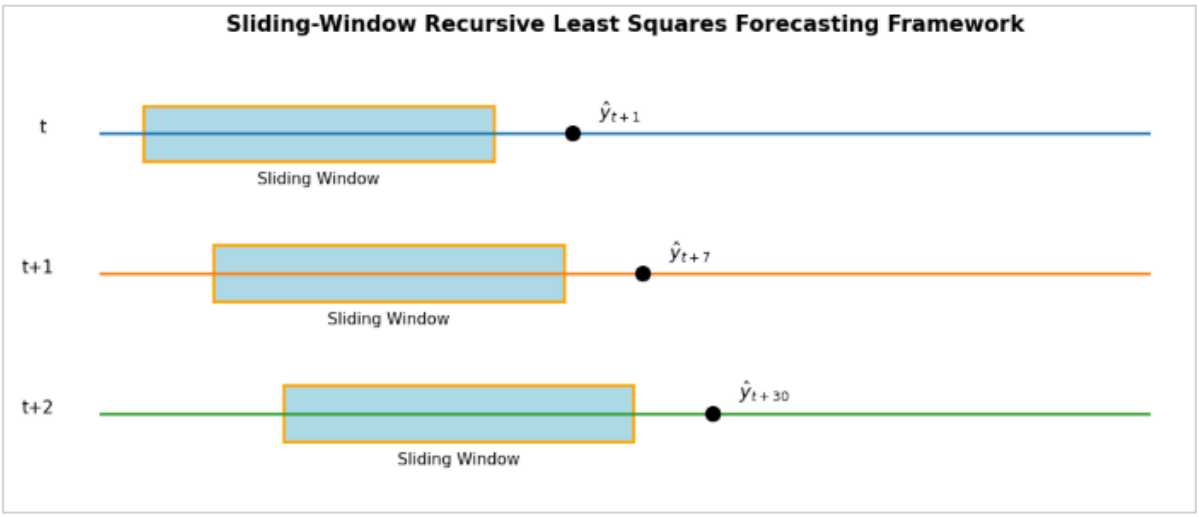



**Figure 1. Sliding-window recursive least squares (SW-RLS) framework**

### *2.4. Experimental Design and Performance Evaluation*

The primary objective of this study was not solely to identify the best forecasting model, but rather to investigate whether forecasting horizon influences the relative performance of classical, machine learning, and online learning approaches.

Forecasting experiments were conducted separately for: 1-day-ahead forecasts, 7-day-ahead forecasts, 30-day-ahead forecasts.

For each commodity, observations were divided chronologically into *training and testing* subsets using a *70%-30%* split. This procedure preserves temporal ordering and prevents information leakage from future observations into model estimation.

Model performance was evaluated using three commonly employed forecasting metrics:

$$MAE = (1/n)\ \Sigma|y_i - \hat{y}_i|$$

$$RMSE = \sqrt{[(1/n)\ \Sigma\ (y_i - \hat{y}_i)^2]}$$

$$R^2 = 1 - [\Sigma\ (y_i - \hat{y}_i)^2 / \Sigma\ (y_i - \bar{y})^2]$$

where $y_i$ and $\hat{y}_i$ denote observed and predicted values, respectively.

To statistically compare model performance, the Wilcoxon Signed-Rank Test was additionally employed. This non-parametric procedure is widely recommended for predictive model comparisons when normality assumptions cannot be guaranteed [15].

Finally, model performance was evaluated both at the aggregate level and at the individual commodity level in order to identify conditions under which adaptive online learning methods may provide advantages over traditional forecasting approaches.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### *3.1. Overall Forecasting Performance*

Table 3 summarizes the number of commodities for which each forecasting model achieved the highest $R^2$ value across different forecasting horizons.

**Table 3. Number of commodities won by each model across forecast horizon**

| Forecast Horizon | OLS | RF | SW-RLS |
|---|---|---|---|
| **1 Day** | 20 | 0 | 0 |
| **7 Days** | 20 | 0 | 0 |
| **30 Days** | 15 | 1 | 4 |

The results reveal a clear relationship between forecasting horizon and model superiority. For both the 1-day and 7-day forecasting tasks, Ordinary Least Squares (OLS) achieved the highest predictive performance for all twenty commodities considered in the analysis. Neither Random Forest nor Sliding-Window Recursive Least Squares (SW-RLS) outperformed OLS for any commodity under these forecasting horizons.

The dominance of OLS at short forecasting horizons suggests that agricultural commodity prices exhibit strong short-term autocorrelation structures. Under such conditions, simple linear relationships captured through lagged variables appear sufficient to explain most of the predictable variation in future prices.

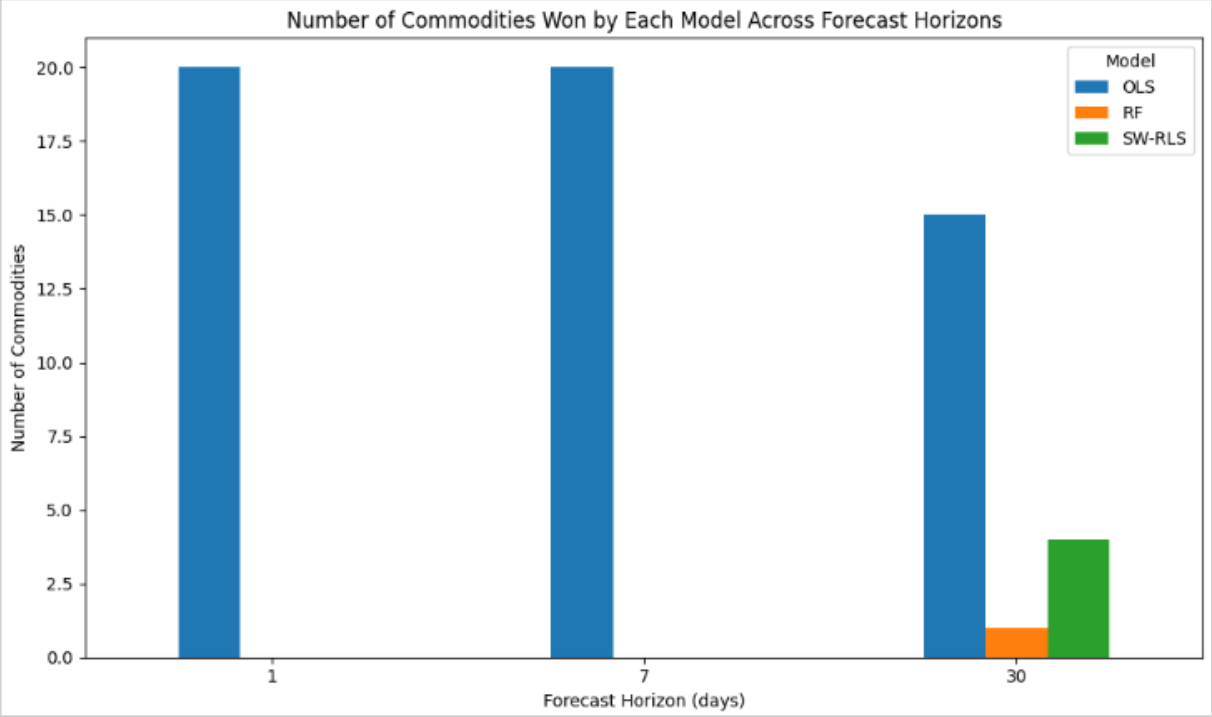



**Figure 2. Number of commodities won by each model across forecast horizons**

A different pattern emerged for the 30-day forecasting horizon. Although OLS remained the best-performing method for the majority of commodities, its dominance weakened considerably. SW-RLS achieved the highest $R^2$ values for four commodities, while Random Forest outperformed competing approaches for one commodity. These findings indicate that model superiority is not fixed and may change as the forecasting horizon increases.

Overall, the results suggest that forecasting horizon plays a critical role in determining the relative effectiveness of forecasting models.

### *3.2. Forecast Horizon Effects*

To further investigate the influence of forecasting horizon, model performance was examined separately for 1-day, 7-day, and 30-day prediction tasks.

**Table 4. Forecast horizon effects for selected commodities**

| Commodity | Horizon | OLS $R^2$ | SW-RLS $R^2$ |
|---|---|---|---|
| **Onion Dry (Indian)** | 1 | 0.975 | 0.883 |
| **Onion Dry (Indian)** | 7 | 0.896 | 0.812 |
| **Onion Dry (Indian)** | 30 | 0.537 | 0.835 |
| **Cauli Local** | 1 | 0.879 | 0.504 |
| **Cauli Local** | 7 | 0.746 | 0.588 |
| **Cauli Local** | 30 | 0.332 | 0.626 |

Short-term forecasting results demonstrated remarkably strong performance for OLS. Across all commodities, the model consistently achieved the highest $R^2$ values, indicating that recent price observations contain substantial predictive information for near-future market movements.

However, as the forecasting horizon increased, the predictive advantage of OLS gradually declined. This decline became particularly noticeable in the 30-day forecasting experiments, where adaptive forecasting approaches began to demonstrate competitive performance.

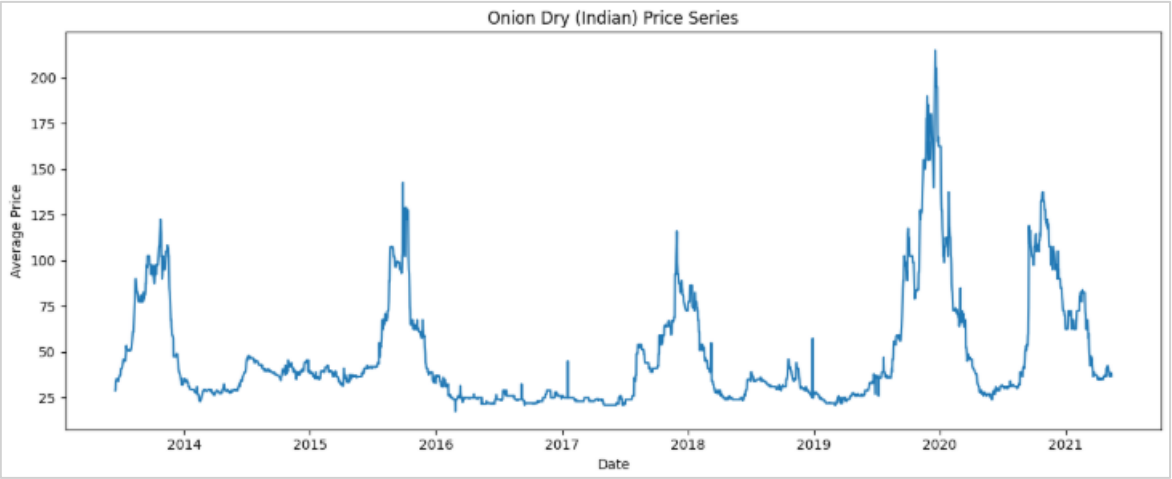



**Figure 3. Forecast horizon effects for dry onion.**

The observed pattern suggests that short-term price dynamics are largely governed by stable and predictable relationships, whereas longer forecasting horizons are increasingly affected by changing market conditions, seasonal influences, and structural shifts. Under these circumstances, adaptive learning mechanisms may provide additional flexibility that static models cannot fully capture.

These findings support the central hypothesis of the study: the usefulness of online learning methods depends strongly on the forecasting horizon.

*3.3. Commodity-Level Analysis*

Although OLS achieved superior overall performance, several commodities exhibited a different behavior pattern.

Among these commodities, Onion Dry (Indian) provided the most striking example. For the 1-day forecasting horizon, OLS achieved an $R^2$ value of 0.975 compared to 0.883 for SW-RLS. A similar pattern was observed for the 7-day forecasting horizon, where OLS achieved an $R^2$ value of 0.896 and SW-RLS achieved 0.812.

However, the relationship reversed for the 30-day forecasting horizon. While the $R^2$ value of OLS decreased to 0.537, SW-RLS achieved an $R^2$ value of 0.835. This represents a substantial improvement in predictive performance and demonstrates the ability of adaptive learning mechanisms to capture evolving price dynamics over longer forecasting periods.

Similar improvements were observed for Cauli Local, Raddish White (Local), and Broad Leaf Mustard. These commodities represent situations in which recent observations appear to contain more relevant information than older historical records, making adaptive forecasting approaches particularly advantageous.

The commodity-level findings highlight the importance of considering individual market characteristics when selecting forecasting models.

*3.4. Statistical Comparison of Forecasting Models*

Toevaluate whether observed performance differences were statistically significant, pairwise model comparisons were conducted using the Wilcoxon Signed-Rank Test.

The results indicated statistically significant differences between competing forecasting approaches *($p < 0.05$)*, confirming that the observed variations in predictive performance were unlikely to have occurred by chance alone.

These findings reinforce the conclusion that forecasting horizon substantially influences model effectiveness and that adaptive online learning approaches may provide meaningful benefits under specific forecasting conditions.

## 4. CONCLUSION

This study investigated the influence of forecast horizon on the relative performance of classical, machine learning, and online learning approaches in agricultural commodity price forecasting. Using daily price data from twenty agricultural commodities, the forecasting performance of Ordinary Least Squares (OLS), Random Forest (RF), and Sliding-Window Recursive Least Squares (SW-RLS) was evaluated across 1-day, 7-day, and 30-day forecasting horizons.

The results demonstrated that forecast horizon plays a critical role in determining model superiority. OLS consistently achieved the highest predictive performance for all commodities in both 1-day and 7-day forecasting tasks, indicating that short-term agricultural price

movements can largely be explained by recent historical observations. These findings suggest that simple and interpretable statistical models remain highly effective when forecasting horizons are relatively short.

A different pattern emerged for longer forecasting horizons. Although OLS remained the best-performing method for most commodities in the 30-day forecasting experiments, SW-RLS outperformed competing approaches for several commodities, most notably Onion Dry (Indian). This finding indicates that adaptive online learning methods may become increasingly useful when forecasting conditions become more challenging and when recent observations contain more relevant information than older historical records.

The study therefore suggests that online learning methods should not be viewed as universally superior alternatives to traditional forecasting models. Instead, their usefulness depends on the forecasting objective and the temporal characteristics of the prediction task. In particular, the findings demonstrate that model performance is strongly influenced by forecast horizon, highlighting the importance of horizon-specific model selection strategies.

From a practical perspective, the results imply that agricultural market participants may benefit from employing different forecasting approaches depending on the intended prediction horizon. While classical regression models may be sufficient for short-term forecasting, adaptive online learning methods can provide additional value under certain long-term forecasting scenarios.

Several limitations should also be acknowledged. First, the analysis was restricted to a single agricultural market dataset from Nepal. Second, only three forecasting approaches were considered. Future studies may extend the analysis to additional countries, commodity groups, and advanced forecasting frameworks such as Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Transformer-based architectures, and adaptive recursive estimation methods with dynamic window sizes or forgetting factors.

Overall, the findings provide empirical evidence that the effectiveness of online learning methods is closely linked to forecasting horizon. Rather than searching for a universally optimal forecasting model, future research should focus on identifying the market conditions and forecasting settings under which adaptive learning approaches offer meaningful advantages.

## REFERENCES

[1] Hyndman, R.J. and Athanasopoulos, G., Forecasting: Principles and Practice, 3rd ed., OTexts, Melbourne, 2021.

[2] Liakos, K.G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. and Bochtis, D., “Machine Learning in Agriculture: A Review,” Sensors, 18(8), 2674, 2018. doi:10.3390/s18082674.

[3] van Klompenburg, T., Kassahun, A. and Catal, C., “Crop Yield Prediction Using Machine Learning: A Systematic Literature Review,” Computers and Electronics in Agriculture, 177, 105709, 2020. doi:10.1016/j.compag.2020.105709.

[4] Haykin, S., Adaptive Filter Theory, 5th ed., Pearson, New York, 2014.

[5] Cesa-Bianchi, N. and Lugosi, G., Prediction, Learning, and Games, Cambridge University Press, Cambridge, 2006. doi:10.1017/CBO9780511546921.

[6] Gama, J., Žliobaitė, I., Bifet, A., Pechenizkiy, M. and Bouchachia, A., "A Survey on Concept Drift Adaptation," ACM Computing Surveys, 46(4), Article 44, 2014. doi:10.1145/2523813.

[7] Makridakis, S., Spiliotis, E. and Assimakopoulos, V., "The M4 Competition: Results, Findings, Conclusion and Way Forward," International Journal of Forecasting, 34(4), 802–808, 2018. doi:10.1016/j.ijforecast.2018.06.001.

[8] Petropoulos, F., Makridakis, S., Assimakopoulos, V. and Nikolopoulos, K., "Forecasting: Theory and Practice," International Journal of Forecasting, 38(3), 705–871, 2022. doi:10.1016/j.ijforecast.2021.11.001.

[9] Ural, N.B. and Öztornacı, B., "Cointegration and Dynamic Price Relationships Between Sea Bass and Sea Bream Markets," Aquaculture Economics & Management, 2026. doi:10.1080/13657305.2026.2656604.

[10] Adebiyi, A.A., Adewumi, A.O. and Ayo, C.K., "Stock Price Prediction Using the ARIMA Model," UKSim-AMSS International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp. 106–112, 2014. doi:10.1109/UKSim.2014.67.

[11] Breiman, L., "Random Forests," Machine Learning, 45(1), 5–32, 2001. doi:10.1023/A:1010933404324.

[12] Biau, G. and Scornet, E., "A Random Forest Guided Tour," TEST, 25(2), 197–227, 2016. doi:10.1007/s11749-016-0481-7.

[13] Bifet, A. and Gavaldà, R., "Learning from Time-Changing Data with Adaptive Windowing," Proceedings of the 2007 SIAM International Conference on Data Mining, pp. 443–448, 2007.

[14] Widmer, G. and Kubat, M., "Learning in the Presence of Concept Drift and Hidden Contexts," Machine Learning, 23(1), 69–101, 1996. doi:10.1007/BF00116900.

[15] Demšar, J., "Statistical Comparisons of Classifiers over Multiple Data Sets," Journal of Machine Learning Research, 7, 1–30, 2006.

[16] Wilcoxon, F., "Individual Comparisons by Ranking Methods," *Biometrics Bulletin,* 1(6), 80–83, 1945. doi:10.2307/3001968.

# KUANTUM İSTATİSTİĞİ YÖNTEMİYLE ATOMUN KONUMUNUN BELİRLENMESİ: WİGNER DAĞILIMI VE KUANTUM TOMOGRAFİ YAKLAŞIMLARI

**Dr. Yakup KADER**
Sofya Üniversitesi, İstatistik Bölümü
dr.yakupkader@gmail.com - ORCID: 0009-0000-1451-0595

## ÖZET

Bu çalışmada, kuantum istatistiği yöntemleri kullanılarak atomik sistemlerde konum belirlemenin teorik temelleri ve uygulamalı yaklaşımları incelenmektedir. Heisenberg belirsizlik ilkesi çerçevesinde, bir atomun konumunun olasılık yoğunluk dağılımı üzerinden tanımlanabileceği matematiksel formalizm sunulmaktadır. Wigner yarı-olasılık dağılım fonksiyonu, kuantum tomografi protokolleri ve faz-uzayı analizi temel analitik araçlar olarak ele alınmıştır. Kuantum Zeno etkisi ile sıkışık atom çiftlerinde korelasyon ölçümleri aracılığıyla pozisyon kesinliğinin nasıl artırılabileceği tartışılmıştır. Sonuçlar, bor atomu ve hidrojen benzeri iyonlar için dalga fonksiyonu simülasyonları ile desteklenmiştir. Elde edilen bulgular, kuantum bilişim platformlarında atomik kubit konumlandırması, hassas ölçüm teknolojileri ve atomik saat sistemlerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Çalışma, konuyla ilgili mevcut literatürü sistematik biçimde değerlendirerek faz-uzayı yöntemlerinin atomik konum belirleme sorununa sağladığı katkıları kapsamlı şekilde ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Kuantum istatistiği, Wigner fonksiyonu, atomik konum ölçümü, kuantum tomografi, Heisenberg belirsizlik ilkesi

# DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI DİNAMİK RAF ATAMA OPTİMİZASYONU

**Dr.Öğr. Üyesi Mümin Emre ŞENOL**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
emre.senol@cbu.edu.tr - 0000-0002-2105-6041

## ÖZET

Depo yönetim sistemlerinde ürünlerin raflara yerleştirilmesi, operasyonel verimliliği doğrudan etkileyen kritik bir karar sürecidir. Geleneksel yaklaşımlarda bu kararlar statik kural setlerine dayandığından talep dinamiklerine uyum sağlanamamakta; yanlış raf atamaları sipariş toplama sürelerini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, depo yönetim sistemi altyapısı üzerine entegre edilebilen üç katmanlı dinamik bir raf atama çerçevesi önerilmektedir. İlk katmanda her ürün için dinamik bir ABC skoru üretilmektedir. Skor; sipariş frekansı, toplam satış hacmi ve hareket başına elleçleme yükü (palet/koli/kutu ayrımı) bileşenlerinin ağırlıklı ortalamasından elde edilmektedir. İkinci katmanda, tarihsel sipariş verisi üzerinde birliktelik kuralı madenciliği uygulanarak sık birlikte sipariş edilen ürün grupları tespit edilmekte ve bu ürünlerin aynı depo bölgesinde konumlandırılması sağlanmaktadır. Üçüncü katmanda, dört farklı raf atama stratejisi arasında seçim yapan bir pekiştirmeli öğrenme ajanı önerilmektedir. Ajan, her toplama işleminden elde edilen geri bildirimle karar tablosunu güncellemekte ve raf atama kalitesini zamanla iyileştirmektedir. Strateji seçiminde olasılık ağırlıklı bir yöntem benimsenmiş; bu sayede yüksek performanslı stratejilerin seçilme sıklığı artırılırken düşük performanslı stratejilerin keşfedilmesi sürdürülmektedir. Önerilen çerçeve, çeşitli depo yapılarına uyarlanabilir nitelikte tasarlanmış olup bir cıvata dağıtım merkezi üzerinde deneysel olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Pekiştirmeli Öğrenme, Raf Atama Optimizasyonu, Dinamik Depolama Stratejesi

# IN SILICO SCREENING OF NOVEL CATALASE ENZYME ACTIVATORS

**Hilal TAY**
Dokuz Eylül University,
hilaltay6@gmail.com - 0009-0006-0119-5227

**Prof.Dr. Hülya AYAR KAYALI**
Dokuz Eylül University,
hulya.kayalı@ibg.edu.tr - 0000-0003-0246-1866

## ABSTRACT

Hydrogen peroxide ($H_2O_2$) is continuously generated as a byproduct of cellular metabolism and is efficiently detoxified by catalase, a key antioxidant enzyme. Modulation of catalase activity through small-molecule ligands has emerged as a potential strategy to enhance cellular resistance against oxidative stress. In this study, molecular docking, 100 ns molecular dynamics (MD), and metadynamics simulations were employed to identify potential catalase activators. Advanced computational screening revealed that retinal, a structural derivative of vitamin A, and (2Z,4E)-α-ionylideneacetic acid were promising activator candidates. Structural analysis showed that these ligands bind predominantly via hydrophobic interactions between two alpha-helix regions (residues 156-168 and 347-365) near the heme group and maintained stable binding throughout MD simulation metadynamics results further indicated a reduction in the free energy barrier associated with substrate access to the active site in the presence of both ligands. This lowered energetic barrier may facilitate improved $H_2O_2$ accessibility to the catalytic site, potentially enhancing catalase efficiency. Consequently, these findings suggest that both ligands may act as potential catalase activators and highlight the need for further experimental validation.

**Keywords:** Catalase activation, Molecular docking, Molecular dynamics, Metadynamics, Oxidative stress

# BİSFENOL A İKAMELERİNİN ZEBRABALIKLARI (DANIO RERIO) ÜZERİNDEKİ TOKSİK ETKİLERİ: GÜNCEL LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

# TOXIC EFFECTS OF BISPHENOL A SUBSTITUTES ON ZEBRAFISH (DANIO RERIO): AN EVALUATION OF CURRENT LITERATURE

Yüksek Lisans Öğrencisi Emine Nur ERDEM
Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye
eminenur035@gmail.com - ORCID: 0009-0001-1976-7354

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye
saltuk@atauni.edu.tr - ORCID: 0000-0003-1808-5041

## ÖZET

Bu derlemenin amacı, yaygın endokrin bozucu kimyasallar olan Bisfenol A (BPA) ve yapısal türevlerinin [Bisfenol F (BPF), Bisfenol S (BPS), Bisfenol AF (BPAF), Bisfenol G (BPG) ve diğerleri] zebrabalığı (*Danio rerio*) üzerindeki toksik etkilerini güncel literatür kapsamında karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Akut toksisite açısından 96 saatlik $LC_{50}$ değerleri karşılaştırıldığında, toksisite sırası BPAF (1,95 mg/L) > BPA (10,43 mg/L) > BPF (19,59 mg/L) >> BPS (>50 mg/L) olarak belirlenmiştir. Gelişimsel toksisite açısından BPAF ve BPF; embriyo çıkışını inhibe etmiş, kalp hızını düşürmüş ve yolk kesesi ödemi, perikardial ödem ile omurga deformasyonu gibi teratojenik bulgulara yol açmıştır. Östrojenik aktivite sıralaması BPAF > BPA > BPF > BPS biçiminde saptanmış; zebrabalığı östrojen reseptörü alt tiplerinden zfERβ2'nin en yüksek bağlanma kapasitesine sahip alt tip olduğu ve BPAF'ın 0,02 mg/L gibi çevresel olarak gerçekçi konsantrasyonlarda bile ERα protein düzeyini artırdığı gösterilmiştir. Üreme sistemi üzerinde erkek zebrabalıklarının dişilere kıyasla daha yüksek duyarlılık sergilediği belirlenmiş; BPA, BPAF, BPF ve BPS maruziyeti vitellogenin üretimini artırmış, gonadosomatik indeksi ve testosteron konsantrasyonunu düşürmüş, HPG ekseni gen ekspresyonunu bozmuştur. Tiroid endokrin bozulması açısından BPF ve BPS, BPA'dan 5–25 kat daha düşük konsantrasyonlarda T4 düşüşü ve TSH artışına neden olmuş; BPS'nin 1 µg/L gibi çevresel düzeylerde tiroid etkisini tetiklediği belgelenmiştir. Nörodavranışsal toksisite sırası BPAF > BPG > BPF > BPS > BPA olarak belirlenmiş; oksidatif stres, nörotransmitter bozulması (dopamin, serotonin, GABA) ve nörogelişim genlerinin disregülasyonu temel mekanizmalar olarak tanımlanmıştır. Bağırsak-beyin ekseni bağlamında, BPG'nin 0,5 µg/L gibi çevresel konsantrasyonlarda 22 nörotransmitteri etkileyerek TNFα-tripsin-EEC yolağı üzerinden nöroendokrin sistemi bozduğu; BPAF'ın ise vagal sinir uzamasını %48–61 oranında inhibe ettiği saptanmıştır. Transgenerasyonel analizler, BPS'ye maruz ebeveynlerin yavrularında sosyal davranış bozukluğu ve tiroid hormon dengesizliği geliştiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak BPA türevlerinin, düşük akut toksisite profiline sahip BPS dahil, birden fazla fizyolojik sistem üzerinde BPA ile benzer ya da daha şiddetli endokrin bozucu

etkiler oluşturduğu; bu nedenle BPA alternatifleri için kapsamlı toksikolojik güvenlik değerlendirmesinin zorunlu olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bisfenol A Türevleri, Danio rerio, Endokrin Bozucu, Nörotoksisite, Üreme Toksisitesi, Tiroid Bozucu Etki.

# FARKLI KÜKÜRT UYGULAMALARININ SULANAN VE SULANMAYAN KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN KARABURUN NERGİSİNDE (*Narcissus tazetta* L.) VERİM, ÇİÇEK ÖZELLİKLERİ ve TOPRAK REAKSİYONUNA ETKİLERİ

**Ziraat Mühendisi İrfan Umur BATI**
Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD, Yüksek Lisans Öğrencisi
iumurb3435@gmail.com - ORCID ID: 0000-0004-6037-5717

**Doç. Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU**
Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü
emrah.zeybekoglu@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9125-5049

## ÖZET

İzmir'in Karaburun ilçesi ve çevresinde nergis ekonomik açıdan önemli bir süs bitkisidir. Alkali toprak özelliklerinin yaygın olduğu bölgede, sulanarak veya sulanmadan sadece yağışa dayalı olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bitki gelişiminde önemli etkiye sahip olan toprak pH değerinin düzenlenmesinde, sulama önemli bir faktördür. Nergiste sulama yapılan ve yapılmayan koşullarda pH değerinin düzenlenmesine yönelik bilimsel çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, alkali toprakların yaygın olduğu İzmir ili Karaburun–Mordoğan yarımadasında, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Mordoğan Araştırma ve Üretim İstasyonu'nda yürütülmüştür. Çalışmada, sulamalı ve sulama gerçekleştirilmeyen yetiştiricilik sistemlerinde, dikim öncesi toprağa toz kükürt ve bentonit yoluyla dekara 0 kg/da (kontrol), 37.5 kg/da ve 75 kg/da dozlarında gerçekleştirilen kükürt uygulamalarının toprak reaksiyonu ve nergis gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulamaların toprak reaksiyonu, çiçeklenme zamanı, çiçek kalitesi ve soğan verimi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bulguların, Mordoğan ve benzer agroekolojik özelliklere sahip, nergis yetiştiriciliği yapılan Akdeniz Bölgesi'nde de kesme çiçek nergis yetiştiriciliği açısından yol gösterici olabileceği değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Karaburun Nergisi (*Narcissus tazetta*), sulamalı, susuz, toprak, pH, kükürt uygulamaları

# The Role of Food Safety Perceptions in Consumer Purchasing Decisions in Africa

**Abdullahi Mohamed Jisow**

**Isparta University of Applied Sciences**

abdullahijisow32@gmail.com – https://orcid.org/0009-0008-1476-928X

## ABSTRACT

Food safety has become an increasingly important concern in African food systems due to rapid urbanization, expanding informal food markets, changing consumer preferences, and persistent challenges related to food quality control. As consumers become more aware of foodborne risks, food safety perceptions have emerged as a significant factor influencing purchasing decisions. This study examines the role of food safety perceptions in shaping consumer purchasing behavior in Africa through a systematic review of existing literature. The study adopts a qualitative research approach based on a systematic literature review of peer-reviewed journal articles and institutional reports published between 2015 and 2025. Relevant studies were identified through major academic databases and analyzed using thematic analysis. The findings reveal that food safety risk perception, consumer trust, socio-economic characteristics, food certification and labeling, and the prevalence of informal food markets are the primary factors influencing purchasing decisions. The review further demonstrates that consumers who perceive higher food safety risks are more likely to avoid certain products and vendors, while trust and certification mechanisms play an important role in reducing uncertainty. In addition, education, income, and access to information significantly influence consumers' awareness and food purchasing behavior. Despite increasing awareness of food safety issues, affordability and accessibility continue to drive food purchases in informal markets. The study concludes that strengthening food safety governance, improving consumer awareness, enhancing certification systems, and upgrading food safety standards within informal markets are essential for improving consumer confidence and promoting safer food consumption across Africa. The findings contribute to the growing literature on food safety and consumer behavior and provide valuable insights for policymakers, researchers, and food system stakeholders.

**Keywords:** Food safety perception; Consumer behavior; Purchasing decisions; Food safety risk; Africa; Food certification.

# Barriers to Digital Agriculture Adoption among Smallholder Farmers in Africa

**Abdullahi Mohamed Jisow**

**Isparta University of Applied Sciences**

abdullahijisow32@gmail.com – https://orcid.org/0009-0008-1476-928X

## ABSTRACT

Digital agriculture has the ability to boost smallholder farmers' productivity and access to markets, while also increasing their climate resilience, especially in Africa. Still, adoption remains critically low. This study provides a systematic literature review of the barriers preventing smallholder farmers in Africa from adopting digital agriculture technologies. Using a descriptive research approach, the study reviews the published (between 2015 to 2025) peer-reviewed articles, reports from institutions, and policies, found on Google Scholar, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect. In total, five interrelated obstacles were identified through thematic and descriptive analyses: economic barriers (high costs of data and smartphones, subscriptions, and limited credit access), barriers of digital literacy and knowledge (lack of ICT skills, unavailability of training, and inadequate proficiency in the ICT language), infrastructure barriers (poor internet, unstable mobile networks, and unreliable power supply), the gaps in institutions and policy (poor extension systems and lack of national digital agriculture policy), and barriers in the socio-cultural arena (age, gender inequality, education). The data suggests that the obstacles are mutually enforcing, and technology adoption cannot progress until they are overcome. To remove the obstacles would require multiple integrated policies to develop the infrastructure in rural areas, and to make digital devices and data more affordable. In addition, an integrated digital extension service and national digital agriculture policy are necessary. The failure to integrate these policies will perpetuate underperforming agriculture and rural vulnerability in Africa.

**Keywords :** Digital agriculture; smallholder farmers; Africa

# TÜRKİYE'DE DAİMİ NEZARETÇİLERİN MADEN İŞLETMELERİNDE BİLGİSAYAR YAZILIMLARINI KULLANMA SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

**Dr. Furkan Kerem KASA**
Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü,
furkankasa@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0001-8144-1112

**Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ**
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
tdyildiz@atu.edu.tr,
ORCID ID: 0000-0003-4043-2257

**Maden yüksek mühendisi Murat MARAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
murat.maral.10@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-4066-419X

## ÖZET

Madencilik sektöründe artan hammadde ihtiyacı, gelişen teknoloji, iş sağlığı ve güvenliği gerekliliklerinin yükselmesi ve ekonomik olarak işletilebilir cevher tenörlerinin giderek düşmesi; maden işletmelerinin verimliliği, üretim güvenliği ve ekonomik kayıpların minimize edilmesini daha kritik bir duruma getirmiştir. Bu süreçte bilgisayar destekli madencilik yazılımlarının kullanımı, mühendislik kararlarının doğruluğunu artıran ve işletme performansını doğrudan etkileyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de maden mühendislerinin işletmelerinde bilgisayar destekli madencilik yazılımlarını kullanımlarının ne seviyede olduğunun tespit edilmesi amacıyla 235 daimi nezaretçiye SurveyMonkey anket programı aracılığıyla bir anket gerçekleştirilmiştir. Çalıştıkları maden işletmelerinde daimi nezaretçi olmalarının yanı sıra işveren vekilliği, işletme yöneticiliği, iş güvenliği uzmanlığı gibi farklı görevler yapmakta olan maden mühendislerinin Netpro Mine - NetCad, Surpac, Micromine, Vulcan, Datamine, Minesight gibi maden tasarım bilgisayar programlarını kullanım düzeyleri analiz edilmiştir. Bu analiz bir mühendis olarak cinsiyet,

nezaretçi görevleri ve maden işletme yöntemleri farklılıklarına göre yapılmıştır. Bu sayede açık ocak ile yer altı maden işletme yöntemi farklılıklarına göre çeşitli risk gruplarını barındıran maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliğinin korunması ve optimum üretim planlamasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Sonuçlar, ankete katılanların yaklaşık %10'unu oluşturan ve yerüstü maden işletmelerinde görev alan kadınların %15'inin madencilik yazılımlarını iyi kullandıkları, ancak %60'ının ise bu programlara henüz hâkim olamadıkları tespit edilmiştir. Erkek kullanıcılarda ise yaklaşık %20'lik bir dilimin bir yazılımı iyi derecede bildiği, orta ve iyi derece bilenlerin ise %45'lik dilimi oluşturduğu, Hiç bilmeyen ve az derece bilenlerin ise %10'luk kısmı oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alınarak maden işletmelerinin ve MAPEG'in, maden mühendislerine söz konusu yazılımların kullanımı konusunda eğitim desteği vermesi önerilir. Verilecek eğitimlerde belli bölgelerdeki maden işletme yöntemlerinin, işletme koşullarının, İSG tehlikelerinin ve maden cinslerinin dikkate alınmasında fayda var.

**Anahtar Kelimeler:** İş sağlığı ve güvenliği, Maden mühendisi, Maden mühendislerinin eğitimi, Micromine, Surpac.

## MEASURING THE LEVEL OF COMPUTER SOFTWARE USE BY PERMANENT SUPERVISORS IN MINING OPERATIONS IN TURKEY

### ABSTRACT

The increasing demand for raw materials in the mining sector, technological advances, rising occupational health and safety (OHS) requirements, and the continuous decline in economically viable ore grades have made efficiency, production safety, and the minimization of economic losses in mining operations increasingly critical. In this context, the use of computer-aided mining software is an important factor that improves the accuracy of engineering decisions and directly affects operational performance. This study aims to assess the extent to which computer-aided mining software is used by mining engineers in mining operations in Turkey. For this purpose, a SurveyMonkey questionnaire was conducted with 235 permanent supervisors. The usage levels of mining design software packages, including Netpro Mine–NetCad, Surpac, Micromine, Vulcan, Datamine, and MineSight, were analyzed among mining engineers who, in addition to their permanent supervisor duties, also hold various positions such

as employer representative, operations manager, and occupational safety specialist in the mining operations where they work. The analysis was carried out according to gender, supervisor roles, and differences in mining operation methods. This study also aims to contribute to the improvement of OHS practices and optimal production planning in mining operations, which involve different risk groups depending on whether open-pit or underground mining methods are applied. The results show that 15% of female participants, who constitute ~10% of the survey participants and work in surface mining operations, are proficient in using mining software, while 60% are not yet proficient. Among male participants, ~20% have a good command of the software, 45% have a moderate to good command, and 10% have little or no knowledge. Based on these results, it is recommended that mining companies and MAPEG provide training support for mining engineers in the use of these software packages. In such training programs, it would be beneficial to consider mining methods, operating conditions, occupational health and safety hazards, and the types of minerals specific to different regions.

**Keywords:** Occupational health and safety, Mining engineer, Training of mining engineers, Micromine, Surpac.

# DETECTING AI-GENERATED ACADEMIC FIGURES USING TRANSFER LEARNING WITH A CONVNEXT-BASED BINARY CLASSIFICATION APPROACH

**Ayca Bostancioglu**
Firat University,
aycabostancioglu@gmail.com - 0009-0009-2496-3753

**Assoc. Prof. Dr. Bihter Das**
Firat University,
bihterdas@firat.edu.tr - 0000-0002-2498-3297

## ABSTRACT

With the rapid adoption and expansion of generative AI tools for creating academic-related materials, there is an increasing need to determine the origins of visual representations, such as flowcharts and methodological diagrams. This research presents a transfer-learning-based binary image classification system designed to automatically determine whether a flowchart-style diagram was generated by a human or by a generative AI tool. In this study, a balanced image dataset consisting of 204 images per class was created. The dataset included human-created academic diagrams produced by an academic researcher for the flowchart research study, as well as AI-generated flowcharts created using ChatGPT, Gemini, and Claude. The proposed model is based on a ConvNeXt-Tiny backbone pre-trained on ImageNet-22k and was trained using a two-stage strategy consisting of head warming followed by full end-to-end fine-tuning. Regularization techniques employed during training included mixup augmentation, label smoothing, a cosine learning-rate schedule, and an early stopping mechanism. The final model achieved an overall classification accuracy of 98.39%, a macro F1-score of 98.39%, and an ROC-AUC score of 0.9958 on the validation set containing 62 images, with only one image being incorrectly classified. The proposed architecture demonstrated competitive performance compared with eight benchmark architectures (ConvNeXt-Tiny, Swin Transformer, ViT, EfficientNet, DenseNet, ResNet, and MobileNet), achieving comparable classification accuracy while maintaining relatively low computational cost.
**Keywords:** AI-generated image detection, ConvNeXt-Tiny, transfer learning, academic integrity, binary classification

## 1. INTRODUCTION

Advances in generative artificial intelligence (GAI) systems in recent years, particularly with the widespread adoption of large language models (LLMs) and multimodal generation systems, have significantly transformed academic content creation processes [1]. Initially used

extensively for text generation and natural language processing tasks, these systems are now also being effectively utilised for visually-oriented tasks such as diagram generation, process modelling, methodology diagrams and academic visual design. In particular, thanks to the integration of generative systems such as ChatGPT, Gemini and Claude, academic flowcharts, system architectures and process diagrams can be created quickly and with high visual consistency [2]. Whilst this transformation boosts academic productivity, it also brings with it new verification challenges regarding the provenance of content. Determining whether figures in academic documents were created manually by humans or generated by GPT systems is of critical importance in terms of academic integrity, transparency, copyright management and content reliability. However, as modern generative models produce increasingly realistic outputs in terms of layout symmetry, typographic integrity, geometric alignment and visual composition, it is becoming increasingly difficult to distinguish between human-generated and GPT-generated academic diagrams through visual inspection alone [3].

Although significant progress has been made in the fields of computer vision and deep learning regarding visual classification, anomaly detection and source attribution, the analysis of the origins of academic flowcharts remains an under-researched area. Whilst existing studies largely focus on identifying AI-generated text, methods for classifying visual content—particularly academic diagrams—remain limited. However, AI-generated images often exhibit specific visual artefacts, layout patterns, object alignment behaviours and typographical consistency; these patterns can provide learnable discriminative signals through appropriate feature representations. In this context, the adaptation of pre-trained deep neural networks via transfer learning emerges as a promising approach, as it can achieve high generalisation performance on limited datasets [4].

### 1.1. Problem statement

Although significant progress has been made in the fields of computer vision and deep learning regarding visual classification, anomaly detection and source attribution, the analysis of the origins of academic flowcharts remains an under-researched area [5]. Whilst existing studies largely focus on identifying AI-generated text, methods for classifying visual content—particularly academic diagrams—remain limited. However, AI-generated images often exhibit specific visual artefacts, layout patterns, object alignment behaviours and typographical consistency; these patterns can provide learnable discriminative signals through appropriate feature representations. In this context, the adaptation of pre-trained deep neural networks via transfer learning emerges as a promising approach, as it can achieve high generalisation performance on limited datasets [6].

The widespread adoption of generative AI tools in academic content creation has made it possible to rapidly generate flowcharts and methodological diagrams; however, this has turned the task of determining the origin of these visuals into a significant research problem. As AI-generated and human-produced outputs in academic visuals often share similar layouts, symmetry, typography and visual patterns, the manual classification process is subjective, time-

consuming and prone to error. Whilst existing literature on AI detection studies largely focuses on text generation, deep learning-based methods for analysing the visual origins of academic flowcharts remain limited. Furthermore, the continuous evolution of AI models and changes in their generation characteristics bring about generalisation and domain adaptation problems in traditional feature engineering-based approaches. The lack of a reliable and scalable automatic classification mechanism has increased the need for new decision support systems in academic integrity, content verification and higher education quality assurance processes [7]. Accordingly, this study aims to develop a transfer learning-based visual classification approach capable of automatically distinguishing between AI-generated and human-generated content in academic flowcharts [8].

### 1.2. Main contributions

This research presents a deep learning-based solution for the origin analysis of academic flowcharts and provides a comparative assessment of the distinctive performance of different architectures. The main contributions of the study are summarised below:

- A balanced dataset was created comprising GAI-generated flowcharts obtained from tools such as ChatGPT, Gemini and Claude, alongside human-prepared academic flowcharts.
- As part of a transfer learning approach, pre-trained deep backbone architectures were adapted to the binary image classification problem, and an end-to-end fine-tuning strategy was applied.
- Eight different architectures—including ConvNeXt, Swin Transformer, Vision Transformer (ViT), EfficientNet, DenseNet, ResNet and MobileNet—were compared under the same data split and hyperparameter protocol.
- Model performance was analysed multidimensionally using accuracy, macro-F1, ROC-AUC and Average Precision metrics; inter-class discriminative power was quantitatively evaluated.
- The experimental results demonstrate that the proposed approach can achieve high-accuracy GAI–human classification in academic workflow scenarios and can be utilised as a decision-support component in thesis/paper review processes.

### 1.3. Literature review

The integration of generative AI tools into academic writing processes has accelerated text-based detection efforts; however, the fact that these same tools generate diagrams, flowcharts and methodological visuals creates a gap that has not yet been adequately addressed on the visual front. Haider et al. [16] demonstrated that suspicious publications generated by ChatGPT and mimicking scientific writing are circulating in policy-sensitive fields such as the environment, health and information technology; they emphasised that this situation could lead to the manipulation of the evidence base. Flitcroft et al. [14], however, reported that AI content detectors used in scientific articles can identify text entirely generated by AI with an average probability of 43.5%; conversely, they noted that human-written articles can also be mistakenly labelled as AI-generated. Cardenuto et al. [15], by tracking the reuse and manipulation of

images in fake publications originating from 'paper mills' through provenance analysis, demonstrated that the automatic analysis of academic figures is a critical component in scientific integrity checks. The detection of AI-generated content and images has, in recent years, emerged as a rapidly developing field within the computer vision literature. Lin et al. [9] systematically classified methods, datasets and evaluation metrics for the detection of multimedia content (text, images, audio, video) generated by large artificial intelligence models; they identified the generalisation problem across generative models as the primary challenge for existing detectors. Mahara and Rishe [17] compared spatial, frequency, fingerprint, patch-based and multi-modal frameworks in the forensic analysis of synthetic images; they noted that detectors remain fragile in the face of changes in generative models. Corvi et al. [12] experimentally demonstrated that synthetic images generated by diffusion models leave different forensic traces compared to GAN-based detectors, and that detection becomes more difficult in social media scenarios involving compression and resizing. Zhu et al. [11] presented the GenImage dataset, containing over one million real–fake image pairs; they reported that the performance of existing detectors drops significantly in the cross-generator classification task. Karageorgiou et al. [13] demonstrated that the spectral distribution of real images forms a generator-agnostic discriminative pattern; using the SPAI method presented at CVPR 2025, they achieved an absolute 5.5% AUC improvement over the previous best method against 13 different generators. Transfer learning and pre-trained backbone architectures are widely adopted in this field due to their ability to provide high discriminative power with limited labelled data. Liu et al. [10] reported that the ConvNeXt family, which they developed by modernising ResNet, could compete with the Swin Transformer despite consisting solely of standard convolutional modules; it achieved 87.8% accuracy on ImageNet and strong results on COCO/ADE20K. Comparative studies in the literature demonstrate that architectural choice directly influences detection performance: it has been reported that the Swin Transformer provides better generalisation against unseen generators thanks to its global attention mechanism; ResNet-50 retains an advantage in terms of computational efficiency; whilst lightweight models such as MobileNetV3 lag behind in the accuracy–speed trade-off [9][17]. However, the vast majority of existing studies focus on photorealistic portraits, nature images or social media content; the comparative performance of the same architectures for images containing structured, typographic and geometric components—such as academic flowcharts generated by tools like ChatGPT, Gemini and Claude—has not yet been sufficiently investigated.

## 2. EXPERIMENTAL STUDIES

This section provides a detailed overview of all the components of the deep learning-based system developed for the automatic classification of GAI–human-generated flow charts.

### 2.1. Dataset collection

In this study, a novel binary image classification dataset has been created for the GAI–human classification task. The dataset consists of two sub-classes: (i) the AI class — flowchart images compiled from the output of large language model-powered generation tools such as ChatGPT, Gemini and Claude; (ii) the human class — flowcharts drawn by hand by researchers. During

the data collection process, care was taken to preserve the stylistic diversity of both classes; images obtained from different resolutions, colour palettes and drawing tools were included [18].

A total of N = 408 images were used, and a perfect balance between the classes ($n_{ai} = n_{human} = 204$) was maintained. To prevent class imbalance from adversely affecting performance metrics, the splitting process was carried out using stratified random sampling [19]. The random seed value s was fixed at 42; this ensured the reproducibility of the results [20]. A validation rate of $p_{val} = 0,15$ was selected, resulting in $|D_{train}| = 346$ (173 per class) and $|D_{val}| = 62$ (31 per class). As shown in Figure 1, the splitting statistics and sample counts per class are summarised in Table 1.

**Table 1.** Dataset and split summary.

| Parameter | Value |
|---|---|
| **Total samples (N)** | 408 |
| **AI class (ai)** | 204 |
| **Human class (human)** | 204 |
| **Training set \|D_train\|** | 346 (%84,8) |
| **Validation set \|D_val\|** | 62 (%15,2) |
| **Image resolution** | 256 × 256 pixels |
| **Color space** | RGB (3 channels) |
| **Random seed** | 42 |

## 2.2. Data preprocessing and augmentation

Overfitting in deep neural networks is a serious problem when training on small datasets. To mitigate this risk, a comprehensive data augmentation pipeline specific to the training phase has been designed [21]. The algorithmic details are presented in Algorithm 1, and each transformation has been carefully adjusted so as not to compromise the stylistic features of the diagram images (white margins, black-and-white lines).

The training pipeline comprises the following steps in sequence: First, RandomResizedCrop (scale range $s \in [smin, 1.0] = [0.72, 1.0]$, aspect ratio $\in [0.82, 1.18]$) is used to introduce both cropping and scaling variability. This is followed by a horizontal flip (RandomHorizontalFlip) with a probability of $p = 0.5$, random rotation within an angle range of ±10°, and a mild affine transformation (translation, scaling, shearing) with a probability of $p = 0.12$. For colour space variability, ColorJitter (luminance/contrast $\Delta = 0.12$; hue $\Delta = 0.06$; saturation $\Delta = 0.04$) and RandomGrayscale with a probability of $p = 0.25$ are applied. To simulate visual quality

degradation, GaussianBlur ($\sigma \in [0.12; 1.45]$) is used with a probability of $p = 0.1$ [22]. Finally, RandomErasing, applied with a probability of $p = 0.12$, reduces the network's dependence on

specific pixel locations by randomly setting local regions to zero. In Algorithm 1, however, only resizing, centred cropping and normalisation are applied during the validation and testing phases.

**Algorithm 1.** Training data augmentation pipeline.

| |
|---|
| Input : Raw image x ∈ R^(H×W×3) |
| Output: Augmented tensor x̃ ∈ R^(256×256×3) |
| 1: x ← RandomResizedCrop(x, scale=[0.72, 1.0], ratio=[0.82, 1.18]) |
| 2: x ← RandomHorizontalFlip(x, p=0.5) |
| 3: x ← RandomRotation(x, θ ∈ [−10°, +10°], fill=white) |
| 4: if Bernoulli(0.12): x ← RandomAffine(x, deg=5°, translate=0.055) |
| 5: x ← ColorJitter(x, bcs=0.12, hue=0.06, sat=0.04) |
| 6: if Bernoulli(0.12): x ← AutoContrast(x) |
| 7: if Bernoulli(0.15): x ← AdjustSharpness(x, factor=1.65) |
| 8: if Bernoulli(0.25): x ← Grayscale(x) // color invariance |
| 9: if Bernoulli(0.10): x ← GaussianBlur(x, σ∈[0.12, 1.45]) |
| 10: x ← ToTensor(x) |
| 11: if Bernoulli(0.12): x ← RandomErasing(x, scale=[0.025, 0.18]) |
| 12: x ← Normalize(x, μ=[0.485,0.456,0.406], σ=[0.229,0.224,0.225]) |
| *13: // Mixup (mini-batch level, see Eq. 9):* |
| 14: λ ~ Beta(0.15, 0.15); idx ← Permutation(batch_size) |
| 15: x̃ ← λ·x + (1−λ)·x[idx]; ỹ ← λ·y + (1−λ)·y[idx] |
| 16: return x̃, ỹ |

The Mixup interpolation transformation is mathematically expressed as follows:

$$\tilde{x} = \lambda x_i + (1-\lambda) x_j, \quad \tilde{y} = \lambda y_i + (1-\lambda) y_j, \quad \lambda \sim \text{Beta}(\alpha, \alpha) \qquad \textbf{(1)}$$

Here, $\alpha = 0.15$, and the value of $\lambda$ is sampled independently from a Beta distribution for each mini-batch.

## 2.3. Model architecture

### 2.3.1. Backbone selection and transfer learning

ConvNeXt-Tiny *(convnext_tiny.fb_in22k_ft_in1k)* was selected as the backbone network. ConvNeXt is an architecture that modernises the strengths of classical convolutional architectures (ResNet), enabling it to compete with the Vision Transformer (ViT) family [23]. Compared to the ViT-S/16 model included in the backup evaluation, ConvNeXt-Tiny demonstrated better performance on the dataset size of this study (1.8% higher accuracy, 23% shorter training time). The selected weights were pre-trained on ImageNet-22k and subsequently fine-tuned on ImageNet-1k; this strong starting point enhances the effectiveness of transfer learning for small, domain-specific datasets. A new head has been introduced to produce two output logits for binary classification, replacing the original classification head. The head consists of global average pooling (GAP), dropout with a rate of $p_{drop} = 0.10$, and a fully connected linear layer with dimensions $768 \rightarrow 2$.

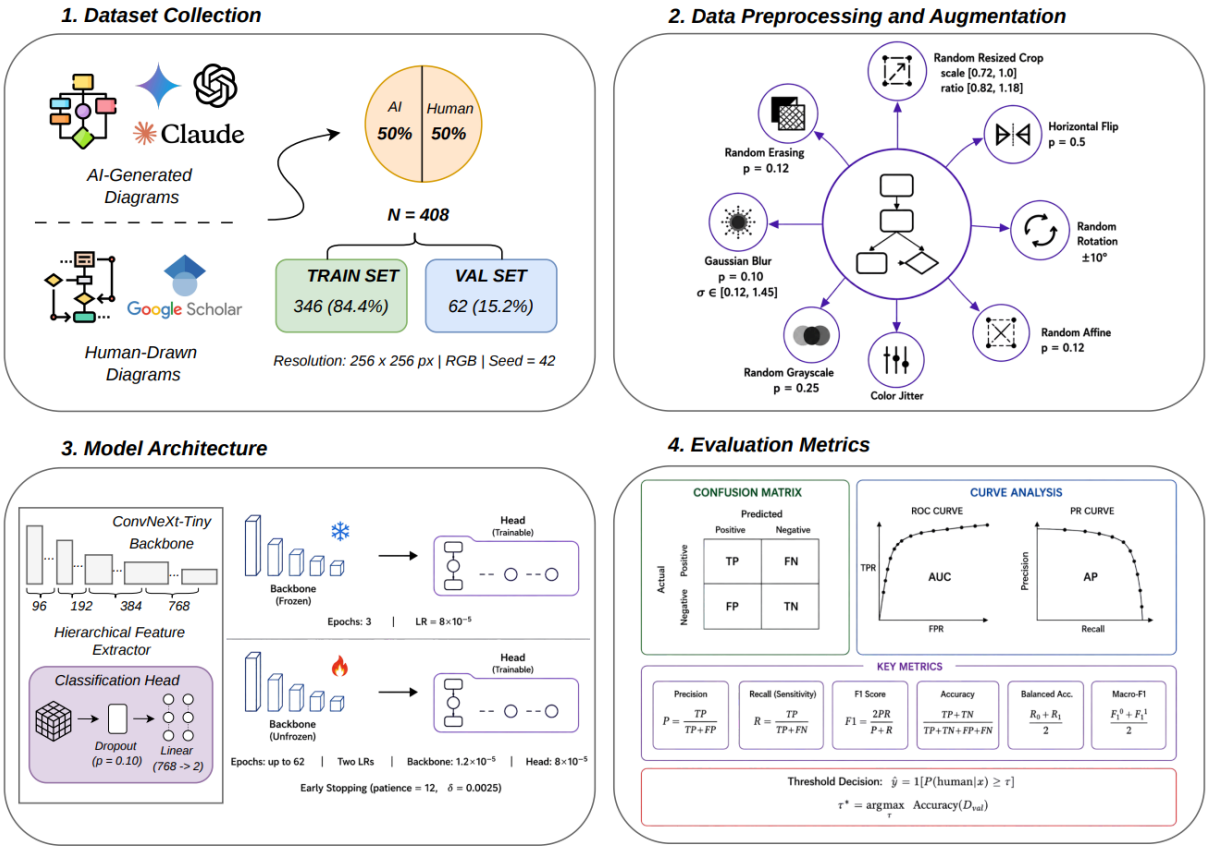



**Figure 1.** Flowchart of the classification model.

### 2.3.2. Two-phase training strategy

The training was carried out in two distinct stages, as detailed in Algorithm 2.

**Stage 1 (Heading Warm-up):** By freezing the backbone layers, only the classification heading was trained for the first $_{freeze}$ = 3 epochs. This strategy prevents the high gradients of the randomly initialised heading from corrupting the pre-trained backbone features.

**Stage 2 (End-to-End Fine-Tuning):** End-to-end fine-tuning was performed for the remaining $_{full}$ = 62 epochs, with all layers unmasked. In this stage, a low learning rate of $\eta \times r_{bb} = 8\times10^{-5} \times 0.15 = 1.2\times10^{-5}$ is applied to the backbone, whilst the classification head is updated with $\eta = 8\times10^{-5}$. This difference enables the head to adapt rapidly to the task whilst the backbone retains its general visual knowledge.

**Algorithm 2.** Two-phase training and early stopping protocol.

```
Input : Model M, D_train, D_val, hyperparameters
Output: Best weights W*, accuracy history H
──────────────────────────────────────────────────────────────
/* PHASE 1: Backbone frozen — head-only training */
Freeze(backbone(M))
opt₁ ← AdamW(head_params, lr=η, wd=λ)
for e = 1 to e_freeze=3 do
    L_train, acc_train ← TrainEpoch(M, D_train, opt₁, mixup=0.15)
    L_val, acc_val, F1_val ← Evaluate(M, D_val, TTA=True)
    if acc_val > best_score:  W* ← M.state_dict()
end for
/* PHASE 2: End-to-end fine-tuning */
Unfreeze(backbone(M))
opt₂ ← AdamW([{backbone, lr=η·r_bb=1.2e-5}, {head, lr=η=8e-5}], wd=λ=0.05)
sch ← CosineAnnealingLR(opt₂, T_max=e_full)
patience_count ← 0;  best_monitor ← −∞
for e = 1 to e_full=62 do
    L_train, acc_train ← TrainEpoch(M, D_train, opt₂, mixup=0.15, EMA)
    L_val, acc_val, F1_val, BAcc_val ← Evaluate(M, D_val, TTA=True)
    sch.step()
    if acc_val > best_score:  W* ← M.state_dict();  best_score ← acc_val
    // Early Stopping (see Algorithm 3):
    if EarlyStop(acc_val, patience=12, δ=0.0025): break
end for
M.load_state_dict(W*)
return M, H
```

### 2.3.3. Optimisation and regularization

The AdamW algorithm was used for optimisation. AdamW combines Adam's momentum-based adaptive learning rate update with decoupled weight decay. The parameter update rule is given in Equation (2):

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \left[\hat{m}_t / (\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon) + \lambda\, \theta_t\right] \qquad \textbf{(2)}$$

Here, mt and vt are the first and second moment estimates, respectively, and $\varepsilon = 10^{-8}$ is the numerical stability term. The weight decay parameter $\lambda$ has been set to 0.05 and the learning rate $\eta$ to $8\times10^{-5}$.

Cosine annealing (CosineAnnealingLR) has been selected for the learning rate schedule. As expressed in Equation (3), the learning rate decreases uniformly towards the minimum $\eta$min = 0:

$$\eta_t = \eta_min + \tfrac{1}{2}(\eta - \eta_min)(1 + \cos(\pi\, t / T_max)) \qquad \textbf{(3)}$$

This timing supports convergence towards flat minima rather than sharp minima towards the end of the training process.

Gradient clipping has been applied to prevent exploding gradients and stabilise training; the maximum L2-norm $\|g\|$max has been set to 1.0:

$$g \leftarrow g \cdot \min(1, \|g\|_max / \|g\|_2) \quad \text{if } \|g\|_2 > \|g\|_max \qquad \textbf{(4)}$$

With label smoothing, the model distributes a probability of $\varepsilon = 0.06$ to the other class, rather than assigning a full probability (1.0) to the target class. This approach improves calibration quality by preventing the network from making overconfident predictions.

Finally, a more stable validation accuracy is achieved using the **EMA** (Exponential Moving Average, with a decay rate $\rho = 0.9995$) technique:

$$\bar{W}_t = \rho \cdot \bar{W}_{t-1} + (1 - \rho) \cdot W_t \qquad \textbf{(5)}$$

Overall, the combination of AdamW optimisation, cosine annealing, gradient clipping, label smoothing, and EMA forms a comprehensive training strategy that enhances both optimisation efficiency and model generalisation. AdamW enables adaptive parameter updates while controlling model complexity through decoupled weight decay, whereas cosine annealing gradually reduces the learning rate to encourage convergence towards flatter minima associated with better generalisation. Gradient clipping mitigates the risk of unstable updates caused by large gradient magnitudes, and label smoothing improves calibration quality by preventing excessive confidence in class predictions. In addition, EMA produces a smoothed version of the model parameters that is less sensitive to short-term fluctuations during training. Together, these mechanisms improve numerical stability, reduce overfitting, and promote more reliable performance on previously unseen samples, thereby increasing the robustness and practical applicability of the proposed approach.

**Table 2.** Key hyperparameters and selection rationale.

| Hyperparameter | Value | Selection Rationale |
|---|---|---|
| **Backbone** | ConvNeXt-Tiny | +1.8% accuracy vs ViT-S/16, 23% faster training |
| **Pre-training data** | IN-22k→IN-1k | Strong generic visual feature transfer |
| **Mini-batch size** | 8 | GPU memory constraint; small batch provides implicit regularization |
| **Max epochs** | 65 | Early stopping typically triggers before the limit |
| **Frozen epochs (e_freeze)** | 3 | Head warm-up: prevents backbone feature degradation |
| **Learning rate (η)** | $8 \times 10^{-5}$ | Selected by grid search over {5e-5, 8e-5, 1e-4} |
| **Weight decay (λ)** | 0,05 | AdamW decoupled regularization |
| **Mixup α** | 0,15 | Decision boundary smoothing is suited for small datasets |
| **Label smoothing (ε)** | 0,06 | Prevents overconfident predictions |
| **Stochastic depth (ρ_dp)** | 0,12 | Regularization via stochastic layer dropping |
| **Gradient clipping (‖g‖_max)** | 1,0 | Training stability |
| **EMA decay (ρ_ema)** | 0,9995 | Stable weights for checkpoint selection |
| **Early stopping patience** | 12 epoch | Monitored via val_accuracy; prevents overfitting |

### 2.3.4. Early stopping and checkpoint selection

As formulated in Algorithm 3, the early stopping mechanism is only activated during the end-to-end fine-tuning phase (Phase 2). The monitored metric is val_accuracy, and the patience period is set to P = 12 epochs. Improvements falling below the minimum improvement threshold $\delta = 0.0025$ are ignored, thereby preventing premature triggers caused by minor fluctuations. This configuration allows the model sufficient time to exploit potential optimisation gains while avoiding unnecessary training after performance has plateaued.

Consequently, computational resources are utilised more efficiently and the risk of overfitting to the validation set is reduced.

**Algorithm 3.** Early stopping mechanism.

| |
|---|
| Input : val metric sequence $\{m_e\}$, patience P=12, min_delta $\delta$=0.0025 |
| `Output: stop=True/False` |
| ——— |
| 1: best_m ← −∞; count ← 0 |
| 2: for each new $m_e$ do |
| 3: if $m_e$ > best_m + $\delta$: |
| `4: best_m ← m_e ; count ← 0 // improvement detected` |
| `5: else:` |
| `6: count ← count + 1` |
| `7: if count ≥ P: return stop=True` |
| `8: return stop=False` |

As specified in line 16 of Algorithm 2 regarding model selection, the set of weights with the highest validation accuracy observed during training is saved as the best checkpoint. The checkpoint contains the live weights rather than the EMA weights; EMA was used to smooth the validation metrics. As part of the Test Time Augmentation (TTA), as shown in line 14 of Algorithm 2, each image is presented to the model in both its original and horizontally flipped forms; the average of the softmax logits of the two outputs is used for decision-making:

$$\hat{p} = ½ \cdot [\text{softmax}(f(x)) + \text{softmax}(f(\text{flip}(x)))] \quad \textit{(6)}$$

## 2.4. Evaluation metrics

A set of metrics that is standard in the literature on binary classification was used for performance evaluation. When the elements of the confusion matrix are defined as TP, TN, FP and FN, Precision, Recall and the F1 score for class i are calculated using Equations (7)–(9) respectively:

$$P_i = TP_i / (TP_i + FP_i) \quad \textit{(7)}$$

$$R_i = TP_i / (TP_i + FN_i) \quad \textit{(8)}$$

$$F1_i = 2\, P_i\, R_i / (P_i + R_i) \quad \textit{(9)}$$

Overall classification performance is measured using the Accuracy metric, given by Equation (10), and the Balanced Accuracy metric, given by Equation (11), which is more robust against class imbalance. These metrics provide complementary perspectives on model performance by

evaluating both overall prediction correctness and the ability to classify samples from different classes in a balanced manner.

$$\text{Accuracy} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad \textbf{(10)}$$

$$\text{BAcc} = \tfrac{1}{2}(R_0 + R_1) = \tfrac{1}{2}(TPR + TNR) \quad \textbf{(11)}$$

The macro-average F1 (Equation (12)) assigns equal weights to both classes and, in the event of class imbalance, provides a more informative measure than the weighted average. The area under the ROC curve (AUC, Equation (13)) is a threshold-independent measure of classification performance:

$$F1_macro = \tfrac{1}{2}(F1_0 + F1_1) \quad \textbf{(12)}$$

$$AUC = \int_0^1 TPR(FPR^{-1}(u))\, du \quad \text{(trapezoidal rule)} \quad \textbf{(13)}$$

Average Precision (AP), which is the area under the precision–sensitivity curve, summarises the quality of ranking for the positive class; it is particularly favoured in situations where data imbalance may be an issue. The loss function, labelled-smoothed cross-entropy, is given by Equation (14):

$$L = -\Sigma_k \tilde{y}_k \log(p_k), \quad \tilde{y} = (1-\varepsilon)y + \varepsilon/K, \quad \varepsilon = 0{,}06 \quad \textbf{(14)}$$

During the decision-making stage, the probability of the positive class (human) is compared with the threshold $\tau$ using the $\hat{p}$ output calculated in Algorithm 1. The threshold value $\tau = 0.31$ was determined by maximising accuracy on the validation set:

$$\hat{y} = \mathbb{1}[P(\text{human} \mid x) \geq \tau], \quad \tau^* = \text{argmax}_\{\tau\}\ \text{Accuracy}(D_val) \quad \textbf{(15)}$$

## 3. RESULTS AND EVALUATION

As shown in Table 3, the triple equality Accuracy = BAcc = $F1_{macro}$ = 98.39% confirms the perfect balance between the two classes. The AUC value of 0.9958 indicates that the model is able to distinguish between GAI and human-operated aircraft with good classification performance at every threshold. The fact that the optimal threshold is $\tau^* = 0.31$ (below the default of 0.50) indicates that the model systematically assigns lower probabilities to the human

class; consequently, this highlights the importance of threshold calibration to compensate for this bias.

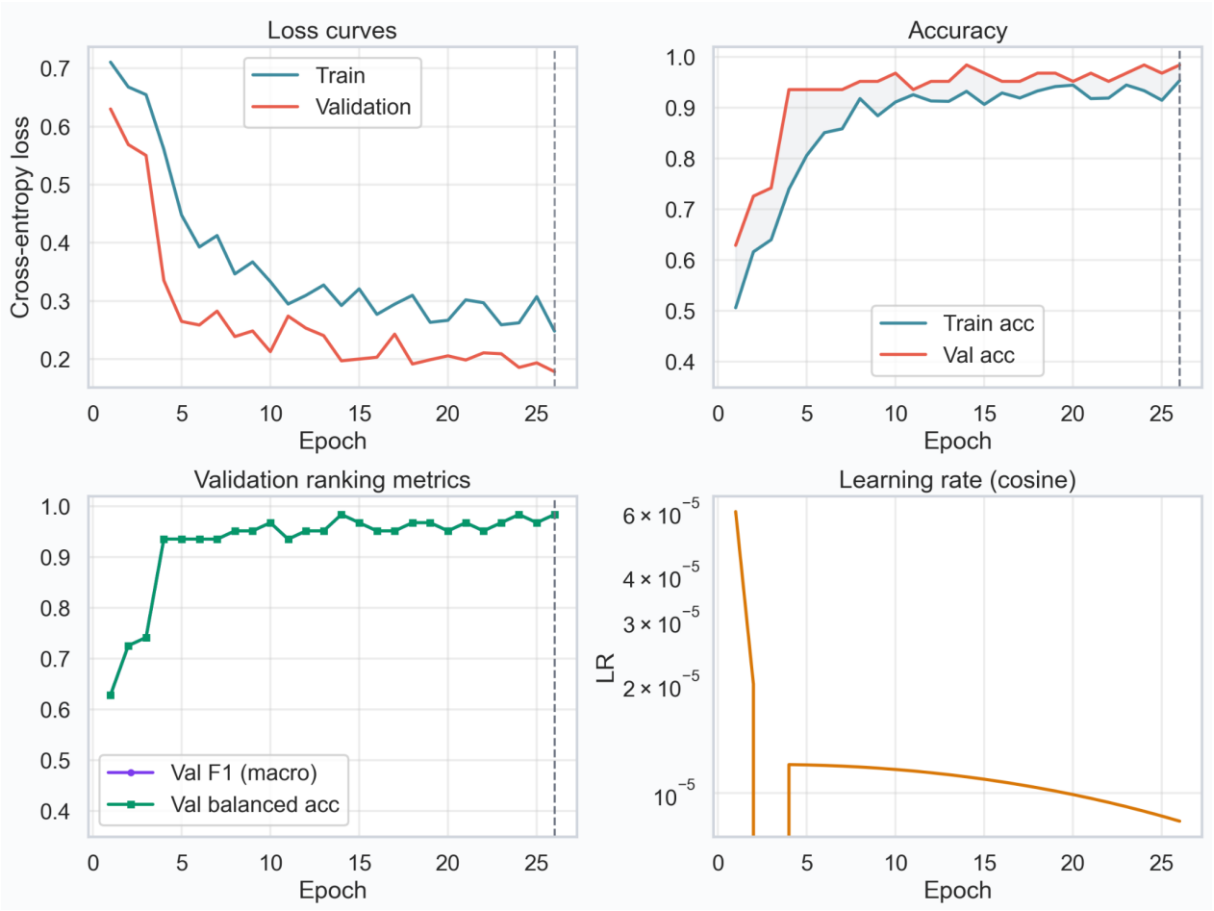



**Figure 2.** Model training and validation performance.

**Table 3.** Overall performance metrics on the validation set ($\tau = 0.31$).

| Metric | Symbol | Value | Equation |
|---|---|---|---|
| **Accuracy** | — | 98.39% | (4) |
| **Balanced Accuracy** | BAcc | 98.39% | (5) |
| **Macro-F1** | F1_macro | 98.39% | (6) |
| **ROC-AUC** | AUC | 0.9958 | (7) |
| **Average Precision** | AP | 0.9958 | — |
| **Optimal Threshold** | $\tau^*$ | 0.31 | (15) |

The training dynamics underpinning this performance are clearly evident in the metric plots presented in Figure 2. Upon examining the learning curves, it can be seen that the cross-entropy loss decreases steadily in both the training and validation sets, and that the model exhibits healthy convergence without falling into overfitting. The learning rate schedule following cosine annealing ensured that the model progressed with more stable steps in the parameter space, particularly following the sharp drop in the early epochs. The fact that the accuracy, balanced accuracy and macro F1 scores for the validation set plateaued above the 90% threshold from the 5th epoch onwards demonstrates that the model successfully achieved high generalisation ability and inter-class balance from the early stages of the training process. The optimal epoch marked by the dashed vertical line confirms that the final metrics presented in Table 3 are not random but rather the result of a controlled and stable training process.

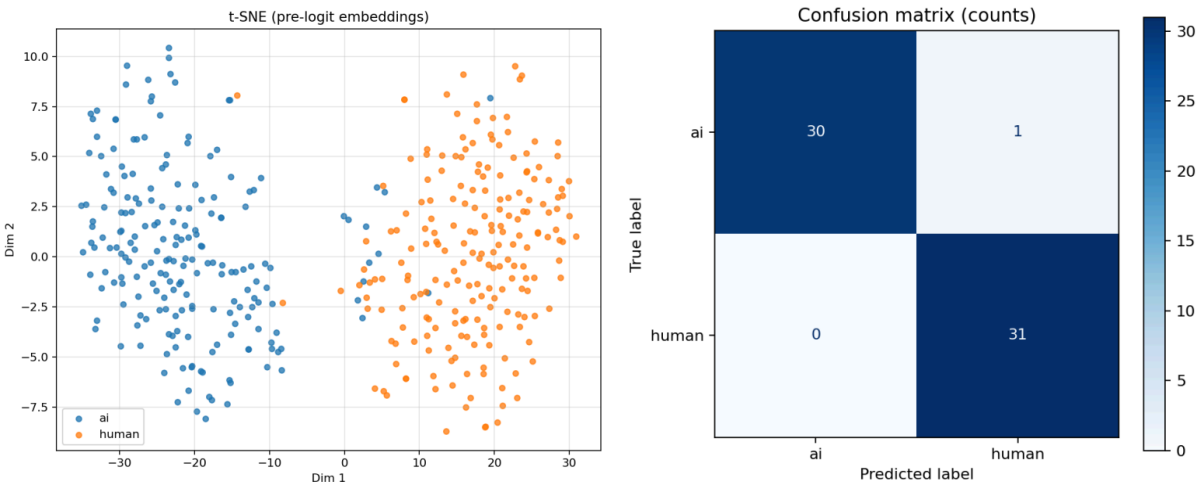



**Figure 3.** Pre-logit embeddings and test-set confusion matrix.

Figure 3 visually confirms that the model demonstrates consistent performance in terms of both representation learning and classification accuracy. The t-SNE projection presented in the left panel shows that the embeddings obtained from the final fully connected layer (pre-logit) form a distinct clustering across classes in a two-dimensional space; whilst embeddings from AI-generated texts are concentrated in the negative Dim 1 region, those from human-written texts form a separate cluster in the positive region. The limited overlap observed in the boundary region can be attributed to the inherent uncertainty between the two text generation paradigms; however, it is clear that this overlap does not significantly compromise the model's overall decision boundary. The confusion matrix in the right-hand panel quantitatively confirms this finding: 61 out of 62 test examples were correctly classified, with only a single AI-generated text incorrectly classified as human writing; no human writing was attributed to AI. This asymmetric error pattern indicates that the model adopts an extremely conservative decision threshold by keeping the false positive rate at zero, highlighting the model's reliability for applications where the erroneous labelling of human-written text as AI-generated is unacceptable.

The effectiveness of the two-stage fine-tuning strategy is clearly evident in Figure 4. During the frozen backbone stage, only the classification head was trained; during this process, the

validation macro F1 score rose from 0.63 to 0.74. Upon transitioning to end-to-end training in the 5th epoch, the F1 score jumped to 0.94 and subsequently plateaued, remaining consistently at ≥0.95 for 27 epochs. This pattern demonstrates that the freezing phase brought the heading weights to a reasonable starting point, whilst the backbone rapidly assimilated task-specific knowledge once the weights were fully released. The limited variance observed in later epochs indicates stable convergence without overfitting, confirming that the chosen two-stage approach is a robust strategy in terms of both training efficiency and generalisation capacity.

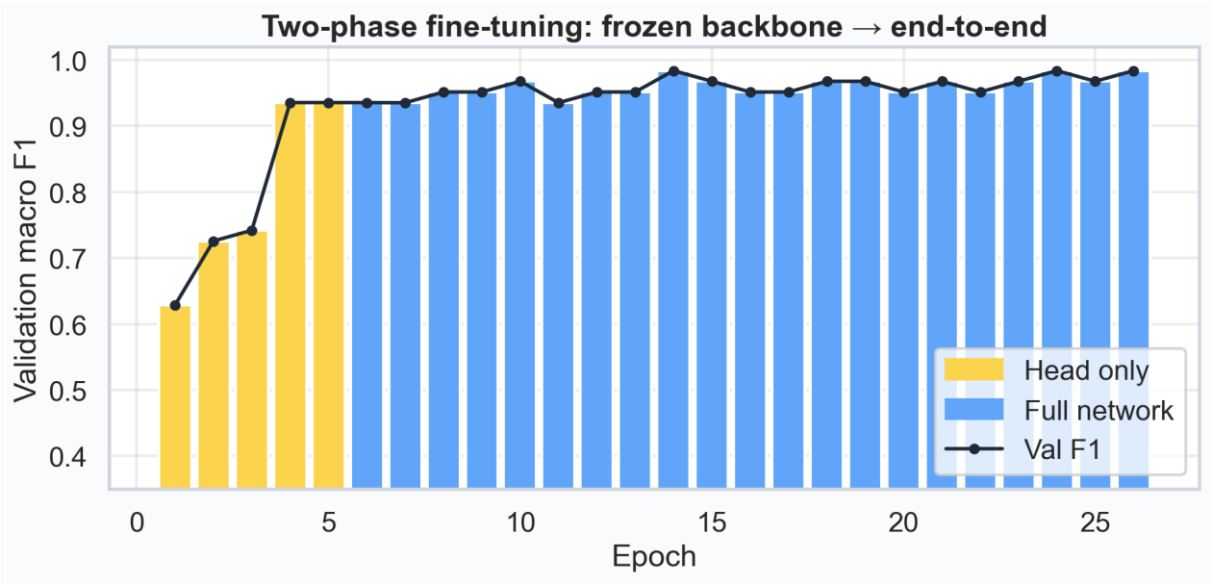



**Figure 4.** Validation macro F1 across frozen-backbone and end-to-end training phases.

Figure 5 presents the comparative benchmark results of the proposed ConvNeXt-Tiny model against eight competing architectures across four metrics. When evaluated in terms of accuracy, macro F1, ROC-AUC and balanced accuracy, ConvNeXt-Tiny demonstrates a performance that is extremely close to that of Swin-Tiny (98.40% accuracy), which ranks second overall, with values of 98.39%, 98.39%, 0.996 and 98.39%, respectively. While Transformer-based models (Swin-Tiny, ViT-Small, DeiT-Small) consistently outperform CNN-based models (EfficientNet-B0, DenseNet-121, ResNet-50, MobileNetV3-L), the proposed model has outperformed both groups across all metrics or remained statistically equivalent to the closest competitor. The fact that MobileNetV3-L exhibits the lowest performance with 83.90% accuracy and an ROC-AUC of 0.874 highlights the limitations of lightweight CNN architectures in this task. Another notable point is that, despite having a significantly lower number of parameters compared to its transformer-based competitors, ConvNeXt-Tiny produces similar or better results; this indicates that the model is also preferable in terms of computational efficiency. Furthermore, its consistent superiority across all four metrics demonstrates that the model is not optimised solely for a specific metric, but rather possesses strong generalisation capabilities. This comparison demonstrates that ConvNeXt-Tiny offers a

competitive and efficient solution in terms of both accuracy and class balance by effectively balancing local feature extraction with global context modelling capabilities.

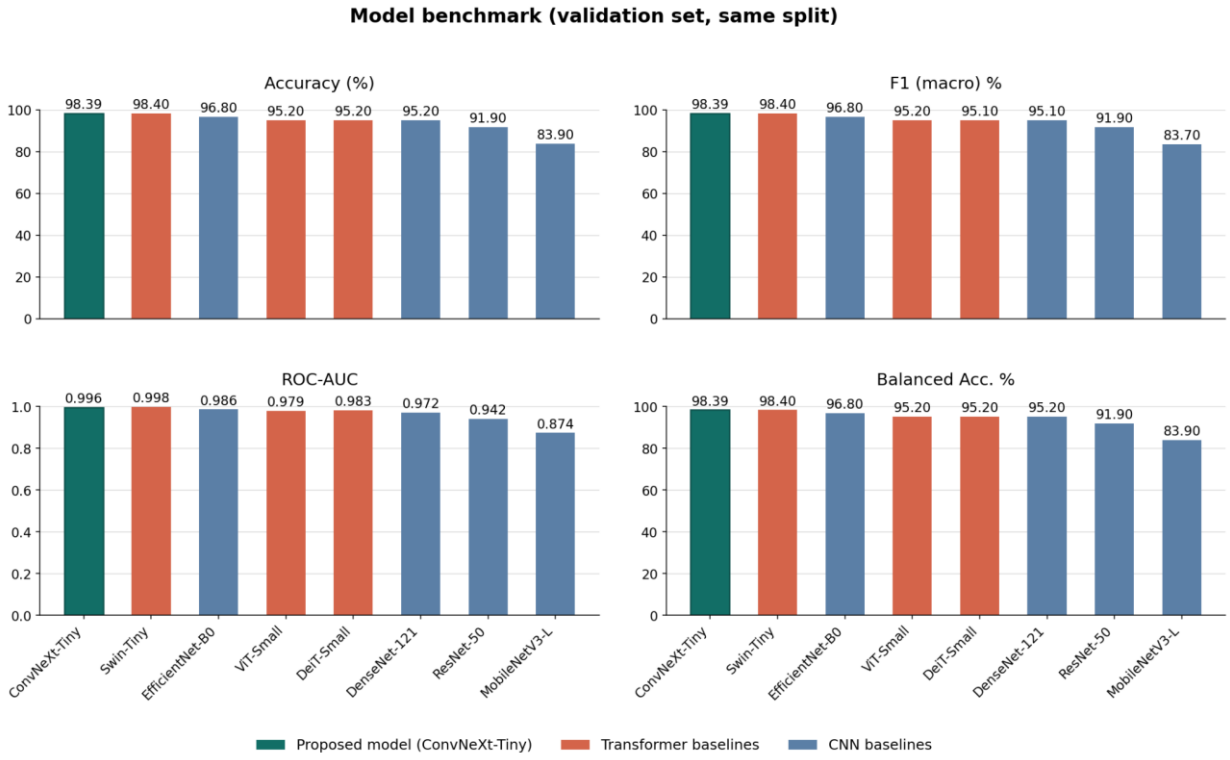



**Figure 5.** Multi-metric benchmark of proposed ConvNeXt-Tiny against transformer and CNN baselines on the validation set.

## 4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

This study has developed a transfer learning-based visual classification system designed to automatically distinguish between UAVs and humans in academic flowcharts. Built on the ConvNeXt-Tiny backbone, the model demonstrated strong generalisation capabilities on a dataset limited to just 408 images, achieving an accuracy of 98.39%, a macro F1 score of 98.39%, and an ROC-AUC value of 0.9958. A two-stage fine-tuning strategy, comprehensive regularisation components and a threshold calibration of $\tau^* = 0.31$ form the cornerstones of this success. A benchmark comparison covering eight architectures has revealed that ConvNeXt-Tiny offers competitive performance against transformer-based competitors, whilst also being advantageous in terms of computational efficiency.

A key limitation of the study is that the dataset is restricted to specific UAV tools and is relatively small in scale. In future work, expanding the dataset, incorporating next-generation production systems, and integrating explainable AI methods could enhance the model's generalisability and interpretability. The proposed system offers a scalable solution that can be used as a reliable decision-support component in academic review processes.

## KAYNAKÇA

**[1]** Dou, Zhicheng, et al. "Enhancing robustness of LLM-synthetic text detectors for academic writing: A comprehensive analysis." *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.

**[2]** Yalim, Cansu, and Holly H. Handley. "Integrating Generative Artificial Intelligence With Systems Architecting Diagram Creation: Advancement, Challenges, Opportunities and Future Perspectives." (2024).

**[3]** Fallahian, Mohammadali, Mohsen Dorodchi, and Kyle Kreth. "GAN-based tabular data generator for constructing synopsis in approximate query processing: Challenges and solutions." *Machine Learning and Knowledge Extraction* 6.1 (2024): 171-198.

**[4]** Račič, Matej, et al. "Multi-year time series transfer learning: Application of early crop classification." *Remote Sensing* 16.2 (2024): 270.

**[5]** Li, Shijiang, et al. "Agile conceptual design and validation based on multi-source product data and large language models: a review, framework, and outlook." *Journal of Engineering Design* 36.4 (2025): 473-503.

**[6]** Žliobaitė, Indrė, and Bart Custers. "Using sensitive personal data may be necessary for avoiding discrimination in data-driven decision models." *Artificial Intelligence and Law* 24.2 (2016): 183-201.

**[7]** Nweke, Obinna, and Felix Adebayo Bakare. "Automated evaluation systems utilizing data science for enhanced accuracy, transparency, and decision optimization." (2025).

**[8]** Gao, Catherine A., et al. "Comparing scientific abstracts generated by ChatGPT to original abstracts using an artificial intelligence output detector, plagiarism detector, and blinded human reviewers." *BioRxiv* (2022): 2022-12.

**[9]** Lin, Li, et al. "Detecting Multimedia Generated by Large AI Models: A Survey." *arXiv preprint arXiv:2402.00045* (2024).

**[10]** Liu, Zhuang, et al. "A ConvNet for the 2020s." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2022): 11976-11986.

**[11]** Zhu, Mingjian, et al. "GenImage: A Million-Scale Benchmark for Detecting AI-Generated Image." *Advances in Neural Information Processing Systems* 36 (2023).

**[12]** Corvi, Riccardo, et al. "On the Detection of Synthetic Images Generated by Diffusion Models." *ICASSP 2023 – IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (2023): 1-5.

**[13]** Karageorgiou, Dimitrios, et al. "Any-Resolution AI-Generated Image Detection by Spectral Learning." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2025): 18706-18717.

**[14]** Flitcroft, Madelyn A., et al. "Performance of Artificial Intelligence Content Detectors Using Human and Artificial Intelligence-Generated Scientific Writing." *Annals of Surgical Oncology* 31 (2024): 6387-6393.

**[15]** Cardenuto, Phillipe, et al. "Unveiling Scientific Articles from Paper Mills with Provenance Analysis." *PLoS ONE* 19.10 (2024): e0312666.

**[16]** Haider, Jutta, et al. "GPT-Fabricated Scientific Papers on Google Scholar: Key Features, Spread, and Implications for Preempting Evidence Manipulation." *Harvard Kennedy School Misinformation Review* (2024).

**[17]** Mahara, Arpan, and Naphtali Rishe. "Methods and Trends in Detecting AI-Generated Images: A Comprehensive Review." *arXiv preprint arXiv:2502.15176* (2025).

**[18]** Lukac, Rastislav, and Konstantinos N. Plataniotis, eds. *Color image processing: methods and applications*. CRC press, 2018.

**[19]** Sadaiyandi, Jeyabharathy, et al. "Stratified sampling-based deep learning approach to increase prediction accuracy of unbalanced dataset." *Electronics* 12.21 (2023): 4423.

**[20]** Colas, Cédric, Olivier Sigaud, and Pierre-Yves Oudeyer. "How many random seeds? statistical power analysis in deep reinforcement learning experiments." *arXiv preprint arXiv:1806.08295* (2018).

**[21]** Shorten, Connor, and Taghi M. Khoshgoftaar. "A survey on image data augmentation for deep learning." *Journal of big data* 6.1 (2019): 1-48.

**[22]** Hu, Chengsong, et al. "Influence of image quality and light consistency on the performance of convolutional neural networks for weed mapping." *Remote Sensing* 13.11 (2021): 2140.

**[23]** Ilham, Wanda, and Abubakar Ahmad. "A comprehensive review of convnext architecture in image classification: Performance, applications, and prospects." *IJACI: International Journal of Advanced Computing and Informatics* 2.2 (2026): 108-114.

# ENHANCING CROSS-LINGUAL TRANSFER LEARNING FOR LOW-RESOURCE TURKIC LANGUAGES: A STUDY OF MONOLINGUAL AND MULTILINGUAL BERT MODELS

**Res. Assist. Selma ALAV**

Bingöl University,

salav@bingol.edu.tr - 0009-0009-1521-032X

**Assoc. Prof. Dr. Bihter DAŞ**

Fırat University,

bihterdas@firat.edu.tr - 0000-0002-2498-3297

## ABSTRACT

Developing effective Natural Language Processing (NLP) models for low-resource languages remains a significant challenge due to limited data and linguistic resources. In this context, Cross-Lingual Transfer Learning (CLTL), which transfers knowledge from high-resource to low-resource languages, has become an important research area. Research has demonstrated that factors such as structural similarities, script differences, language family affiliation, and the representation of the target language in the pre-training corpus affect model performance. However, studies focusing on Turkic languages remain limited. This study investigates the effects of these factors on cross-lingual text classification using Turkish, Turkmen, and Yakut (Sakha). Cross-lingual transfer learning experiments were conducted using the BERTurk and mBERT. To enhance transfer performance, Sakha data were transliterated, and additional pretraining based on Masked Language Modeling (MLM) was carried out within the framework of Task-Adaptive Pretraining (TAPT). The results showed that the BERTurk was unable to achieve a macro F1 score exceeding 27% in zero-shot cross-lingual transfer tasks across different scripts. Although transliteration improved performance in the same task, the model was still unable to surpass a macro F1 score of 50%. In contrast, the additional MLM-based pretraining performed within the framework of TAPT significantly improved transfer performance only between languages using the same script. While the effect of transliteration remained limited in the mBERT, performance improvements were observed across all experiments following TAPT, with macro F1 scores reaching the range of 64–90%. The findings provide empirical insights into cross-lingual transfer learning for low-resource Turkic languages across monolingual and multilingual BERT models, contributing to the limited literature in this area.

**Key Words :** Cross-Lingual Transfer Learning, Task-Adaptive Pretraining (TAPT), Masked Language Modeling (MLM), Low-Resource Languages

## 1. INTRODUCTION

The written word has been one of the most important means of communication since its earliest emergence, enabling the transmission of knowledge across generations and societies. With technological advancements, written content has been transferred to digital environments, allowing information to be stored, processed, and disseminated in a more systematic and efficient manner. Developments in computer technologies and advances in the field of artificial intelligence have accelerated efforts to enable computers to process the natural languages used by humans, thereby paving the way for the emergence of the field of Natural Language Processing (NLP).

A significant portion of the remarkable achievements in the field of Natural Language Processing in recent years has been made possible through the development of pre-trained language models. In particular, Transformer-based models have achieved high performance across a wide range of tasks, including text classification, sentiment analysis, machine translation, and question answering [1], [2]. However, the performance of these models largely depends on the quantity and diversity of the data used during the pre-training process. A substantial portion of pre-training corpora consists of high-resource languages such as English, German, and Chinese [3]. These languages are considered high-resource due to their extensive representation in digital environments, the availability of large-scale labeled and unlabeled datasets, and their widespread use across various domains, including education, public services, and commerce [4]. Nevertheless, they do not encompass all of the approximately 7,200 languages spoken worldwide [5]. Furthermore, developing a separate language model for each natural language could, in principle, require a workload costing millions of dollars. For this reason, multilingual Transformer-based models that enable knowledge sharing across different languages have been developed [6]. However, multilingual models also fail to adequately cover many low-resource languages that are underrepresented during pre-training, or they are unable to achieve the desired level of performance in such languages.

Cross-Lingual Transfer Learning (CLTL) has emerged as an effective approach that aims to improve model performance under limited-data conditions by enabling the transfer of knowledge acquired from high-resource languages to low-resource languages [7].

Turkic languages constitute a suitable domain for cross-lingual transfer learning research, as they encompass both high-resource and low-resource languages while also employing different writing systems [4], [8]. Despite this, studies on Natural Language Processing and cross-lingual transfer learning involving Turkic languages remain limited in number. In this respect, Turkic languages provide an important research setting for evaluating methods developed for low-resource languages.

In this study, text classification experiments were conducted on Turkish, Turkmen, and Yakut, which belong to the Turkic language family. For this purpose, the monolingual BERTurk and the multilingual mBERT models were employed, and two different approaches were evaluated to improve cross-lingual transfer learning performance: additional pre-training based on Masked Language Modeling (MLM) within the Task-Adaptive Pretraining (TAPT) framework and the transliteration of Yakut data. Thus, the effects of writing system differences

and target-language-specific additional pre-training on cross-lingual knowledge transfer were investigated.

The main contributions of this study are as follows:

- Multiclass datasets covering Turkish, Turkmen, and Yakut were constructed to contribute to the limited number of cross-lingual transfer learning studies conducted on Turkic languages.
- The zero-shot cross-lingual transfer learning performances of monolingual and multilingual BERT-based models across low-resource Turkic languages were systematically compared.
- To investigate the impact of script differences on cross-lingual knowledge transfer, transliteration was applied to the Yakut data, and the resulting improvements were evaluated experimentally.
- The impact of additional Masked Language Modeling (MLM)-based pre-training conducted within the Task-Adaptive Pretraining (TAPT) framework on cross-lingual transfer learning performance was analyzed for both monolingual and multilingual models.
- Based on the obtained findings, the contributions of transliteration and TAPT approaches to improving cross-lingual transfer learning in low-resource Turkic languages were demonstrated, thereby providing experimental evidence for the limited literature in this area.

In the remainder of this paper, studies related to the topic were first reviewed, followed by an introduction to the Turkish, Turkmen, and Yakut datasets used in this study, and the data collection and preprocessing procedures were described. The subsequent section detailed the BERT-based models employed, the cross-lingual transfer scenarios, the transliteration method, and the TAPT approach. Finally, the results obtained from the conducted experiments were presented, the findings were evaluated in light of the existing literature, and potential directions for future research were discussed.

## 2. RELATED WORKS

Cross-Lingual Transfer Learning (CLTL) aims at enhancing performance in low-resource languages by transferring knowledge learned from high-resource languages, rather than training models from scratch for each low-resource language. Research in this area has largely focused on multilingual Transformer models such as mBERT and XLM-R. In particular, methods for enhancing performance in zero-shot cross-lingual transfer learning scenarios—where a model is trained on one language and tested on a target language that is not represented in the training data—have been extensively investigated. However, transfer performance was shown to vary considerably across languages and to be influenced by various factors, including language similarity, script differences, and the degree of representation in the pre-training corpus.

In two separate studies conducted by Eronen et al., the effect of language similarity on cross-lingual transfer performance was investigated. Within this scope, zero-shot cross-lingual

transfer learning experiments were conducted using the mBERT and XLM-RoBERTa models on English, German, Danish, Polish, Russian, Croatian, Japanese, and Korean. The obtained results showed that transfer performance generally increased as the similarity between the source and target languages increased. In particular, higher performance was achieved between languages belonging to the same language family, and it was emphasized that using English as the default source language does not always yield the best results. However, in experiments conducted between Japanese and Korean, the expected level of transfer performance was not achieved, despite the two languages being classified within the same language family. Based on this finding, the researchers argued that language similarity should not be evaluated solely on the basis of language family membership [7], [9].

The impact of script differences on transfer performance was investigated in the study entitled "When Being Unseen from mBERT is Just the Beginning: Handling New Languages With Multilingual Language Models." The researchers conducted experiments on 15 low-resource languages that were not included in the pre-training corpus of mBERT and demonstrated that transfer performance decreased substantially between languages using different scripts, even when they belonged to the same language family. In particular, a notable improvement in performance was observed after Uyghur, which uses the Arabic script, was transliterated into the Latin script. However, the transliteration of Mingrelian, which uses the Georgian script, did not improve performance in either the mBERT or mBERT + MLM training settings [10].

Similarly, in the study entitled "Leveraging mBERT with Rule-Driven Pre-Processing for Domain-Specific Karakalpak Text Classification," text classification experiments were conducted on a Karakalpak dataset. Following the standardization of Cyrillic and Latin scripts, the mBERT model achieved an F1 score of 82.1%. These findings indicated that script standardization contributed positively to classification performance [11].

Studies conducted on Turkic languages have predominantly focused on the development of monolingual models and the creation of language resources [12], [13], [14]. Owing to their agglutinative structures and the scarcity of available data, these languages were shown to require specialized methods and approaches [15].

In summary, although existing studies have highlighted the importance of language similarity, script characteristics, and additional pre-training for cross-lingual transfer performance, research examining these factors jointly in the context of low-resource Turkic languages remains limited. This study contributes to addressing this gap in the literature by investigating the effects of these factors on cross-lingual text classification performance through experiments conducted on Turkish, Turkmen, and Yakut using both monolingual and multilingual Transformer-based models.

## 3. TURKIC LANGUAGES AND DATA RESOURCES

The Turkic language family comprises numerous languages that are geographically dispersed, employ different scripts, and exhibit considerable heterogeneity in terms of resource

availability. The Turkic language family has been classified into two main branches, namely Oghur and Common Turkic. While the Oghur branch includes only the Chuvash language, the Common Turkic branch is further divided into nine subgroups [16], [17]. In this study, Turkish, Turkmen, and Yakut, which belong to the Common Turkic branch of the Turkic language family, were examined.

Turkish is considered the most resource-rich language within the Turkic language family [4]. It belongs to the Oghuz branch of the Turkic languages, uses the Latin script, and is spoken by approximately 85 million people worldwide [5].

Turkmen is classified within the Oghuz branch, similar to Turkish. It is of particular importance to linguists because it preserves the characteristics of Old Oghuz Turkish to a greater extent than any other language in the same branch. One of the most notable of these characteristics is the presence of long vowels. While this feature distinguishes Turkmen from other languages within its own subgroup, it also demonstrates similarities with Yakut and Khalaj, which belong to different Turkic subgroups [18]. Like Turkish, Turkmen uses the Latin script and has approximately 6 to 7 million speakers. Furthermore, it is classified as a national language due to its status as the official language of Turkmenistan [5].

Yakut, also known as Sakha, is a Turkic language belonging to the Siberian branch of the Turkic languages and classified within the Lena subgroup [17]. Owing to its development in a region geographically distant from the core area where most Turkic languages are spoken, it has diverged considerably from other Turkic languages and was therefore regarded as a separate language for a long time. However, studies conducted in the late nineteenth century demonstrated that Yakut is a Turkic language. Compared with other Turkic languages, it exhibits a higher degree of divergence due to its proximity to Mongolic and Finno-Ugric languages [18]. As a result of these factors, UNESCO has classified Yakut as a vulnerable language [16]. It employs a unique Cyrillic script consisting of 40 letters [19]. With approximately 400,000 speakers, it can also be characterized as a low-resource language [18].

Considering the findings reported in linguistic studies, Turkish and Turkmen were selected for dataset construction because, despite belonging to the same language subgroup and using the same script, they exhibit certain structural differences. In addition to these languages, Yakut was included in the study because it belongs to a different subgroup and employs the Cyrillic script. Another factor motivating the selection of Yakut was its preservation of long vowels inherited from Proto-Turkic, a feature that it shares with Turkmen. Thus, the study aimed to jointly examine the effects of linguistic similarity, script differences, and historical phonological features on cross-lingual transfer learning performance.

All datasets were collected from Wikipedia. Wikipedia provides a rich resource for Natural Language Processing research, covering 361 languages. Among these, 18 belong to the Turkic language family [20]. Table 1 presents the number of articles available in the Turkish, Turkmen, and Yakut editions of Wikipedia.

**Table 1. Representation of Turkish, Turkmen, and Yakut in Wikipedia**

| Languages | Number of Pages |
|---|---|
| Turkish | 3.404.657 |

| | |
|---|---|
| Turkmen | 17.849 |
| Yakut (Sakha) | 55.225 |

This table demonstrates that Turkish is represented at a very high level in Wikipedia, whereas Turkmen and Yakut are low-resource languages with considerably limited content resources.

The collected data were manually labeled into five categories, namely Science and Technology, Biography, Geography, Culture and Art, and History. Balanced datasets were constructed with 500 samples in each category, resulting in a total of 2,500 texts for each language. During the annotation process, various artificial intelligence based translation tools were utilized for texts whose semantic coherence was difficult to assess. Following the annotation stage, a data cleaning process was carried out, during which punctuation marks, symbols, emojis, and URL links were removed from the texts. In addition, duplicate content was eliminated to ensure that the same text did not appear more than once within the datasets.

Another noteworthy observation during the data collection process was that Yakut Wikipedia articles were generally shorter than their Turkish and Turkmen counterparts. Although efforts were made to keep text lengths as balanced as possible during dataset construction, this difference could not be completely eliminated. Statistics regarding the constructed datasets, together with the word distributions across categories, were presented separately for each language in Tables 2, 3, and 4.

**Table 2. Word Statistics of the Turkish Dataset**

| Class | Total Words | Max Words | Min Words | Average |
|---|---|---|---|---|
| Science & Technolohy | 22.786 | 189 | 2 | 45,57 |
| Biography | 30.255 | 181 | 6 | 60,51 |
| Geography | 19.186 | 182 | 4 | 38,37 |
| Culture & Art | 29.603 | 183 | 1 | 59,20 |
| History | 34.274 | 198 | 4 | 68,55 |

**Table 3. Word Statistics of the Turkmen Dataset**

| Class | Total Words | Max Words | Min Words | Average |
|---|---|---|---|---|
| Science & Technolohy | 23.405 | 139 | 5 | 46,81 |
| Biography | 24.311 | 190 | 4 | 48,62 |
| Geography | 14.624 | 148 | 1 | 29,25 |
| Culture & Art | 23.733 | 172 | 1 | 47,47 |
| History | 31.800 | 194 | 4 | 63,60 |

**Table 4. Word Statistics of the Yakut Dataset**

| Class | Total Words | Max Words | Min Words | Average |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Science & Technolohy | 10.476 | 65 | 4 | 20,95 |
| Biography | 8.995 | 72 | 4 | 17,99 |
| Geography | 7.972 | 67 | 3 | 15,94 |
| Culture & Art | 14.301 | 77 | 3 | 28,60 |
| History | 10.803 | 101 | 4 | 21,61 |

The word statistics indicate that, although the datasets were balanced in terms of the number of samples, content lengths varied across languages. While the Turkish and Turkmen datasets exhibited similar characteristics, the Yakut dataset consisted of comparatively shorter texts.

## 4. MATERIALS AND METHODS

In this study, the monolingual BERTurk model and the multilingual mBERT model were employed on Turkish, Turkmen, and Yakut datasets to investigate cross-lingual text classification performance. Fine-tuning, transliteration, and Task-Adaptive Pretraining (TAPT) procedures were applied to the models, and both monolingual evaluations and zero-shot cross-lingual transfer learning experiments between different language pairs were conducted for each task. This section describes in detail the models, methods, and experimental setup used in the study.

### 4.1. Language Models

Transformer-based models have been at the core of many of the advances achieved in the field of Natural Language Processing in recent years. This architecture is capable of generating contextual representations by learning the relationships between words in a text through the attention mechanism. Unlike traditional recurrent neural networks, its ability to process inputs simultaneously enables more efficient training on large-scale datasets [1]. Consequently, many of the language models widely used today are built upon the Transformer architecture.

One of the training approaches used in Transformer-based models is Masked Language Modeling (MLM). In this approach, the model attempts to predict missing tokens by masking certain words in a text and utilizing the surrounding context. Approximately 15% of the tokens in the training data are randomly selected as prediction targets. Of these selected tokens, 80% are replaced with the [MASK] token, 10% are replaced with a randomly chosen token, and the remaining 10% are left unchanged. Through this process, the model learns not only individual words but also the semantic and syntactic relationships among them [2]. Based on these two technologies, Google developed BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), a model capable of processing text bidirectionally. As a result, both the preceding and following context are taken into account when constructing the representation of

a word, enabling the model to capture semantic relationships between words more effectively. This contextual representation capability provided by BERT has enabled the achievement of high performance across a wide range of tasks, particularly text classification [2].

Following the success of BERT, numerous derivative models were developed to address different languages and application requirements. One such model is BERTurk, which was pre-trained on Turkish text corpora. BERTurk is available in two versions with vocabulary sizes of approximately 32,000 and 128,000 tokens. In addition, both versions were released in cased and uncased variants, where the former preserves letter casing and the latter is trained on text converted entirely to lowercase [21].

In contrast, Multilingual BERT (mBERT), which was designed to facilitate cross-lingual knowledge transfer, integrates multiple languages within a single model [22]. The cased version of mBERT was trained on 104 languages, whereas the uncased version was trained on 102 languages [23]. As a result, the model is able to construct shared representations across different languages, thereby enabling knowledge transfer in cross-lingual tasks.

In this study, the cased version of the multilingual mBERT model covering 104 languages and the cased version of BERTurk with a vocabulary size of 32,000 tokens were employed. The objective was to evaluate whether monolingual specialization or the linguistic diversity provided by multilingual pre-training is more effective for knowledge transfer to low-resource Turkic languages. In this regard, an examination of the mBERT pre-training corpus with respect to the languages considered in this study revealed that only Turkish is included among the languages covered by the model, whereas Turkmen and Yakut were not incorporated into the pre-training process [22]. This situation makes it possible to investigate whether the performance achieved on these languages stems from the model's cross-lingual representation capabilities developed across different languages rather than from direct exposure to the languages themselves during pre-training.

### 4.2. Cross-Lingual Transfer Learning

Cross-lingual transfer learning is an approach based on training a model on one language and subsequently testing or adapting it to a different language using a limited amount of data. In this study, both monolingual evaluations involving training and testing on the same language and zero-shot cross-lingual transfer learning experiments across different language pairs were conducted. To this end, source-target language combinations were established among Turkish, Turkmen, and Yakut, and cross-lingual text classification experiments were performed. Accordingly, nine different training and testing combinations were constructed among Turkish, Turkmen, and Yakut:

- Turkish → Turkish
- Turkish → Turkmen
- Turkish → Sakha
- Turkmen → Turkmen

- Turkmen → Turkish
- Turkmen → Sakha
- Sakha → Sakha
- Sakha → Turkish
- Sakha → Turkmen

The obtained performance results were presented and discussed in detail in the Results and Discussion section.

### 4.3. Transliteration Process

While the Turkish and Turkmen datasets employ the Latin script, the Yakut dataset is written in the Cyrillic script. To mitigate the effects arising from script differences and to evaluate the contribution of using a common writing system to model performance, a transliteration procedure was applied to the Yakut texts. In the first stage, the characters used in the Yakut dataset were identified through statistical analysis. Subsequently, these characters were converted into the 29-letter Latin alphabet used in Turkish, taking into account the phonological characteristics of Yakut and existing transliteration studies. The character mappings employed in the transliteration process are presented in Figure 1.

| SAKHA LETTER | LATIN EQUIVALENT | SAKHA LETTER | LATIN EQUIVALENT |
|---|---|---|---|
| Аа | Aa | Пп | Pp |
| Бб | Bb | Рр | Rr |
| Вв | Vv | Сс | Ss |
| Гг | Gg | Тт | Tt |
| Ҕҕ | Ğğ | Уу | Uu |
| Дд | Dd | Үү | Üü |
| Ее | Ee | Фф | Ff |
| Ёё | Yo/yo | Хх | Kh/kh |
| Жж | Jj | Һh | Hh |
| Зз | Zz | Цц | Ts/ts |
| Ии | İi | Чч | Çç |
| Йй | Yy | Шш | Şş |
| Кк | Kk | Щщ | Şç/şç |
| Лл | Ll | Ыы | Iı |
| Мм | Mm | Ээ | Ee |
| Нн | Nn | Юю | Yu/yu |
| Ҥҥ | Ng/ng | Яя | Ya/ya |
| Оо | Oo | Ьь | - |
| Өө | Öö | Ъъ | - |

**Figure 1. Character Mappings Used for the Transliteration of Yakut into the Latin Script, 2026**

The Cyrillic characters present in the Yakut alphabet were converted into their corresponding Latin characters used in Turkish. During this process, some characters were mapped directly, whereas letters representing sounds specific to Yakut were rendered using their closest Latin equivalents. As a result, a common writing system was established between the Yakut dataset and the Turkish datasets. The transliteration procedure was performed after the datasets had been cleaned.

### 4.4. Task-Adaptive Pretraining (TAPT)

Task-Adaptive Pretraining (TAPT) refers to subjecting a pre-trained language model to an additional pre-training stage using unlabeled texts drawn from the target task. In this approach, pre-training is continued through the Masked Language Modeling (MLM) objective to enable the model to adapt to the linguistic characteristics of the task dataset [24]. In this study, the TAPT procedure was carried out independently of the transliteration experiments. The texts contained in the Turkish, Turkmen, and Yakut training datasets were stripped of their labels and merged into a single corpus, which was subsequently used for additional MLM training of the BERTurk and mBERT models. The hyperparameters were set to 5 epochs, a learning rate of $5 \times 10^{-5}$, and a batch size of 8. Subsequently, two separate models were saved with the aim of enabling them to learn task-specific lexical and contextual patterns.

### 4.5. Experimental Setup

In the experimental study, full fine-tuning procedures were performed on the nine different training and testing combinations constructed in this work. During this stage, the parameters of the BERTurk and mBERT models were updated, and the training process was conducted using 3 epochs, the AdamW optimization algorithm, a learning rate of $1 \times 10^{-5}$, and a batch size of 8. All experiments required an A100 GPU and a high-memory computing environment.

## 5. RESULTS

In this section, the results obtained from the monolingual and cross-lingual text classification experiments conducted using the BERTurk and mBERT models are presented. All datasets were split into 80% training and 20% testing sets.

First, baseline fine-tuning experiments were conducted to observe the initial performance of the models without applying any additional adaptation techniques. In this context, the BERTurk and mBERT models were evaluated on the nine training and testing combinations constructed in this study. The obtained Macro F1 scores are presented in Figure 2 to provide a comparative view of the monolingual and cross-lingual transfer performance of the models.

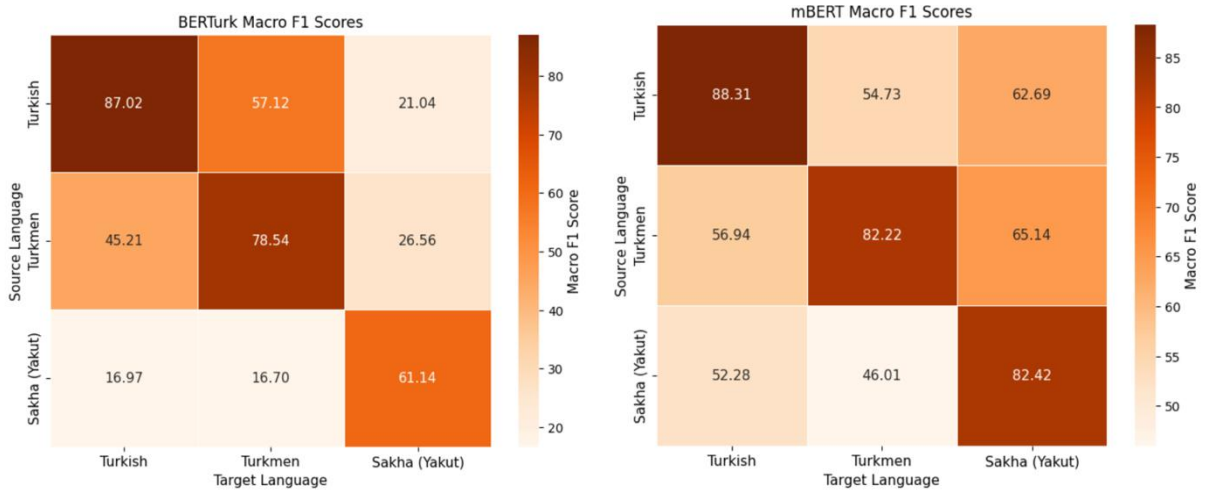



**Figure 2. Results of the Baseline Fine-Tuning Experiments**

As shown in Figure 2, the highest performance for both models was achieved in the monolingual scenarios where training and testing were conducted on the same language. The BERTurk model attained Macro F1 scores of 87.02%, 78.54%, and 61.14% for Turkish, Turkmen, and Yakut, respectively. In the same experiments, mBERT achieved scores of 88.31%, 82.22%, and 82.42%, outperforming BERTurk across all monolingual scenarios.

In the cross-lingual transfer scenarios, BERTurk achieved its best results between Turkish and Turkmen, whereas performance declined to the range of 16% to 27% in transfers involving Yakut. In contrast, mBERT consistently yielded higher performance across all cross-lingual experiments and demonstrated a particularly notable advantage in transfer tasks involving Yakut. Nevertheless, even with mBERT, cross-lingual transfer performance did not exceed 66% Macro F1, indicating that the desired level of performance was not achieved.

These results may be attributed to the generalization capability acquired by mBERT through its multilingual pre-training process. Furthermore, the fact that BERTurk produced better results on Turkish and Turkmen, both of which employ the Latin script, than on Yakut suggests that script differences may have a substantial impact on model performance. Similarly, the higher performance observed between Turkish and Turkmen may be associated with the close linguistic relationship between the two languages. Therefore, transliteration experiments were conducted in the subsequent stage to investigate the effect of script differences in greater detail. The impact of transliteration on performance is illustrated in Figure 3 through a comparison of the two models.

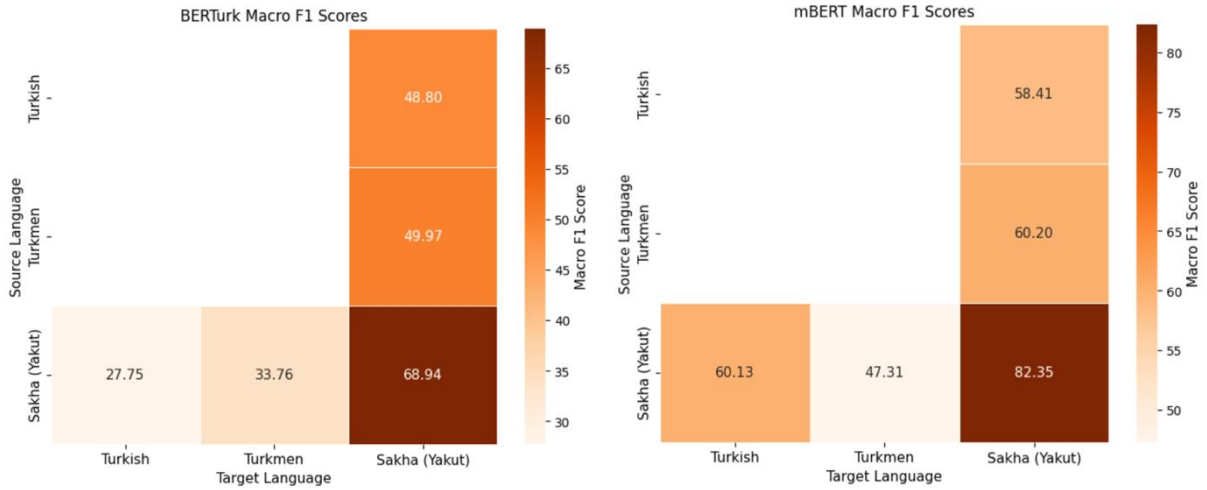



**Figure 3. Effects of Transliteration on Model Performance**

As shown in Figure 3, performance improvements were observed in several cross-lingual scenarios for both models following transliteration. In particular, when Yakut was used as the target language, the performance of the BERTurk model improved when trained on Turkish and Turkmen as source languages. Similarly, improvements were observed in the mBERT model for transfer tasks targeting Yakut. Following training on Turkish and Turkmen, Macro F1 scores of 60.13% and 47.31%, respectively, were achieved on the Yakut test set.

In contrast, transliteration did not produce the same effect across all experiments. In particular, performance declines were observed in the mBERT model when Yakut was used as the target language. The performance of the model trained on Turkish decreased from 62.69% to 58.41% on Yakut, while the performance of the model trained on Turkmen declined from 65.14% to 60.20%. This finding suggests that mBERT may have already learned effective representations for languages written in the Cyrillic script during its pre-training phase.

Overall, the results support the notion that script differences influence cross-lingual transfer performance. However, the fact that transliteration improved performance in some experiments while reducing it in others indicates that transfer success cannot be explained solely by script similarity. Structural differences between languages, as well as the linguistic representations acquired by the models during pre-training, are also likely to play a determining role in the observed results. Therefore, Task-Adaptive Pretraining (TAPT) experiments were conducted in the subsequent stage to investigate whether the models could better adapt to the data distribution used in this study, and the resulting performance was compared in Figure 4.

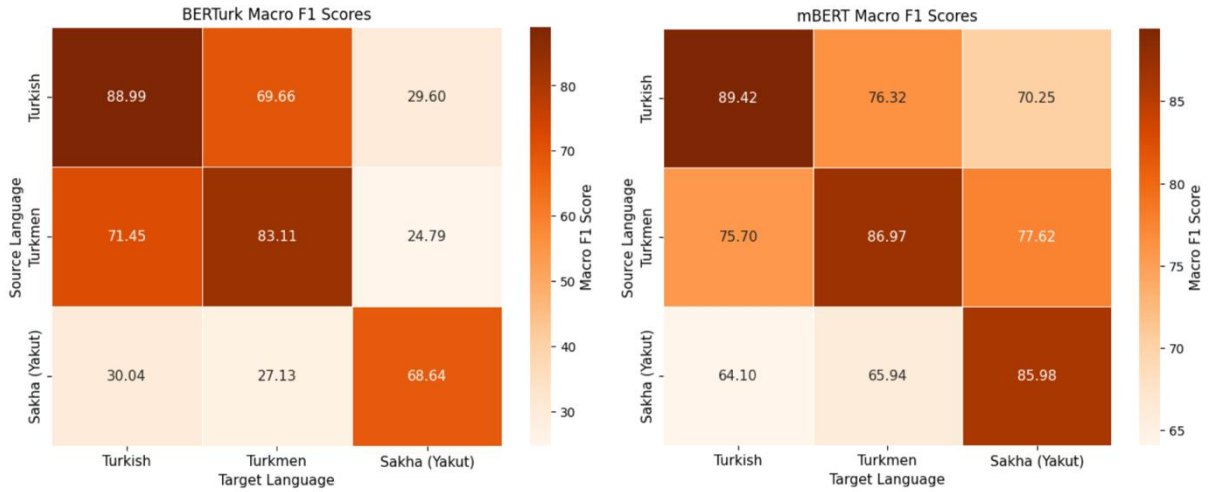



**Figure 4. Results of the TAPT Experiments**

Figure 4 presents the Macro F1 scores obtained after Task-Adaptive Pretraining (TAPT). When compared with the baseline fine-tuning and transliteration experiments, the results indicate that the TAPT approach yielded the highest performance values for both models. While the gains observed in the monolingual scenarios remained relatively limited, the most substantial improvements emerged in the cross-lingual transfer experiments.

For the BERTurk model, transfer performance between Turkish and Turkmen increased substantially compared with the baseline fine-tuning experiments. The performance of the model trained on Turkish and tested on Turkmen improved from 57.12% to 69.66%, while the performance of the model trained on Turkmen and tested on Turkish increased from 45.21% to 71.45%. These findings indicate that the TAPT approach is particularly effective between linguistically related languages that share a common script.

In contrast, transliteration yielded higher performance in experiments where Yakut was used as the target language. The performance of the model trained on Turkish increased from 22.58% to 48.80%, while that of the model trained on Turkmen rose from 26.75% to 49.97%. These results suggest that, for the monolingual BERTurk model, script compatibility may be a more influential factor than task-adaptive pretraining when transferring knowledge to languages that employ a different writing system.

For the mBERT model, the effect of TAPT was observed in a more systematic manner. Cross-lingual performance between Turkish and Turkmen, which ranged between 54% and 57% in the baseline fine-tuning experiments, increased to approximately 75% following TAPT. Furthermore, performance improvements were also observed in several Yakut-related scenarios where transliteration had failed to produce the expected gains.

In particular, the performance of the model trained on Turkish and evaluated on Yakut increased from 62.69% in the baseline fine-tuning experiments and 58.41% after transliteration to 70.25% following TAPT. Similarly, the performance of the model trained on Turkmen and evaluated on Yakut decreased from 65.14% to 60.20% after transliteration, but subsequently reached 77.62% following TAPT.

The obtained findings indicate that transliteration provides a certain degree of benefit for the monolingual model. However, the resulting performance gains were not consistent across the multilingual model scenarios. In contrast, the application of TAPT improved performance in nearly all experiments and produced more stable results, particularly in cross-lingual transfer tasks. These findings suggest that the challenges encountered in low-resource Turkic languages cannot be attributed solely to script differences. Rather, the ability of models to learn task-specific linguistic patterns appears to be of critical importance for achieving effective cross-lingual transfer.

In this study, it was demonstrated that the application of Task-Adaptive Pretraining (TAPT) on a shared corpus constructed from Turkish, Turkmen, and Yakut data was able to improve not only monolingual classification performance but also cross-lingual transfer performance substantially. This finding indicates that the utilization of unlabeled data and task-adaptive pretraining can serve as an effective approach for cross-lingual text classification in low-resource Turkic languages.

## 6. CONCLUSION

A series of experiments were conducted on the BERTurk and Multilingual BERT (mBERT) models to improve cross-lingual text classification performance among low-resource Turkic languages. Balanced datasets were constructed for Turkish, Turkmen, and Yakut, and the effects of baseline fine-tuning, transliteration, and Task-Adaptive Pretraining (TAPT) on both monolingual and cross-lingual transfer performance were investigated.

The baseline fine-tuning experiments yielded higher performance between Turkish and Turkmen, likely due to their membership in the same language subgroup and their use of the common Latin script. In contrast, a substantial decline in performance was observed in experiments involving Yakut. This finding is consistent with previous studies reporting that linguistic similarity enhances transfer performance [6], [7].

The substantial performance gains observed in the BERTurk model when Yakut was used as the target language demonstrated that monolingual models are more sensitive to differences in writing systems. Nevertheless, the fact that transliteration did not yield consistent improvements across all experiments indicates that cross-lingual transfer performance cannot be explained solely by script differences. A similar observation was reported in the study entitled "When Being Unseen from mBERT is Just the Beginning: Handling New Languages With Multilingual Language Models." While the transliteration of Uyghur into the Latin script improved performance, the transliteration of Mingrelian failed to produce comparable gains [10].

One of the most notable findings of this work was the impact of the TAPT approach. The results demonstrated that additional MLM training on the task datasets substantially improved cross-lingual transfer performance, particularly for the mBERT model. For BERTurk, the greatest benefits of TAPT emerged between Turkish and Turkmen, which employ a common script. In contrast, transliteration proved to be more effective in several

experiments involving Yakut. These findings suggest that monolingual and multilingual models may rely on different mechanisms for knowledge transfer. While the representation learning capacity provided by task-adaptive pretraining appears to play a central role in multilingual models, script compatibility and linguistic similarity seem to be more influential factors for monolingual models.

This work contributes to the literature by being one of the few studies that jointly evaluate how transliteration and Task-Adaptive Pretraining (TAPT) influence zero-shot cross-lingual transfer learning performance in monolingual and multilingual BERT-based models for Turkic languages. The obtained findings demonstrate that multilingual models are capable of generalizing to languages that were not included in their pre-training corpora to a certain extent, and that this capability can be further enhanced through additional pre-training procedures.

Future work is planned to extend the study by incorporating additional Turkic languages and constructing richer datasets. Furthermore, comparative studies involving Latin, Cyrillic, and Arabic-based scripts could be conducted to examine the effects of different writing systems in greater detail. In the present work, the effects of transliteration and TAPT were evaluated separately. New experimental setups could therefore be designed by combining these two approaches. In addition, conducting similar experiments using XLM-based multilingual models would be valuable for assessing the generalizability of the findings. Such studies are expected to contribute to the development of more inclusive and effective Natural Language Processing systems for low-resource Turkic languages.

## REFERENCES

**1.** Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł. ve Polosukhin, I., Attention Is All You Need, Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 5998-6008, 2017.

**2.** Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., Toutanova, K., BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL-HLT), 4171-4186, 2019.

**3.** Raychawdhary, N., Bhattacharya, S., Seals, C. ve Dozier, G.V., Empowering Sentiment Analysis in African Low-Resource Languages Through Transformer Models and Strategic Language Selection, IEEE Access, 2025.

**4.** Mirzakhalov, J., Turkic Interlingua: A Case Study of Machine Translation in Low-resource Languages, Master Thesis, Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida, Florida, 2021.

**5.** https://www.ethnologue.com/ (Accessed: 11.06.2026)

**6.** Muller, B., Anastasopoulos, A., Sagot, B., Seddah, D., When being unseen from mBERT is just the beginning: Handling new languages with multilingual language models. arXiv preprint, arXiv:2010.12858, 2020.

**7.** Eronen, J., Ptaszynski, M., Masui, F., Zero-shot cross-lingual transfer language selection using linguistic similarity, Information Processing and Management, January, 20, 1, 2023.

**8.** https://www.britannica.com/topic/Turkic-languages (Accessed: 11.06.2026)

**9.** Eronen, J., Ptaszynski, M., Masui, F., Arata, M., Leliwa, G., Wroczynski, M., Transfer language selection for zero-shot cross-lingual abusive language detection, Information Processing and Management, May, 31, 5, 2022.

**10.** Muller, B., Anastasopoulos, A., Sagot, B., Seddah, D., When Being Unseen from mBERT is just the Beginning: Handling New Languages With Multilingual Language Models, Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 448-462, 2021.

**11.** Abdurakhmonova, N., Sayfullaeva, R., Shirinova, R., Leveraging mBERT with Rule-Driven Pre-Processing for Domain-Specific Karakalpak Text Classification, 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**12.** Sharipov, M., Abjalova, M., Sobirov, O., Design and Implementation of a Markov Model-Based POS Tagger for the Uzbek Language, 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**13.** Umbet, S., Kozhirbayev, Z., Restoring Punctuation and Capitalization in Kazakh: A BERT-Based Approach for Text Normalization, 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**14.** Inamzhanovna, M.M., Mirjonovna, S.K., Rasulovna, J.O., Qizi, A.M.H., Abdurauf Fitrat Corpus: Linguistic Support and Software Solution, 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**15.** Suleymanov, D., Fridman, A., Increasing Efficiency of Computer Modeling of Semantics by Using Cognitive Potential of Affixal Morphemes in Agglutinative Languages, 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**16.** https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187026 (Accessed: 11.06.2026)

**17.** https://wiki.apertium.org/wiki/Turkic_languages (Accessed: 12.06.2026)

**18.** Özyetkin, A.M., Tarihten Bugüne Türk Dil Alanı, Ankara: Yeni Türkiye Medya Hizmetleri, 149-166, 2013.

**19.** https://transliteration.eki.ee/pdf/Yakut.pdf (Accessed: 12.06.2026)

**20.** https://tr.wikipedia.org/wiki/Vikipedi:Vikipediler (Accessed: 12.06.2026)

**21.** https://github.com/stefan-it/turkish-bert?tab=readme-ov-file (Accessed: 12.06.2026)

**22.** Wu, S., Dredze, M., Are All Languages Created Equal in Multilingual BERT?, Proceedings of the 5th Workshop on Representation Learning for NLP (RepL4NLP-2020), 120-130, 2020.

**23.** Alav, S., Daş, B., Benli, K.S., Learning Rate Sensitivity of Multilingual Transformer Based Large Language Models in Turkish Binary Classification, 2025 10th

International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), İstanbul, 2025.

**24.** Gururangan, S., Marasović, A., Swayamdipta, S., Lo, K., Beltagy, I., Downey, D., Smith, N. A., Don't stop pretraining: Adapt language models to domains and tasks, Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 8342–8360, 2020.

# ÖRGÜTSEL ÖĞRENME MEKANİZMASI OLARAK YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

**Doktora Öğrencisi Ceren BAKAL**[1]
Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı
Teknoloji ve Bilgi Yönetimi Programı,
bakalceren@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-9663-6788

**Doç. Dr. Cem AYDEN**[2]
Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı
Teknoloji ve Bilgi Yönetimi Programı,
cayden@firat.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-7648-7973

**Doç. Dr. Zülfükar Aytaç KİŞMAN**[3]
Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı
Teknoloji ve Bilgi Yönetimi Programı,
aytac@firat.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-5573-5448

## ÖZET

Hızla değişen pazar dinamikleri ve küresel rekabet baskısı, modern işletmeleri dinamik yeteneklerini sürekli geliştirmeye ve içsel süreçlerini optimize etmeye zorlamaktadır. Bu bağlamda organizasyonların sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde edebilmeleri, kurumsal bilginin organizasyon yapısı içinde nasıl işlendiği, paylaşıldığı ve korunduğu ile doğrudan ilişkilidir. Yönetim-organizasyon yazınının en köklü kuramsal dayanaklarından biri olan 'Örgütsel Öğrenme Teorisi', bilginin bireysel düzeyden kolektif düzeye aktarılmasını, ortak bir anlamlandırma sürecinden geçirilmesini ve nihayetinde yapısal bir belleğe dönüştürülmesini inceler. Geleneksel bürokratik yapılarda bireysel tecrübelere, zihinsel süreçlere veya departmanlar arası izole bilgi silolarına sıkışan bu öğrenme döngüsü, yönetim bilişim sistemlerinin kurumsal ekosisteme entegrasyonu ile sistematik ve sürdürülebilir bir çehre kazanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı; Yönetim bilişim sistemleri mimarilerinin (kurumsal kaynak planlaması, müşteri ilişkileri yönetimi, intranet altyapıları ve bulut tabanlı bilgi havuzları), örgütsel öğrenme teorisinin çekirdeğini oluşturan dört temel aşamayı bilgi edinme, bilgi dağıtımı, bilginin ortak yorumlanması ve kurumsal hafızanın inşası süreçlerini yönetsel düzeyde nasıl yapılandırdığını, otomatize ettiğini ve hızlandırdığını kavramsal bir çerçevede analiz ederek literatüre teorik bir katkı sunmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yönetim Bilişim Sistemleri, Örgütsel Öğrenme Teorisi, Kurumsal Hafıza, Bilgi Yönetimi.

# MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS AS AN ORGANIZATIONAL LEARNING MECHANISM: A CONCEPTUAL EVALUATION

## ABSTRACT

Rapidly changing market dynamics and global competitive pressures force modern enterprises to continuously develop their dynamic capabilities and optimize their internal processes. In this context, the ability of organizations to achieve sustainable competitive advantage is directly related to how corporate knowledge is processed, shared, and preserved within the organizational structure. 'Organizational Learning Theory', one of the most deep-rooted theoretical foundations of management and organization literature, examines the transfer of knowledge from the individual to the collective level, its interpretation, and its ultimate transformation into a structural memory. This learning cycle, which remained confined to individual experiences, mental processes, or isolated information silos between departments in traditional bureaucratic structures, has gained a systematic and sustainable character with the integration of management information systems into the corporate ecosystem. The primary purpose of this study is to analyze within a conceptual framework how Management ınformation systems architectures (enterprise resource planning, customer relationship management, intranet infrastructures, and cloud-based knowledge repositories) structurally shape, automate, and accelerate the four core stages of organizational learning theory: knowledge acquisition, information distribution, information interpretation, and the construction of organizational memory at a managerial level.

**Keywords:** Management Information Systems, Organizational Learning Theory, Corporate Memory, Knowledge Management.

# PM2.5 TAHMİNİ İÇİN DERİN ÖĞRENME MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: LSTM, GRU, CNN-LSTM VE GRAFİK SİNİR AĞI

**Öğr. Gör. Dr. Osman GÜMÜŞ**
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
osmangumus@yyu.edu.tr - 0000-0002-8033-8321

**Doç. Dr. Muhammed Hanifi VAN**
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
hanifivan@yyu.edu.tr - 0000-0001-6093-011X

## ÖZET

Kentsel hava kalitesinin izlenmesinde PM2.5 konsantrasyonu önemli bir gösterge olmasına rağmen, kısa vadeli güvenilir tahmin üretimi özellikle tek istasyonlu senaryolarda uzamsal veri eksikliği nedeniyle zorlu bir problem olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, Pekin'e ait 2010–2014 yıllarını kapsayan saatlik tek istasyon hava kalitesi verisi kullanılarak PM2.5 konsantrasyonunun bir saat sonrasını tahmin etmek amacıyla dört farklı derin öğrenme yaklaşımı karşılaştırılmıştır. Veri ön işleme sürecinde eksik değerler doğrusal interpolasyon ile tamamlanmış, uç değerler IQR yöntemiyle işlenmiş ve MinMax normalizasyon uygulanmıştır; ayrıca veri 24 saatlik kayan pencere yapısına dönüştürülmüştür. LSTM, GRU ve CNN-LSTM mimarilerine ek olarak, zaman adımlarını grafik düğümleri olarak modelleyip zamansal bağımlılıkları mesaj iletimi mekanizmasıyla öğrenen bir grafik sinir ağı (GNN) PyTorch ortamında geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar tüm modellerin genel kirlilik trendini yüksek doğrulukla yakaladığını göstermiştir ($R^2 \geq 0.934$). Performans karşılaştırmasında GRU, 10.35 $\mu g/m^3$ MAE ve 16.93 $\mu g/m^3$ RMSE ile en düşük hata değerlerini elde ederek en başarılı model olmuştur. CNN-LSTM ise yerel özellik çıkarımı sayesinde özellikle düşük konsantrasyon aralıklarında %21.97 MAPE ile göreli hata açısından üstün performans göstermiştir. GNN modeli, uzamsal istasyon ağı bulunmayan durumlarda grafik tabanlı zaman serisi modellemenin uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Bulgular, kısa vadeli PM2.5 tahmininde model mimarisinin performans üzerinde belirleyici olduğunu ve uzamsal veri kısıtı altında grafik tabanlı yaklaşımların kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Hava Kirliliği Tahmini, PM2.5, Derin Öğrenme, Zaman Serisi Analizi, Grafik Sinir Ağları, Karşılaştırmalı Analiz..

# PLEOMORFİK ADENOM VE KARSİNOM EX PLEOMORFİK ADENOM AYRIMI İÇİN DERİN ÖĞRENME

**Lisansüstü Öğrencisi Berkay BAKIŞOĞLU**
Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
berkaybakisoglu@gmail.com - ORCID: 0009-0009-2291-0172

**Doç. Dr. Burçin PEHLİVANOĞLU**
Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı
burcin.pehlivanoglu@deu.edu.tr - ORCID: 0000-0001-6535-8845

**Arş. Gör. Dr. Nazımcan TEZEL**
Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Patoloji Anabilim Dalı
nazimcan.tezel@deu.edu.tr - ORCID: 0009-0003-9641-5293

**Prof. Dr. Aylin KANTARCI**
Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
aylin.kantarci@ege.edu.tr - ORCID: 0000-0001-7019-1613

**Prof. Dr. Şebnem BORA**
Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
sebnem.bora@ege.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0111-4635

## ÖZET

Karsinom ex pleomorfik adenom (CXPA), pleomorfik adenom (PA) zemininde gelişen nadir ve kötü huylu bir dönüşümdür. CXPA slaytlarında tanısal alanlar çoğu zaman sınırlı bölgelerde yer aldığından, slayt düzeyinde etiketlerle çalışan çoklu örnek öğrenme (MIL) yaklaşımları bu problem için uygun bir seçenek sunmaktadır. Bu çalışmada, 19 hastaya ait tüm-slayt görüntüler üzerinde yama düzeyi modeller ile MIL yaklaşımları karşılaştırılmıştır. MIL tarafında farklı öznitelik çıkarıcılar, toplayıcılar ve sınıf dengesizliği stratejileri değerlendirilerek toplam 27 yapılandırma oluşturulmuş; yama düzeyindeki 6 temel yapılandırma ile birlikte hastayı dışarıda bırak çapraz doğrulama yöntemiyle test edilmiştir. Performans değerlendirmesinde bootstrap güven aralıkları, eşleştirilmiş fark aralıkları, varsayılan eşik ve Youden eşiği kullanılmıştır. En iyi MIL yapılandırması AUROC 0,857 değerine ve Youden eşiğinde 0,80 duyarlılığa ulaşmıştır. MIL katkısının kullanılan öznitelik çıkarıcıya bağlı olduğu, en belirgin artışın CTransPath tabanlı modellerde elde edildiği görülmüştür. Dikkat haritaları aracılığıyla model kararlarında etkili bölgeler incelenmiş ve yorumlanabilirlik açısından ek bilgi sağlanması amaçlanmıştır. Sınırlı örneklem nedeniyle istatistiksel anlamlılık gösterilememiş olsa da bulgular, küçük çalışma gruplarında MIL yaklaşımının potansiyelini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** çoklu örnek öğrenme, hesaplamalı patoloji, tükürük bezi tümörü, tüm-slayt görüntüleme, dikkat mekanizması

# Web Tabanlı Harita Entegrasyonlu Akıllı Taksimetre Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

**Emin Yıldız, Dr .Öğr .Üyesi Handan Gürsoy-Demir**

İskenderun Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, eyildiz.mdbf23@iste.edu.tr ,0009-0003-6015-0430
İskenderun Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, handan.gursoy@iste.edu.tr, 0000-0001-5486-454X

## Özet

Teknolojik gelişmelerle birlikte ulaşım sektöründe dijital dönüşüm süreci hız kazanmış ve özellikle taksi hizmetlerinde kullanılan sistemlerin güvenilir, şeffaf ve kullanıcı dostu olması önemli bir gereksinim hâline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, Python ve JavaScript programlama dilleri kullanılarak Google Maps API destekli akıllı bir taksimetre sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem; kullanıcı konumu, gidilecek mesafe, rota bilgisi, tahmini süre ve ücret hesaplama işlemlerini dijital ortamda gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel taksimetre sistemlerinden farklı olarak harita servisleriyle entegre çalışan yapı, rota ve mesafe bilgilerine dayalı daha işlevsel bir ücretlendirme yaklaşımı sunmaktadır. Çalışma kapsamında kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmış, rota analizleri gerçekleştirilmiş ve dinamik ücret hesaplama mekanizması geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Taksimetre, Dijital Ulaşım Sistemleri, Harita Entegrasyonu, Google Maps API, Ücret Hesaplama, Web Tabanlı Uygulama

## Abstract

Recent technological developments have accelerated digital transformation in the transportation sector. In particular, the reliability, transparency, and user-friendliness of systems used in taxi services have become increasingly important. In this study, a smart taximeter system supported by the Google Maps API was developed using Python and JavaScript programming languages. The developed system is designed to perform user location detection, route information processing, distance estimation, estimated travel time calculation, and fare computation in a digital environment. In contrast to conventional taximeter systems, the proposed structure operates in integration with map services and provides a more functional fare calculation approach based on route and distance information. Within the scope of the study, a user-friendly interface was designed, route analyses were performed, and a dynamic fare calculation mechanism was developed.

**Keywords:** Smart Taximeter, Digital Transportation Systems, Map Integration, Google Maps API, Fare Calculation, Web-Based Application.

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026 - IZMIR
Volume I - ISBN NR. : 978-625-8795-15-8

# KURUMSAL YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİNDE RAG KULLANIMIYLA HALÜSİNASYONLARIN AZALTILMASI

**Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR**
Experilabs (SahaBT Yazılım), Ar-Ge Merkezi,
senem.vahaplar@experilabs.com - 0000-0002-8419-971X

**Mehmet Hakkı ERSOY**
Experilabs (SahaBT Yazılım), Ar-Ge Merkezi,
hakki.ersoy@experilabs.com

**Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU**
Marmara Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr - 0000-0003-0296-106X

## ÖZET

Büyük dil modelleri (Large Language Models - LLM), doğal dil işleme alanında önemli ilerlemeler sağlamış ve kurumsal bilgi sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu modellerin kurumsal ortamlarda kullanımını sınırlayan en önemli problemlerden biri, eğitim verilerinde yer almayan veya gerçek bilgi kaynaklarıyla desteklenmeyen içerikler üretebilmeleri olarak tanımlanan halüsinasyon problemidir. Özellikle insan kaynakları süreçleri gibi kurum içi politika, prosedür ve iş kurallarına dayalı alanlarda yanlış veya eksik bilgi üretilmesi; çalışan memnuniyeti, operasyonel süreçlerin etkinliği ve kurumsal uyumluluk açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle üretken yapay zekâ sistemlerinin kurumsal bilgi kaynaklarıyla desteklenmesi kritik bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Bu çalışmada kurumsal insan kaynakları bilgi asistanlarında Retrieval-Augmented Generation (RAG) yaklaşımının halüsinasyonların azaltılması ve yanıt doğruluğunun artırılması üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında yıllık izin, uzaktan çalışma, fazla mesai, performans değerlendirme, eğitim, işe alım ve benzeri süreçleri kapsayan kurumsal insan kaynakları prosedürlerinden oluşan bir bilgi tabanı hazırlanmıştır. Deneysel değerlendirme sürecinde oluşturulan soru setleri hem doğrudan LLM kullanılarak hem de RAG destekli yapı üzerinden cevaplandırılmıştır. Elde edilen yanıtlar doğruluk, kaynak gösterilebilirlik ve halüsinasyon oranı açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, RAG kullanımının kurumsal bilgi kaynaklarına dayalı cevap üretimini güçlendirdiğini, halüsinasyon oranlarını azalttığını ve

özellikle prosedür bazlı sorularda yanıt doğruluğunu artırdığını göstermektedir. Çalışmanın, insan kaynakları başta olmak üzere kurumsal bilgi yönetimi, iç destek sistemleri ve yapay zekâ destekli karar destek uygulamalarında RAG mimarilerinin kullanımına yönelik uygulamalı bir değerlendirme sunması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi Getirme Destekli Üretim (Retrieval-Augmented Generation - RAG), Büyük Dil Modelleri (Large Language Models - LLM), Halüsinasyon

## Reducing Hallucination in Enterprise AI Systems Using Retrieval-Augmented Generation

**Abstract:** Large Language Models (LLMs) have achieved significant advances in the field of Natural Language Processing (NLP) and have become increasingly adopted in enterprise information systems. However, one of the most critical challenges limiting their use in organizational environments is the hallucination problem, which refers to the generation of content that is not supported by real information sources or is absent from the model's training data. In domains such as human resources, where responses rely heavily on organizational policies, procedures, and business rules, the generation of inaccurate or incomplete information may create substantial risks in terms of employee satisfaction, operational efficiency, and organizational compliance. Therefore, enriching generative AI systems with enterprise knowledge sources has become a critical requirement.

This study investigates the impact of Retrieval-Augmented Generation (RAG) on reducing hallucinations and improving response accuracy in enterprise human resources assistants. A knowledge base was developed using organizational human resources procedures covering annual leave, remote working, overtime, performance evaluation, training, recruitment, and related processes. During the experimental evaluation, a predefined set of questions was answered using both a standalone LLM and a RAG-supported architecture. The generated responses were compared in terms of accuracy, source attribution, and hallucination rate. The results demonstrate that the use of RAG strengthens knowledge-grounded response generation, reduces hallucination rates, and improves response accuracy, particularly for procedure-based queries. The study aims to provide an applied evaluation of RAG architectures for enterprise knowledge management, internal support systems, and AI-assisted decision support applications, with a particular focus on human resources environments.

**Keywords:** Retrieval-Augmented Generation (RAG), Large Language Models (LLM), Hallucination

# AKILLI PERFORMANS YÖNETİMİ İÇİN VERİ ODAKLI BİR OKR ÇERÇEVESİ

**Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR**
Experilabs (SahaBT Yazılım), Ar-Ge Merkezi,
senem.vahaplar@experilabs.com - 0000-0002-8419-971X

**Yavuz ŞAHİN**
Experilabs (SahaBT Yazılım), Ar-Ge Merkezi,
yavuz.sahin@experilabs.com

**Mehmet Hakkı ERSOY**
Experilabs (SahaBT Yazılım), Ar-Ge Merkezi,
hakki.ersoy@experilabs.com

**Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU**
Marmara Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr - 0000-0003-0296-106X

## ÖZET

Günümüzdeki modern organizasyonlarda hedef belirleme, performans izleme ve organizasyonel hizalama süreçleri giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Geleneksel performans yönetimi yaklaşımları çoğunlukla manuel süreçlere ve statik hedef takip mekanizmalarına dayanmaktadır. Bununla birlikte, mevcut OKR (Amaçlar ve Anahtar Sonuçlar - Objectives and Key Results) platformlarının büyük bir kısmı veri odaklı karar desteği, öngörüsel performans analitiği ve simülasyon destekli değerlendirme yetenekleri açısından önemli sınırlılıklar barındırmaktadır. Özellikle ekipler arası hedef uyumsuzlukları, performans değerlendirme süreçlerindeki gecikmeler ve dinamik karar mekanizmalarının eksikliği, organizasyonel verimlilik üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, organizasyonların hedef yönetimi süreçlerini daha etkin, ölçülebilir ve adaptif hale getirmek amacıyla veri odaklı bir OKR çerçevesi önerilmektedir. Önerilen yapı; birey, ekip, departman ve şirket seviyelerinde hedeflerin tanımlanmasını, izlenmesini, analiz edilmesini ve tahminlenmesini destekleyen çok katmanlı bir performans yönetim mimarisi sunmaktadır. Çalışma kapsamında çok seviyeli veri modeli, gerçek zamanlı izleme ve görselleştirme mekanizmaları, öneri sistemleri, performans analitiği ve simülasyon tabanlı karar destek

yapıları bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Önerilen çerçeve içerisinde geçmiş performans verileri, hedef ilerleme oranları ve kullanıcı etkileşimleri analiz edilerek adaptif OKR önerileri oluşturulmaktadır. Ayrıca farklı senaryolar altında hedeflere ulaşma olasılıklarının değerlendirilmesine yönelik simülasyon tabanlı modelleme yaklaşımı sunulmaktadır. Bu yapı sayesinde organizasyonların performans eğilimlerini daha erken aşamada analiz edebilmesi, kaynak planlamasını optimize edebilmesi ve veri odaklı stratejik kararlar alabilmesi amaçlanmaktadır. Özetle bu çalışma, geleneksel OKR sistemlerini statik hedef takip araçlarından çıkararak analitik, öngörüsel ve karar destek yeteneklerine sahip akıllı performans yönetim ortamlarına dönüştüren bütünleşik bir yaklaşım önermektedir. Önerilen çerçevenin organizasyonel hizalama, performans değerlendirme ve hedef yönetimi süreçlerine veri odaklı bir bakış açısı kazandırması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** OKR (Amaçlar ve Anahtar Sonuçlar), Performans Yönetimi, Veri Odaklı Karar Destek

## A Data-Driven OKR Framework for Intelligent Performance Management

**Abstract:** Today, goal setting, performance monitoring, and organizational alignment processes in modern organizations are becoming increasingly complex. Traditional performance management approaches are largely based on manual processes and static goal-tracking mechanisms. However, a significant portion of existing OKR (Objectives and Key Results) platforms have substantial limitations in terms of data-driven decision support, predictive performance analytics, and simulation-assisted evaluation capabilities. In particular, goal misalignment between teams, delays in performance evaluation processes, and the lack of dynamic decision-making mechanisms negatively affect organizational efficiency. In this study, a data-driven OKR framework is proposed to make organizational goal management processes more effective, measurable, and adaptive. The proposed structure presents a multi-layered performance management architecture that supports the definition, monitoring, analysis, and prediction of goals at individual, team, department, and organizational levels. Within the scope of the study, a multi-level data model, real-time monitoring and visualization mechanisms, recommendation systems, performance analytics, and simulation-based decision support structures are addressed through an integrated approach. Within the proposed framework, adaptive OKR recommendations are generated by analyzing historical performance data, goal progress rates, and user interactions. In addition, a simulation-based modeling approach is presented to evaluate the probability of achieving goals under different scenarios. This structure aims to enable organizations to analyze performance trends at earlier stages, optimize resource planning processes, and make data-driven strategic decisions. Briefly, this study proposes an integrated approach that transforms traditional OKR systems from static goal-tracking tools into intelligent performance management environments equipped with analytical, predictive, and decision-support capabilities. The proposed framework is expected to provide a data-driven perspective for organizational alignment, performance evaluation, and goal management processes.

**Keywords:** OKR (Objectives and Key Results), Performance Management, Data-Driven Decision Support

# Kentsel Gürültü Yönetiminde Sessiz Alan Planlanması: AB ve Türkiye Pratiklerinin Karşılaştırmalı Analizi

**Hatice ŞENSES**
Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
h.senses2022@gtu.edu.tr - 0009-0005-2737-2693

**Dr. Öğr. Üyesi Nüket İpek ÇETİN**
Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
nipekcetin@gtu.edu.tr - 0000-0002-8141-8112

## ÖZET

Kentsel gürültü kirliliği, Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hava kirliliğinin ardından kentlerde insan sağlığını tehdit eden ikinci büyük çevresel risk faktörüdür. Yapılan araştırmalarda, 2011 yılında sadece Batı Avrupa'da trafik kaynaklı gürültü nedeniyle bir milyon sağlıklı yaşam kaybedildiği tahmin edilmekteyken (WHO, 2011); 2025 verilerine göre Avrupa'da ulaşım gürültüsüne bağlı olarak her yıl yaklaşık 66.000 erken ölüm gerçekleşmekte ve bunun ekonomik maliyeti 95,6 milyar Euro'ya ulaşmaktadır (EEA, 2025). 2018 tarihli Avrupa Bölgesi Çevresel Gürültü Kılavuzu'nda ise aşırı gürültüye kronik olarak maruz kalmanın insan sağlığında bilişsel performans, uyku düzeni ve kardiyovasküler sağlık üzerinde yarattığı önemli etkiler bilimsel verilerle ortaya konmaktadır (WHO, 2018). Bu tablo kentsel gürültü yönetimini kent ve toplum sağlığının sürdürülebilirliğindeki kritik hususlardan biri olarak karşımıza çıkarmaktadır. Günümüzde kentsel gürültü yönetimi çoğunlukla desibel ölçümleri ve sınır değer denetimleriyle sınırlı kalmakta; kullanıcı algısı ve mekânsal deneyimleri dışında tutulmaktadır. Bu noktada son yıllarda öne çıkan işitsel peyzaj (soundscape) yaklaşımı akustik çevreyi fiziksel ölçümün yanı sıra, kullanıcının mekânı nasıl deneyimlediği ve algıladığının üzerinden değerlendirerek, kentsel gürültü yönetiminde kullanıcı odaklı bir perspektif sunmaktadır. Sessiz alan planlaması ise bu yaklaşımın pratik karşılığı olarak; parklar, kıyı alanları ve yaya mekânlarında olumlu akustik koşulların geliştirilmesi ve korunmasını destekleyerek hem kent

sakinlerinin psikolojik iyilik halinin hem de kentsel yaşam kalitesini olumlu etkileyebilecek bir fırsat aracı olarak öne çıkmaktadır. AB, 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültü Direktifi ile stratejik gürültü haritaları, eylem planları ve sessiz alan belirlemeye ilişkin tanımlanan yükümlülüklere bağlı olarak; sessiz alan uygulamalarını yeşil altyapı, açık alan tasarımı ve işitsel peyzaj değerlendirmeleriyle bütünleşik bir çerçevede yürütmektedir. Türkiye'de ise 2022 tarihli Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği (ÇGKY) sessiz alan kavramını tanımlamış olmasına rağmen sessiz alan belirleme kriterleri, yönetim mekanizmaları ve planlama süreçlerine entegrasyon konularında standartlaştırılmış bir yol haritası bulunmamaktadır. Bu çalışmada, AB ve Türkiye'deki kentsel gürültü yönetimi yaklaşımları sessiz alan planlaması açısından karşılaştırılmaktadır. AB, işitsel peyzajı temel alan bütünleşik bir çerçeve izlerken; Türkiye'nin yasal ve kurumsal yapısı ile kentsel gürültü yönetimi pratikleri ciddi farklılıklar göstermektedir. Bu doğrultuda çalışmanın, Türkiye'de sessiz alan planlamasının geliştirilmesine yönelik kavramsal bir çerçeve sunacağı ve kentsel gürültü yönetiminde insan odaklı, yaşam kalitesini önceleyen bir yol haritası sunacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Gürültü kirliliği, işitsel peyzaj, kentsel gürültü yönetimi, kentsel planlama, sessiz alan planlaması

# YENİ AVRUPA BAUHAUS İLKELERİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİ MİRASININ SANAT MERKEZİ OLARAK UYARLANABİLİR YENİDEN KULLANIMI: CERMODERN ÖRNEĞİ

**Zeyneb KIZILKAYA**

Yıldız Teknik Üniversitesi,

zeynebkzl@gmail.com - 0009-0008-8314-7900

**Doç. Dr. Selin YILDIZ**

Yıldız Teknik Üniversitesi,

semir@yildiz.edu.tr - 0000-0001-6913-6940

## ÖZET

Kentler zaman içerisinde değişen ve gelişen dinamik bir yapıya sahip olmaları sebebiyle kentsel kimliğin korunarak gelecek nesillere aktarılması konusunda önemli bir sorumluluğa sahiptir. Endüstri Devrimi ile kurulan ve dönemin önemli bir kimliğini oluşturan sanayi yapıları, kentleşme süreciyle kent merkezinde kalmıştır. Bu yapılar âtıl olmalarına rağmen kuruluş dönemlerindeki kent kimliğini ve endüstri mirasını günümüze kadar taşıyan önemli bir role sahiptir. Bu çalışma söz konusu olan Endüstri Mirası yapılarının uyarlanabilir yeniden kullanım (adaptive reuse) yaklaşımıyla sanat merkezi işlevi ile kentlere kazandırılmasını, aynı zamanda "Yeni Avrupa Bauhaus" (YAB) hareketinin ilkeleri çerçevesinde incelemeyi hedeflemektedir.

Cer Atölyeleri, Erken Cumhuriyet Dönemi'nde yeni başkent Ankara'nın en önemli sanayi merkezlerinde konumlanan bu atölyeler demiryolu bakım atölyesi olarak anılmaktadır. İşlevini tamamlamış âtıl hale geldikten sonra önce yıkım kararı verilmiştir. Fakat yapı uyarlanabilir yeniden kullanım yaklaşımı çerçevesinde işlevini kaybetmiş Cer Atölyeleri'nin CerModern isimli Çağdaş Sanat Merkezi'ne dönüştürülmesi kararı alınmıştır. Aynı zamanda çalışmada YAB hareketinin sürdürülebilirlik, estetik ve kapsayıcılık olmak üzere üç ilkesi çerçevesinde incelenmesi hedeflenmiştir. Bu ilkeler ile yapının endüstriyel dokusunun korunması ve geliştirilen yenilikçi mimari yaklaşımları estetik bağlamında, atık ve karbon üretimini engelleyen ilkeleri sürdürülebilirlik bağlamında ve farklı sosyal grupların katılımlarının ön planda tutulması kapsayıcılık bağlamında analiz edilmiştir.

Sonuç olarak âtıl ve işlevsiz hale gelen yapıların yıkılması yerine yeniden işlevlendirilmesi hem uyarlanabilir yeniden kullanım ilkeleri hem de YAB yaklaşımının sürdürülebilirlik ilkesi ile doğrudan örtüşmektedir. CerModern dönüşümü endüstriyel mirasın YAB ilkeleriyle uyumlu bir biçimde yeniden işlevlendirilmesinin hem kültürel sürekliliği sağladığını hem de kentlere estetik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açıdan katkısı olduğunu kanıtlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Uyarlanabilir Yeniden Kullanım, Yeni Avrupa Bauhaus, Endüstri Mirası, Sanat Merkezi, CerModern

# AFET RİSKİ Mİ, POLİTİKA ARACI MI? TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN YASAL VE KURUMSAL ÇERÇEVESİ

**Şehir ve Bölge Plancısı Nesrin BAY**

Yıldız Teknik Üniversitesi

nesrin.bay@std.yildiz.edu.tr- https://orcid.org/0009-0001-1474-9384

**Doç. Dr. Ercan KOÇ**

Yıldız Teknik Üniversitesi

Mimarlik Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

kocercanozan@gmail.com- https://orcid.org/0000-0001-6676-5434

## ÖZET

Kentsel dönüşüm canlı bir organizma olan kentlerin doğal bir sürecidir. Kentler süreç içerisinde değişir ve dönüşür. Bu değişim ve dönüşüm sürecinde belli bir süre uzak kaldığımız kentsel mekanları geri döndüğümüzde farklı ve/veya tanıyamama ölçüsüne varabilir ki, yasadışı uygulamaların yaygın olduğu kentsel mekanlarda dönüşümün ve müdahalenin ölçeği de artar. Bu kapsam söz konusu dönüşümü; planlı yönlendirmeye, kentsel sorunların çözümünde bir araç olarak kullanmaya, sürdürülebilir yerleşme sistemlerine ulaşmaya, dirençli kentsel mekan olgusunu ve kamu yararını etkin kılmaya yönelik kentsel dönüşüm projeleri sürecini yönlendirmiştir. 1800'lü yıllara odaklanan bu süreç ülkemizde ağırlıkla 1980 sonrası benimsenmiş, İstanbul'da Haliç operasyonları, Ankara'da Dikmen ve Portakal Çiçeği Vadileri uygulamaları mekansal dönüşümün yanı sıra sosyal ve ekonomik boyutun da önemsendiği uygulamalar olarak izlenmektedir.

Türkiye'de kentsel dönüşüm, gerçek riskler ile yüzleşilen ve çok ciddi maddi ve manevi kayıplar yaşanan 1999 Marmara Depremi ve 2023 Kahramanmaraş Depremleri sürecinde afet riski söylemi üzerinden köklü bir yasal dönüşüm geçirmiştir. Bu çalışmada, Yenileme Yasası ve Belediye Yasasının 73. Maddesi yanı sıra günümüzde kentsel dönüşüm süreçlerinin dayanağını oluşturan 6306 sayılı Kanun ile bu Kanun'da 7471 ve 7452 sayılı Kanunlarla yapılan değişikliklerin planlama ve uygulama araçları üzerindeki etkilerini mevzuat analizi ve literatür incelemesi yöntemiyle eleştirel bir perspektiften değerlendirmektedir. Çalışmanın kuramsal çerçevesi, kentsel dönüşümün 5N1K soruları üzerinden açıklanmasına dayanmaktadır. Bu kapsamda "dönüşüm kimin için gerçekleştirilmektedir?" sorusu temel araştırma ekseni olarak ele alınmaktadır. Bulgular, üç temel sorun etrafında şekillenmektedir. Bu kapsamda öne çıkan olgu riskli yapı, riskli alan ve rezerv yapı alanı kavramlarının muğlak ve genişletilmiş tanımları ile idareye mülkiyet hakkı ile konut dokunulmazlığına müdahale noktasında geniş bir takdir yetkisi tanıyor olmasıdır. İkinci önemli olgu ise olarak 2023'te kurulan Kentsel Dönüşüm Başkanlığı aracılığıyla planlama yetkilerinin merkezileşmesi, yerel yönetimlerin özerkliğini fiilen ikincil konuma itmiş olmasıdır. Üçüncü olarak çoğunluk eşiğinin salt çoğunluğa

düşürülmesi ve acele kamulaştırmanın olağanlaştırılması, katılımcı planlama ilkelerini işlevsizleşmesidir. Çalışma, afet odaklı kentsel dönüşümün teknik bir güvenlik meselesinin ötesine geçerek merkezi idarenin mekansal kontrolünü pekiştiren, sermayeye yer seçimi ve yapabilirlik olanağı sağlayan bir politika aracına dönüştüğünü ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan uygulama araçları farklı tarihlerde farklı uygulama araçları ile değerlendirilerek günümüzde rezerv yapı alanına dönüşmüş Trabzon Ortahisar uygulaması ile örneklendirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bildiri, yürütülmekte olan yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel Dönüşüm, Afet Riski, Planlama Araçları, Merkezileşme, Mülkiyet Hakkı

## 1. GİRİŞ

Türkiye'de kentsel dönüşümün tarihsel gelişimi, kentsel mekanın sadece fiziksel yenilenmesi değil, aynı zamanda mülkiyet rejiminin ve kamu otoritesinin yeniden inşası sürecidir (Özlüer, 2025a). 1999 Marmara Depremi, 2023 Maraş Depremleri ve yönetim sisteminde yaşanan köklü dönüşüm süreçleri planlama disiplininde sakınım planlaması kavramının merkezileşmesine ve afet riskinin kentleşme politikalarının ana ekseni haline gelmesine neden olmuştur (Ağın & Zengin Çelik, 2022; Özlüer, 2025b). Bu süreçte 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, afetle mücadeleyi bir uygulama çerçevesine oturtmuştur (Özlüer, 2025b). Ancak kentsel dönüşüm, zamanla afet risklerini azaltma amacından uzaklaşarak, iktisadi bir birikim modeli ve merkezi idarenin yerel yönetimler üzerindeki vesayetini artıran bir araca dönüşmüştür (Giritlioğlu, 2025). Düzenlemelerin kentin yerleşik alanlarına yönelen sermaye kesimine yer seçimi, yatırım ve mülkiyet hakkına müdahale açısından yapabilirlik boyutu da afet odaklı bakış açısı ile yatırım amaçlı yer seçimi olgularını tartışılır hale getirmiştir.

Planlama pratiğinde kentsel dönüşüm, başlangıçta 775 sayılı Gecekondu Kanunu ve 2981 sayılı İmar Affı yasaları gibi parçacıl düzenlemelerle yürütülürken, 2000'li yıllardan itibaren daha kapsayıcı ve müdahaleci bir yasal zemine kavuşmuştur (Neval Genç, 2024). Özellikle 3194 sayılı İmar Kanunu ve 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73. maddesi ile belediyelere tanınan yetkiler, 6306 sayılı Kanun ve sonrasında yapılan 7471 sayılı değişiklikler ile büyük oranda merkezi idareye, özellikle de yeni kurulan Kentsel Dönüşüm Başkanlığı'na devredilmiştir (Kayalık & Erbaş Melis, 2024; Taşkıran & Uzun, 2020). Bu durum, şehircilik ilkeleri bağlamında yere özgülük ve yerellik aşınmasına ve planlama süreçlerinin katılımcılıktan uzaklaşarak tepeden inmeci bir yapıya bürünmesine yol açmaktadır (Yıldız, 2025).

Bu çalışmanın temel sorunsalı, kentsel dönüşüm mevzuatında yer alan planlama ve uygulama araçlarının mülkiyet hakkı, konut dokunulmazlığı ve yerel özerklik üzerindeki etkileridir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerden sonra çıkarılan 7452 ve 7471 sayılı Kanunlar, olağanüstü hal mekanizmalarını kalıcı hale getirerek kentsel dönüşümde hız ve ivedilik gerekçesiyle denetim mekanizmalarını zayıflatmıştır (Özlüer, 2025a). Bu bildiri kapsamında, mülkiyetin doğrudan hazineye devri, rezerv alan tanımlarındaki yerleşik alanları da içeren radikal genişleme ve idarenin resen uygulama yetkileri, şehircilik ve hukuk disiplinleri arasındaki gerilim hatları üzerinden analiz edilecektir.

## 2. KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN KAVRAMSAL VE YASAL ÇERÇEVESİ

Kentsel dönüşüm, şehircilik literatüründe eskimiş, işlevini yitirmiş veya afet riski taşıyan kentsel dokuların fiziksel, sosyal ve ekonomik açılardan yenilenmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu kavram, planlama pratiğinde sadece teknik bir müdahale değil, Henri Lefebvre'in mekânın üretimi kuramı bağlamında stratejik ve siyasal boyutları da içeren bütünüdür. Yusuf Erbay'ın (2024) 5N1K yöntemiyle kentsel dönüşümü anlamlandırma çabası, bu olgunun "ne, niçin, nasıl, nerede, ne zaman ve kim" tarafından üretildiğini sorgulayarak kavramın gerisindeki ekonomi-politik dinamikleri deşifre etmektedir.

Erbay'a göre kentsel dönüşüm, kentin belli zaman aralıklarıyla yaşadığı organik değişimlerden ziyade, dışsal ve planlı müdahalelerle gerçekleştirilen inorganik bir süreçtir (Erbay, 2024). Ne sorusu kapsamında dönüşüm; toplumsal, ekonomik ve siyasal amaçları olan kentsel bir

operasyondur. Niçin sorusuna verilen teorik yanıt afet güvenliği ve sağlıklı yaşam çevreleri oluşturmak olsa da, uygulama pratiğinde asıl motivasyonun sıklıkla kentsel rantın yeniden üretimi ve ekonomik dinamizm olduğu görülmektedir. Nasıl sorusu ile yöntem boyutu tartışılmakta; yenileme, sağlıklaştırma, soylulaştırma ve koruma gibi farklı modelleri içerirken, güncel mevzuat bu süreci daha çok yık-yap odaklı bir müteahhitlik faaliyetine indirgemektedir. Nerede sorusu, başlangıçta riskli alanlar ve çöküntü bölgeleriyle sınırlıyken, günümüzde rezerv alan tanımlarındaki genişlemeyle kentin her noktasını müdahale alanı haline getirmiştir. Ne Zaman sorusu ise dönüşümün süreç boyutunu neo-liberal kentleşme politikalarının ve yıkıcı depremlerin yarattığı kriz yönetimi dönemlerini açıklamaktadır. Erbay'ın (2024) analizindeki en çarpıcı kırılma, "kim?" sorusunun "kim için?" sorusuna evrilmesidir. Bu durum, dönüşümün toplumsal yarar ve mülkiyet hakkı mı, yoksa sermaye birikimi ve rant dağıtımı için mi araçsallaştırıldığı tartışmasının odak noktasıdır (Erbay, 2024).

Afet ve kentsel dönüşüm tüzesi incelendiğinde kentsel dönüşümün tanımı; 2005 yılında düzenlenmiş; 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73. maddesinde "konut, sanayi ve ticaret alanları oluşturmak, kentin tarihi dokusunu korumak veya deprem riskine karşı tedbirler almak" gibi geniş bir yelpazede kurgulanmıştır (5393 Sayılı Belediye Kanunu, 2005). Buna karşın, 6306 sayılı Kanun ve ilgili yönetmelikte tanım, tamamen afet riski altındaki alanlar ve yapılar odağına sıkıştırılarak bir uygulama yasası niteliği kazandırılmıştır (Neval Genç, 2024). Kentsel dönüşüm tüzesinin bu iki farklı tanım düzlemi arasındaki gerilim, planlama pratiğinde yerelliğin tasfiyesi ve merkezileşme ile sonuçlanmıştır. 5393 sayılı Kanun dönüşümü yerel meclis kararına ve uzlaşmaya dayalı bir belediye yetkisi olarak tanımlarken (5393 Sayılı Belediye Kanunu, 2005); 6306 sayılı Kanun, süreci Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Kentsel Dönüşüm Başkanlığı'nın sınırsız takdir yetkisine sahip olduğu, mülkiyet rızası aramayan operasyonel bir müdahale biçimi olarak yeniden üretmiştir (Erbay, 2024; Neval Genç, 2024). Sonuç olarak kentsel dönüşüm, yasal düzenlemelerde güvenli yaşam alanları oluşturmayı amaçlayan bir uygulama olarak tanımlansa da, planlama ve yargı süreçlerine ilişkin tartışmalarda çoğu zaman mekansal dönüşümün, mülkiyet ilişkilerinin ve kentsel rantın yeniden şekillenmesinde etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir (Erbay, 2024; Özlüer, 2025a). Uygulamanın ağırlıkla özel sektör eliyle gerçekleşmesi de mülkiyet sahipliliğininde parçalanma, yeni ve olası dönüşüm süreçlerinin önünde engel oluşturma, kentsel mekanda yoğunlaşma sorunlarını yönlendiren etmenlerdir.

## 3. MEVZUAT ANALİZİ VE UYGULAMA ARAÇLARI

Türkiye'de afet odaklı kentsel dönüşümün yasal altyapısı, özellikle 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Yasa ve bu Yasa üzerinde 2023 yılında yapılan radikal değişikliklerle (7471 ve 7452 sayılı Yasalar) şekillenmiştir. Bu bölüm, kentsel dönüşümün planlama ve uygulama araçlarını, merkezi otoritenin genişleyen yetkileri ve mülkiyet rejimine müdahaleler bağlamında detaylandırmaktadır.

### 3.1. **Planlama Yetkilerinin Merkezileşmesi ve Kentsel Dönüşüm Başkanlığı**

Türkiye'de imar planlama yetkisi, tarihsel süreçte yerel yönetimlerin asli görevi olarak kurgulanmış olsa da özellikle 2000'li yılların ortalarından itibaren bu yetkinin merkezi idareye doğru kaydığı radikal bir merkezileşme süreci yaşanmaktadır (Taşkıran & Uzun, 2020; Yıldız, 2025).

Kentsel mekâna yönelik ilk sistematik müdahale alanı ve aracı, 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73. maddesi ile tanımlanan Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Alanı ilanı olmuştur (5393 Sayılı Belediye Kanunu, 2005). Bu madde, belediyelere mahalli müşterek ihtiyaçlar doğrultusunda geniş bir yetki alanı açmış olsa da, uygulamada uzlaşma esasının ağırlığı süreci yavaşlatmıştır (5393 Sayılı Belediye Kanunu, 2005). Koruma alanlarındaki dönüşüm ihtiyacına yanıt olarak geliştirilen 5366 sayılı Yenileme Yasası ise, sit alanlarında Yenileme Alanı ilanı ile ikinci bir imar uygulama aracı oluşturmuştur (Azimli Çilingir & Örçen Güler, 2020).

Bu aşamalı gelişim, 6306 sayılı Kanun ile birlikte riskli yapı, riskli alan ve son olarak mülkiyet haklarını sınırsız kısıtlayabilen rezerv yapı alanı araçlarının düzenlenmesiyle merkeziyetçi bir zirveye ulaşmıştır. Bu süreç, kentsel dönüşüm mevzuatının evrimiyle birleşerek, yerel özerkliğin ve yerellik ilkesinin aşınmasına, planlama hiyerarşisinin ise merkezi vesayet lehine yeniden inşasına yol açmıştır (Özlüer, 2025b). Bu merkezileşme eğiliminin en somut ve güçlü iki yasal dayanağı; 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 9. maddesi ve 2023 yılında kurulan Kentsel Dönüşüm Başkanlığı'dır (Yıldız, 2025).

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 9. maddesi, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na; kamu yapıları, enerji tesisleri, afetler, toplu konut uygulamaları ve Gecekondu Kanunu'nun uygulanması gibi durumlarda yerel yönetimlerin yerine geçerek her tür ve ölçekte plan yapma, yaptırma, değiştirme ve resen onaylama yetkisi vermektedir (Yıldız, 2025). Hukuki niteliği itibariyle bu yetki, hem Bakanlığa doğrudan verilen bir asli yetki hem de mahalli idarelerin işlemleri üzerindeki bir vesayet denetimi olarak karşımıza çıkmaktadır (Yıldız, 2025).

Bakanlık, mahalli idarelerin yaptığı planları gerekli gördüğü hallerde değiştirebilmekte veya bu idarelerin hareketsiz kalması durumunda süreci doğrudan üstlenebilmektedir (Yıldız, 2025). Literatürde ve yargı içtihatlarında bu yetkinin istisnai olduğu vurgulansa da maddedeki içerisinden veya civarından demiryolu veya karayolu geçen alanlar gibi muğlak ifadeler, Bakanlığın Türkiye'nin neredeyse her noktasında planlama yetkisini kullanabilmesine zemin hazırlamıştır (Yıldız, 2025). Bu durum, istisnai olan müdahale imkânının pratikte genel bir kurala dönüşmesine ve ancak 1985 sonrası yerelleşmiş olan yerel yönetimlerin planlama yetkilerinin ikincil bir konuma itilmesine neden olmuştur. Hukuki olarak yetki ve usulde paralellik ilkesi gereği, Bakanlık tarafından resen onaylanan bir planın ancak yine Bakanlık tarafından değiştirilebilmesi, yerel yönetimlerin kendi yetki alanlarındaki mekânsal iradesini kalıcı olarak sakatlamaktadır (Yıldız, 2025).

16 Ekim 2023 tarihinde 153 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile kurulan Kentsel Dönüşüm Başkanlığı, merkeziyetçi planlama anlayışının kurumsal bir üst yapıya kavuştuğu en güncel aşamadır (Seçkin, 2024). Başkanlık, sadece 6306 sayılı Kanun'u değil, aynı zamanda 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73. maddesi ve 5366 sayılı Yenileme Kanunu kapsamındaki uygulamaları da tek elden yürütme ve bu alanlarda her tür planlama işlemini tesis etme yetkisine sahip kılınmıştır (Giritlioğlu, 2025).

Başkanlık, aynı zamanda afetlerle afetlerle ilgili dış hibe, kredi ve vergilerin toplandığı Dönüşüm Projeleri Özel Hesabını yöneten, özel bütçeli bir kamu otoritesi olarak kurgulanmıştır (Giritlioğlu, 2025). Başkanlığın kurumsal gücünü pekiştiren birkaç temel unsur öne çıkmaktadır. Bu mali yapı, Başkanlığa kamu denetiminden görece bağımsız ve operasyonel hızı yüksek bir şirket-devlet modeli niteliği kazandırmaktadır (Giritlioğlu, 2025). Beraberinde de7471 sayılı Yasa ile yapılan değişiklikler kapsamında Başkanlık, riskli yapı tespitini malikin

rızası olmaksızın resen yapabilmekte; engelleme durumunda ise mülki idare amirinin izniyle kolluk kuvveti aracılığıyla kapalı kapıları açtırabilmektedir (Seçkin, 2024). 7452 sayılı Yasa ile de deprem bölgelerinde yerleşme ve yapılaşma kararlarının imar planı onayı beklenmeksizin halihazır haritalar üzerinden alınabilmesi, geleneksel şehircilik ilkelerini ve plan hiyerarşisini fiilen işlevsiz kılmakta (Özlüer, 2025a); planlamayı dışlayan, planlama bütünlüğünü ortadan kaldıran süreçler yönlendirilmiştir.

Bu kurumsal ve yasal dönüşüm, şehir planlama pratiğinde yerellik ilkesini, yerel demokrasiyi ve planlamanın etkinliğini ciddi biçimde zayıflatmaktadır. Yerel yönetimlerin planlama süreçlerinden dışlanması, kentsel dönüşümün yerel ihtiyaçlardan kopuk, parçacıl projelere indirgemesine zemin hazırlamakta (Yıldız, 2025) ve konu parsel ölçeğinde uygulama içeriğine dönüştürülmektedir. Yerel yönetimlerin yetkisi teklif sunan birim düzeyine düşürülürken; planların 15 günlük kısa askı süreleri ve itirazların KDB tarafından 5 gün içinde karara bağlanması zorunluluğu, yargısal denetimi ve halkın katılımını işlevsiz hale getirmektedir (Neval Genç, 2024). Hızlandırılan yargı süreçlerine güven endeksinde de ciddi bir azalma izlenmiş, mülkiyet sahipleri için kentsel dönüşüm kavramı itici ve belirsiz süreçleri yönlendiren içeriğe dönüştürülmüştür.

Sonuç olarak planlama yetkilerinin KDB ve Bakanlık bünyesinde merkezileşmesi, kentsel mekânı merkezi idarenin kriz yönetimi söylemi üzerinden şekillendirilen teknik bir operasyon alanına dönüştürmüştür (Sever, 2023). Bu merkeziyetçi eğilim, yerel yönetimlere duyulan sistemsel güvensizliği yansıtmaktadır. Bunun yanı sıra bütüncül planlama anlayışını zayıflatarak mülkiyet hakkı ile yaşam hakkı arasındaki dengeyi, idari takdir yetkisinin belirsizliğine terk etmektedir (Özlüer, 2025a). Bütün bu süreçte geciken ve/veya direnç sergilenen uygulamalar ile gerçek riskli alanları bütüncül bir planlama anlayışı ile belirlemeyen, etaplamayan, mülkiyet sahiplerinin ekonomik yapıları ile örtüşmeyen katılımsız modeller, merkezi yönetimi sermayenin yanında, destekleyen aktör algısı, bütünde yetersiz kalan kentsel dönüşüm uygulama oranının girdileridir.

### 3.2. Mekânsal Müdahale Araçları: Riskli Yapı, Riskli Alan ve Rezerv Yapı Alanı

2012 tarihli 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Yasa, kentsel mekana müdahale biçimlerini riskli yapı, riskli alan ve rezerv yapı alanı olmak üzere üç temel kavramsal araç üzerine inşa etmiştir. (6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, 2012). Şehir planlama pratiği ve hukuk disiplini açısından bu araçlar, kentsel dokunun fiziksel güvenliğini sağlama iddiası taşımakla birlikte, mülkiyet hukukunun sınırlarını zorlayan ve idareye geniş takdir yetkisi tanıyan operasyonel mekanizmalara dönüşmüş ve özellikle 7471 ve 7452 sayılı Kanunlarla getirilen son değişiklikler, bu araçların tanımlarını ve uygulama usullerini hız ve merkeziyetçilik odağında yeniden şekillendirmiştir (Seçkin, 2024).

A. Riskli Yapı: Resen Tespit ve Zor Kullanma Yetkisi

6306 sayılı Yasada riskli yapı riskli yapı, riskli alan içinde veya dışında olup, ekonomik ömrünü tamamlamış olan ya da yıkılma veya ağır hasar görme riski taşıdığı bilimsel ve teknik verilere dayanılarak tespit edilen yapı olarak tanımlanmıştır (6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, 2012). Şehircilik hukukunda yapı kavramı geniş bir kapsama sahipken, 6306 sayılı Kanun uygulamasında bu kavramın bina ölçeğine indirgendiği görülmektedir (Seçkin, 2024). Düzenleme ile Kentsel Dönüşüm Başkanlığına veya yetkili

idareye bu tespiti maliklerin rızasını aramaksızın resen yapma yetkisi verilmiştir (Seçkin, 2024).

Şehir planlama ve hukuk disiplinleri arasındaki en büyük gerilim alanı, bu tespit sürecinde kullanılan zor kullanma yetkisidir. Eğer riskli yapı tespiti maliklerce engellenirse (kapıların açılmaması, tehdit, cebir vb.), mülki idare amirinin yazılı izniyle kolluk kuvveti marifetiyle kapalı kapıların açılması ve bağımsız bölümlere girilmesi yasal bir imkân haline gelmiştir (6306 Sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği, 2012). Seçkin'e (2024) göre bu durum, Anayasa'nın 21. maddesinde düzenlenen konut dokunulmazlığı hakkı ile doğrudan çelişmekte ve hâkim kararı olmaksızın mülke müdahaleyi mümkün kılarak hukuki güvenlik ilkesini zedelemektedir. Ayrıca, ekonomik ömrünü tamamlama kriterinin mevzuatta net bir teknik karşılığının bulunmaması, idareye ucu açık bir takdir yetkisi sunmakta ve kentsel dönüşümü katılımcı bir süreçten ziyade idari bir kolluk faaliyetine indirgemektedir.

B. Riskli Alan: Belirlilik Sorunu ve Afet Sonrası Müdahale Anlayışı

Riskli alan; zemin yapısı veya üzerindeki yapılaşma sebebiyle can ve mal kaybına yol açma riski taşıyan ve Cumhurbaşkanınca kararlaştırılan alanları tanımlar (TBMM, 2012). Şehir planlama ilkeleri bağlamında riskli alan ilanının sakınım planlaması doğrultusunda, afet gerçekleşmeden önce bilimsel verilere dayanarak yapılması esastır (Ağın & Zengin Çelik, 2022). Ancak uygulama örnekleri, riskli alan ilanlarının genellikle afet öncesi bir önlem değil, afet sonrası bir müdahale biçimi olarak kullanıldığını göstermektedir. Örneğin, 2011 Van Depremi sonrası Van-Erciş'in veya 2015-2016 yıllarında bölgedeki çatışmalar sonrası Güneydoğu Anadolu'daki bazı bölgelerin riskli alan ilan edilmesi bu durumu doğrulamaktadır (Ağın & Zengin Çelik, 2022).

Literatürdeki en temel eleştiri, riskli alan tespitine ilişkin kriterlerin yasada muğlak bırakılmış olmasıdır (Ağın & Zengin Çelik, 2022). Kanuna eklenen Ek Madde 1 ile; yapıların %65'inin imar mevzuatına aykırı olması veya altyapı hizmetlerinin yetersizliği gibi teknik gerekçeler de riskli alan ilanı için yeterli sayılmıştır (Sever, 2023). Bu durum, idarenin afet riski söylemini kullanarak aslında zemin açısından güvenli olabilecek alanları dahi dönüşüm kapsamına almasına, Ankara ve Konya gibi görece düşük riskli bölgelerde yoğun riskli alan ilanları yapılmasına yol açmıştır (Ağın & Zengin Çelik, 2022). 2023 Depremlerinde neredeyse tümden yıkılmış olan Antakya ve İskenderun merkezlerinde riskli alan ilanlarının yıllarca uygulama görmemesi ve deprem öncesi süreçlerde riskli alan kararlarının kaldırılmış olması da konunun ne kadar hafife alındığını yansıtmakta ve bilimsel veriler içeriğinin ötesinde bir değerlendirme sistemini vurgulamaktadır. Bu tablo, dönüşümün kimin için yapıldığı sorusunu akıllara getirmekte ve mülkiyetin el değiştirmesi süreçlerinde idari takdir yetkisinin sınırlarını tartışmalı hale getirmektedir (Ağın & Zengin Çelik, 2022).

C. Rezerv Yapı Alanı: Yeni Yerleşim Alanı Şartının Kaldırılması

6306 sayılı mevzuatın en radikal dönüşümü rezerv yapı alanı kavramında yaşanmıştır. Başlangıçta bu kavram, doğru içeriği ile riskli alanlarda yaşayanların geçici nakledileceği riskli alanlarda yaşayanların nakledileceği yeni yerleşim alanları için tanımlanmışken, 9 Kasım 2023 tarihli değişiklikle tanımdaki yeni yerleşim alanı ibaresi çıkarılmıştır (Kayalık & Erbaş Melis, 2024; Özlüer, 2025b). Bu değişiklik, şehir planlama pratiğinde meskun mahal içindeki yerleşik mahallelerin, parkların, askeri alanların ve hatta doğrudan özel mülkiyete konu yerleşim yerlerinin Kentsel Dönüşüm Başkanlığı kararıyla rezerv alan ilan edilmesinin önünü açmıştır (Kayalık & Erbaş Melis, 2024; Özlüer, 2025b).

Özkaya Özlüer'e (2025) göre bu değişiklik planlama hiyerarşisi üzerinde üç temel sorun yaratmaktadır. İlk olarak, bir alanın neden riskli alan yerine rezerv alan ilan edildiğine dair hukuki ayrım ortadan kalkmış; idareler Cumhurbaşkanı kararı gerektiren riskli alan yolunu devre dışı bırakarak Başkanlık onayıyla sonuçlanan rezerv alan yöntemini birincil müdahale aracı olarak kullanmaya başlamıştır. İkinci olarak, Uygulama Yönetmeliği'nin 4. maddesi kapsamında rezerv alan ilanı için bilimsel ve teknik etütler yerine gözlemsel verilere dayalı gerekçe raporlarının yeterli sayılması, yargısal denetimin fiilen işlevsiz kılınmasıdır. Nitekim Danıştay İdari Dava Daireleri Kurulu bu düzenlemenin bilimsel dayanaktan yoksun olduğunu vurgulayarak yürütmenin durdurulması yönünde değerlendirmelerde bulunmuştur. Üçüncü olarak, rezerv alan ilanıyla birlikte taşınmazların mülkiyetinin Bakanlık veya Kentsel Dönüşüm Başkanlığı adına re'sen tescil edilebilmesi, mülkiyet hakkını afet güvenliği söylemi üzerinden idari bir takdir alanına hapsetmesi, dar gelirli gruplar için zedelenen mülkiyet haklarıdır. Bu kapsamda; riskli yapı, riskli alan ve rezerv yapı alanı imar uygulama araçları, kentsel dönüşümün teknik bir sakınım faaliyeti olmaktan çıkarak, idarenin kentsel mekana mülkiyet rızası aramaksızın müdahale edebildiği operasyonel birer aygıta dönüşme sürecini yönlendirmiştir. Uygulama örnekleri bağlamında günümüzün yaygın imar uygulama araçları, kentlerin bütüncül planlama anlayışından uzaklaşmasına ve mülkiyet hakkının hızlı karar alma süreçleri karşısında zayıflamasına neden olabilmektedir.

### 3.3. 7452 Sayılı Kanun ve Olağanüstü Hal Dönüşümü

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından kentsel dönüşüm mevzuatı, hız ve ivedilik söylemleri ekseninde radikal bir paradigma değişimine uğramıştır (Özlüer, 2025a; Seçkin, 2024). Bu sürecin en somut yasal ürünü olan 7452 sayılı Olağanüstü Hal Kapsamında Yerleşme ve Yapılaşmaya İlişkin Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin Kabul Edilmesine Dair Kanun, başlangıçta 126 sayılı Olağanüstü Hal Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi olarak yürürlüğe girmiş ve daha sonra kanunlaşarak hukuk sistemine dahil olmuştur (Özlüer, 2025a). Kanun, afet sonrası barınma ihtiyacının karşılanması gerekçesiyle idareye olağan dönem hukukunun sınırlarını zorlayan, mülkiyet hakkını ve planlama hiyerarşisini ikincil plana iten geniş yetkiler tanımıştır (Özlüer, 2025a).

7452 sayılı Kanun’un getirdiği en köklü değişiklik, tüm gelişmiş coğrafyalarda beklenmedik, olağanüstü olaylar için düzenlenmiş acele kamulaştırma uygulanma usulünde yaşanmış ve bu durum literatürde acele kamulaştırmanın yeni paradigması olarak nitelendirilmiştir (Özlüer, 2025a). 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu’nun 27. maddesinde düzenlenen geleneksel acele kamulaştırma usulünde, mülkiyetin idareye geçmesi için mahkemece tespit edilen bedelin bankaya yatırılması ve mahkeme tescil kararının beklenmesi zorunluyken; 7452 sayılı Kanun ile bu süreç tamamen idari bir işleme dönüştürülmüştür (Özlüer, 2025a). Yeni düzenleme kapsamında, taşınmazların Hazine adına tescili mahkeme kararı aranmaksızın, Bakanlık veya TOKİ’nin talebi üzerine doğrudan tapu müdürlüklerince resen gerçekleştirilmektedir (Özlüer, 2025a). Bu düzenleme, mülkiyetin devri ile bedel tespiti arasındaki hukuki bağı koparmaktadır. Taşınmaz maliki, mülkünü kaybettikten sonra yalnızca bedel uyuşmazlığı üzerinden hak arama yoluna yönlendirilerek yargısal denetim süreci fiilen ötelenmektedir (Özlüer, 2025a). Bu arada yetersiz kalan ise yine önce zemin artı 4 kat olarak düzenlenen deprem bölgelerinin yaygın sorunu çıkma olgusunun daha sonra zemin artı 7 kat olarak esnetilmiş olması ve çözülemeyen, ülkemizin ciddi bir sorun başlığı olan müteahhitlik, halen diploma odaklı değerlendirilen mimar ve mühendis yetkinliği ve yapım sürecinin diğer elamanlarına ilişkin eğitime odaklanılamayan

yetkinlik konusudur. Özünde yapabilirlik desteklenir ve teşvik edilirken mülkiyet hakkının korunması, dar gelirlinin desteklenmesi, iyi ve dirençli yapı hedefi es geçilmektedir. Güçlendirme, yaygın sorun başlıkları olan özellikle yumuşak kat uygulamalarını yönlendiren konut+ticaret kullanımı, çekiçleme etkisi, sık aralıklarla çıkarılan ve bilimsel bir incelemeye dayanmayan af yasaları ile yasallaştırılan uygulamalar gündem dışıdır.

Şehir planlama ilkeleri açısından 7452 sayılı Kanun, planlamadan önce inşaat dönemini başlatarak geleneksel şehircilik anlayışını tersyüz etmiştir (Özlüer, 2025a). Kanun'un 2. maddesi kapsamında, yerleşme ve yapılaşma kararlarının imar planı onayı beklenmeksizin mevcut halihazır haritalar üzerinden alınabilmesine imkan tanınmıştır (Özlüer, 2025a). Plan hiyerarşisinin ve bütüncül planlama ilkesinin terk edilmesi anlamına gelen bu uygulama; altyapısı eksik, sosyal donatı alanlarından yoksun ve çevreyle bütünleşemeyen yüksek yoğunluklu konut alanları oluşması riskini barındırmaktadır (Özlüer, 2025a). Yerseçimi yetkisinin yerel yönetimlerden alınarak tamamen Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na devredilmesi, yerellik ilkesini aşındırmakta ve kentsel mekanların yaygın sorun başlığı olan sosyal donatı, özellikle açık yeşil alanlar sorununun çözümüne ilişkin yaklaşımın plan kararlarına yansımasını engellemektedir. Bu içeriği ile kentsel dönüşüm tüzesi sergilenen özelleştirme yaklaşımları ile kaybedilen kamusal alanların yanı sıra artırılan yoğunluk değerleri ile es geçilen sosyal donatı kavramı bağlamında kaliteli kentsel mekan tanımı ile örtüşmemektedir. Yasanın uygulama alanında mülkiyet rejimi üzerindeki baskısı, sadece teknik bir afet müdahalesi değil, aynı zamanda merkezi idarenin mekânsal kontrolünü pekiştiren bir politika aracı niteliğindedir (Özlüer, 2025a). 7452 sayılı Kanun kapsamında yürütülen uygulamalarda, 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'nun taşınmaz edinilmeden ihaleye çıkılamayacağıyönündeki kısıtlamaları devre dışı bırakılarak süreç operasyonel düzeye indirgenmiş düzenlemeler arasında mülkiyet hakkının korunması bağlamında çelişkiler yönlendirilmiştir. Bu durum, kamu yararı kavramının bireysel yarar konut ihtiyacı ile yer değiştirmesine zemin hazırlarken; mülkiyet sahiplerinin idari ve yasal başvurular için tanınan sürelerin kısalığı nedeniyle hak arama özgürlükleri kısıtlanmakta, yargıya güven zedelenmekte, kentsel dönüşüme çekinceli bakış açısı yaygınlaşmaktadır. Oysa risk bazlı bakış açısı ile ülkede finans ve bilgi, teknoloji odaklı desteklenmesi gereken güçlendirme, yapı bazlı müdahalelerin af yasaları ile özendirilmesi değil giderilmesi, kentsel dönüşüm kapsamına alınma bazlı gönüllülük ve talebe gereksinim duyulmaktadır. Aksine 7452 sayılı Yasa, olağanüstü hal mekanizmalarını kalıcı bir imar hukuku modeline dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Şehircilik hukukunda olağanüstü halin olağanlaşması olarak değerlendirilen bu süreç; yargısal denetimin zayıflatıldığı, mülkiyet güvencesinin hız söylemine kurban edildiği ve yerel yönetimlerin ve mülkiyet sahiplerinin dışlandığı tek odaklı, merkeziyetçi bir yapı tanımlamaktadır. 7452 sayılı Yasanın kriz yönetimi odaklı araçları, Anayasa'nın mülkiyet hakkı ve hukuk devleti ilkeleriyle uyumlu, katılımcı ve bütüncül bir planlama disiplini çerçevesinde yeniden ele alınması sürdürülebilir yerleşme sistemleri ve kentsel dönüşüm, dirençli kent hedefini yönlendirecektir.

## 4. MEKÂNSAL BİR PRATİK OLARAK TRABZON ORTAHİSAR SANAYİ MAHALLESİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ

Türkiye'de afet odaklı kentsel dönüşüm politikalarının yerel ölçekteki izdüşümlerini anlamak adına Trabzon ili, Ortahisar ilçesi, Sanayi Mahallesi örneği; kentsel rantın, merkezi planlama vesayetinin ve mekânsal yeniden yapılanmanın iç içe geçtiği bir laboratuvar sunmaktadır.

Lefebvre (2014), mekânı üç boyutlu bir kavramsal üçlü üzerinden analiz eder: algılanan mekân, tasarlanan mekân ve yaşanan mekân. Sanayi Mahallesi örneğinde, tasarlanan mekân olan imar planı değişikliği ile yaşanan mekân olan küçük esnafın üretim pratiği arasındaki gerilim, bu kuramsal çerçeveyle somut biçimde analiz edilebilir. Bu bölümde, Ortahisar Sanayi Mahallesi'nin dönüşüm süreci; konum özelliklerinin yönlendirdiği rant getirisi, merkezilik, lojistik ilişkiler, bölgesel roller, planlama geçmişi, fonksiyonel değişim ve yönetimsel hiyerarşi boyutlarıyla önem taşımaktadır.

### 4.1. Ortahisar'ın Kent İçindeki Konumu

Trabzon'un tarihsel ve idari çekirdeğini oluşturan Ortahisar, günümüzde 1.373 kişi/km² ile ilin en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip merkez ilçesidir (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Yıpranmış ve köhnemiş kentsel dokusu ile Ortahisar Sanayi Mahallesi, bu yoğun kentsel dokunun tam kalbinde, kentin doğu genişleme aksı üzerinde, tarihi Atatürk Alanı ile yeni gelişme bölgeleri arasında stratejik bir eşikte yer almaktadır (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Kent merkezine sadece 2 km uzaklıkta bulunması, alanı David Harvey'in kentsel rant tartışmaları perspektifinden bakıldığında, düşük yoğunluklu bir üretim bölgesi olmaktan çıkarıp yüksek değerli bir kentsel rant sahasına dönüştürmektedir. Lefebvre (2014)'in ifadesiyle, bu düzeydeki bir merkezilik, mekânın hegemonik üretimi için vazgeçilmez bir zemin hazırlamakta; mevcut fiziksel kalitesizliğe rağmen yüksek olan arazi değeri, alanı kaçınılmaz bir dönüşüm baskısı altına sokmaktadır. Alanın taşıdığı merkezi konum, dönüşümün sürecinin kentin daralan mevcut merkezinde yeni sermaye birikim alanları yaratma ihtiyacıyla cevap vermektedir.

### 4.2. Lojistik Ağlar ve Stratejik İlişkiler: Liman, Havalimanı ve Ana Akslar

Sanayi Mahallesi'nin mekânsal anlamı, sadece yerel konumuyla değil, kentin küresel ve bölgesel kapıları olan Trabzon Limanı ve havalimanı, karayolu ile kurduğu doğrudan ilişkiyle tanımlanmaktadır. Alanın kuzey sınırını belirleyen Devlet Sahil Yolu (D010) ve batısından geçen Erzurum-Maçka transit yolu, mahalleyi uluslararası ticaretin (Transkafkasya koridoru) tam merkezine yerleştirmektedir (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Bu stratejik lojistik konum, Sanayi Mahallesi'ni küçük sanayi sitesi gibi parçacıl ve çevresel kirlilik yaratan bir fonksiyondan, turizm ve ticaret odaklı bir prestij alanına evrilme stratejisinin ana gerekçesini oluşturmaktadır. Harvey'in sermayenin kentleşmesi teziyle uyumlu olarak, bölgedeki ulaşım altyapısının sağladığı yüksek erişilebilirlik, mülkiyetin en yüksek ve en iyi kullanımilkesi doğrultusunda yeniden organize edilmesini dayatmakta; bu da kentsel dönüşüm alanında küçük ölçekli imalatın yerini küresel hizmetler sektörüne bırakmasıyla sonuçlandırmayı hedeflemektedir.

### 4.3. Bölgesel Merkez Olma Niteliği ve Dönüşümün Ekonomi Politiği

Trabzon, DOKAP (Doğu Karadeniz Projesi) bölgesinin iki kutuplu yapısında 1. derece kentsel merkez niteliği taşımakta ve Kafkasya-Orta Asya-Batı hattında bir köprü görevi görmektedir (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Bu bölgesel hâkimiyet, kentteki arazi piyasası üzerinde sürekli bir fonksiyonel değişim baskısı yaratmaktadır (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Sanayi Mahallesi'ndeki dönüşüm hamlesi, sadece yerel bir mahalle iyileştirmesi değil, Trabzon'un bölgesel liderliğini pekiştirecek uluslararası bir ticaret ve turizm merkezi yaratma hedefiyle doğrudan ilişkilidir. Balaban'ın (2012) vurguladığı kapitalist arazi rejimi inşası süreci, burada kentsel dönüşümün sadece afet odaklı bir tedbir olmadığını, aksine kentin bölgesel

ekonomik vizyonunu hayata geçirecek operasyonel bir araç olduğunu göstermektedir (Bayırbağ vd., 2023). Bu mekân, bölgesel merkezin görünür yüzü olarak kurgulanmıştır. Sanayi faaliyetlerinin tasfiyesiyle birlikte alan, üretimden arındırılarak sermaye hareketleri için daha kontrollü, düzenli ve temiz bir yatırım ortamına dönüştürülmektedir.

### 4.4. Planlama Tarihinin Dönüşüme Sağladığı Meşruiyet Zemini (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025)

Trabzon'un planlama serüveni (1938 Lambert Planı, 1970 Planı ve 2002 Revizyonu), Sanayi Mahallesi'nin bugünkü çelişkili yapısını ve dönüşüm ihtiyacını yasal bir çerçeveye oturtmuştur. 1970 yılında lineer gelişim öngören planla sanayi odağı olarak belirlenen alan, 2002 revizyonuyla vadi alanlarının korunması ve kentsel kimlik inşası hedefleriyle yeniden tanımlanmıştır (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Ancak güncel plan kararlarında mevcut Küçük Sanayi fonksiyonunun TİC+TK olarak değiştirilmesi, planlamanın bir uzlaşma aracından ziyade rant odaklı bir mekânsal mühendislik aracına dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Bu fonksiyonel değişim, planlama anlayışının zamanla piyasa odaklı bir yapıya yöneldiğini göstermektedir. Taşkın ve heyelan riski de bu kapsamlı dönüşüm ve imar kararlarının gerekçelendirilmesinde önemli bir unsur olarak kullanılmıştır (Giritlioğlu, 2025; Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025).

Sanayi Mahallesi'nin bugünkü çelişkili mekânsal yapısı, 1970'lerden günümüze kadar uzanan bir dizi imar planı kararıyla şekillenmiş ve alanın üretim odağından lüks hizmetler odağına geçişinin kronolojisini oluşturmuştur.

**A. 1972 ve 1977 İmar Planları:**

Bu dönemde alanın temel karakteri sanayi üretimi ve lojistik hizmetler olarak belirlenmiş; Değirmendere Yolu güzergâhı boyunca sanayi alanları planlanmış, bölgenin en büyük aktörleri olan Çimento Fabrikası ve Eski Terminal Alanı bu planlarda yerini almıştır. Planlama alanının büyük bölümü sanayi lekesi olarak kurgulanırken, ticaret fonksiyonları ana yol aksı üzerinde konumlandırılmıştır.



***Görsel 1: 1972 yılı İmar Planı*** *(Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025).*

1977 yılı planında bu genel hatlar büyük ölçüde korunmuştur.

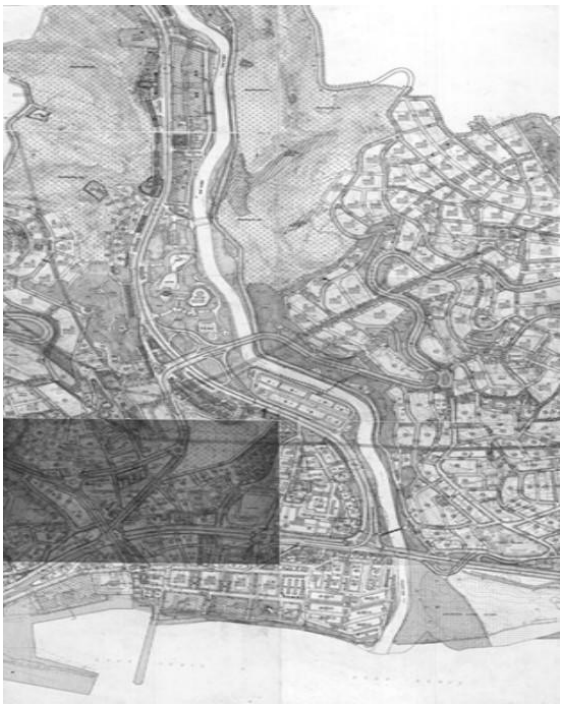


***Görsel 2: 1977 yılı İmar Planı*** *(Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025).*

**B. 1989 İmar Planı:**

Bu planda, önceki dönemlerdeki saf sanayi kullanımına sosyal ve kamusal fonksiyonlar eklenmeye başlanmış, Değirmendere Yolu'nun kuzeyindeki "tamirhane" alanları korunurken bölgeye resmi bina ve park alanları dahil edilmiştir. Ancak bu planın uygulanma sürecinde

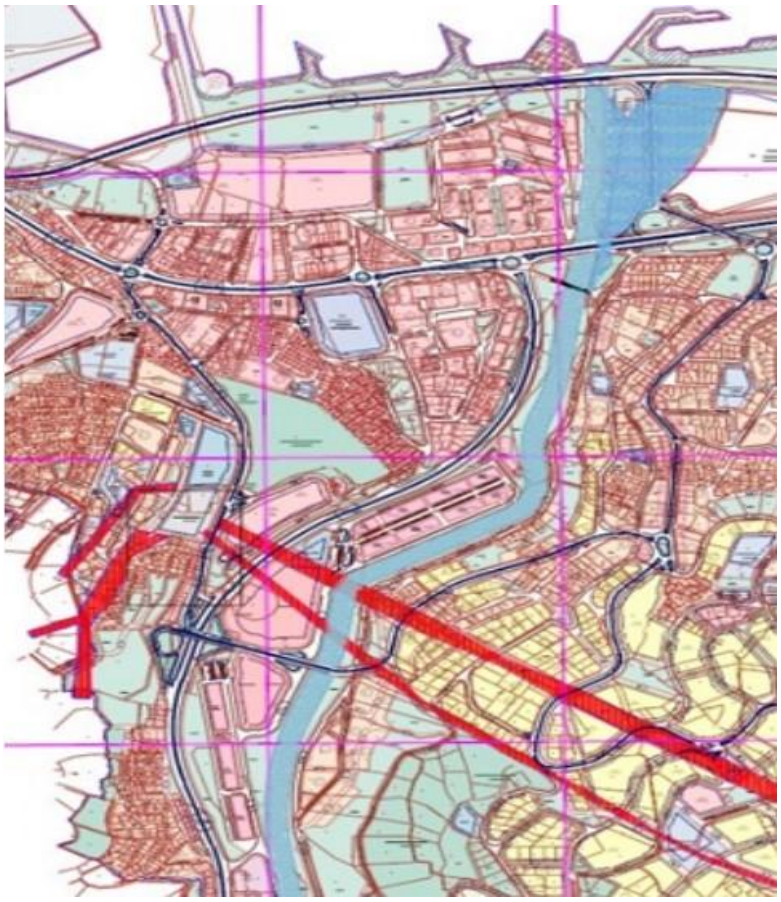
1800’den fazla imar planı tadilatı yapılması, planın bütüncül yapısını sarsmış ve 2000’li yıllardaki radikal dönüşüme zemin hazırlamıştır.



***Görsel 3: 1989 yılı İmar Planı*** *(Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025).*

### C. 2002 Revizyon İmar Planı:

Sanayi Mahallesi için en radikal fonksiyonel kırılma bu planla gerçekleşmiştir. Kuzeyde planlanan Karadeniz Sahil Yolu ile Değirmendere Yolu bir iç yol niteliği kazanmış, eski terminal alanı Belediye Hizmet Alanı'na dönüştürülmüştür. En kritik değişiklik ise; eski tamirhane bölgelerinin "Ticaret + Konut" (TİC+K) olarak tanımlanmasıdır.



***Görsel 4:1989 yılı İmar Planı*** *(Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025).*

**D. Güncel Nazım İmar Planları:**

Trabzon'un Büyükşehir statüsü kazanmasının ardından onaylanan planlarda (2017 ve 2020), alanın ağırlıklı fonksiyonu Ticaret + Turizm + Konut (TİC+TK) olarak revize edilmiştir. Mevcut durumdaki üretim odaklı kullanım ile imar planındaki turizm ve prestij odaklı bu keskin fark, bugün yürütülmek istenen dönüşümün asıl gerekçesini oluşturmaktadır.

### 4.5. Dönüşüm Sürecinde Mekânın Değişen Rolü

Sanayi Mahallesi'ndeki 29 hektarlık alanı kaplayan 5 adet küçük sanayi sitesinin (Büyük Sanayi, Demirkırlar gibi) çepere taşınması projesi, mekânın kullanım değerinden değişim değerine geçişini simgelemekte, tüm büyükkentlerde sık aralıklarla tekrarlanan yaygın senaryonun benzeridir. Alandaki mevcut ikamet nüfusunun 1.543 kişiden plan öngörüsüyle 10.000 kişiye çıkarılması, müdahalenin fiziksel bir risk azaltma projesi olmaktan öte, mekânsal yoğunluğun ve kâr marjının maksimize edildiği bir soylulaştırma süreci olduğunu kanıtlamaktadır (Trabzon Büyükşehir Belediyesi, 2025). Lefebvre'in mekânın soyutlaşması olarak tanımladığı bu durum, mahalledeki küçük esnafa ve emeğe dayalı üretim kimliğinin tasfiyesi ve yerine sermaye birikimine hizmet eden lüks konut ve ticaret odaklı steril bir tüketim mekânının inşası anlamına gelmektedir (Lefebvre, 2014). SWOT analizinde yer alan yapıların %30'unun 30 yaş üzeri olması verisi, bu büyük operasyonu başlatmak bilimsel bir incelemeye dayanmayan yeterli bir teknik eskimişlik gerekçesi olarak sunulmaktadır.

### 4.6. Merkezi İdare ve Yerel Yönetim İlişkileri: Vesayet ve Operasyonellik

Trabzon Ortahisar örneği, kentsel dönüşümde merkezi yönetimin yerel yönetimler üzerindeki hiyerarşik üstünlüğünü ve vesayetini somutlaştırmaktadır (Giritlioğlu, 2025). Küçük sanayi sitelerinin taşınması kararı yerel bir belediye vizyonu gibi sunulsa da, bu çapta bir dönüşümün yasal yürütücülüğünde 6306 sayılı Kanun'un sunduğu rezerv alan ve acele kamulaştırma gibi merkeziyetçi araçların devrede olması, yerel yönetimi merkezi stratejilerin birer uygulayıcısı konumuna indirgemektedir (Giritlioğlu, 2025). 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 9. maddesi ile Bakanlığa tanınan resen plan onaylama yetkisi, Sanayi Mahallesi gibi stratejik alanlarda katılımı ve yerel iradenin özerkliğini ötelemektedir (Yıldız, 2025). Ortahisar kentsel dönüşüm süreci; merkezi yönetimin kentsel rantı ve mekânı kriz yönetimi söylemi üzerinden yeniden bölüştürdüğü, yerel demokrasinin planlama yetkileriyle birlikte vesayet altına girdiği operasyonel bir şehircilik pratiği olarak okunmalıdır.

## 5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Afet odaklı kentsel dönüşüm süreci, teknik bir yapı yenileme faaliyetinin ötesinde, kentsel mekanın ekonomik, sosyal ve siyasal ilişkiler çerçevesinde yeniden şekillendiği bir süreçtir. Bu içerikte sosyal ve ekonomik boyut çoğu kez mekansal boyutun önüne geçmelidir ki bu mekansal dönüşümün önemsiz olduğu anlamını da içermez. Bu çalışma kapsamında, kentsel dönüşüm uygulamalarının kamu yararı ve güvenli yaşam hakkı hedeflerinin yanı sıra ekonomik değer üretimi ve kentsel rantın yeniden dağılımı ile de ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çerçevede kentsel dönüşüm, kentlerin doğal gelişim süreçlerinden ziyade, kamu politikaları ve idari müdahaleler aracılığıyla yönlendirilen bir planlama pratiği haline gelmiş, yatırım ve mülkiyet ediniminin aracı olma ön plana çıkmıştır. Bu dönüşümün kavramsal yansımaları, yasal düzenlemelerde de görülmektedir. 5393 sayılı Belediye Yasası'nın 73. maddesi kentsel dönüşümü, yerel yönetimlerin karar alma süreçlerinde etkin olduğu, kentsel dokunun iyileştirilmesini ve sosyal donatıların geliştirilmesini amaçlayan kapsamlı bir araç olarak tanımlamaktadır. Buna karşılık 6306 sayılı Yasa, dönüşüm sürecini büyük ölçüde afet riskinin azaltılması çerçevesinde ele almakta ve uygulamaya yönelik özel yetki ve mekanizmalar öngörmektedir. Dönüşen bu içeriğin en belirgin boyutu da sermaye odaklı bakış açısı ve yapabilirliktir. Bu iki yaklaşım arasındaki farklılık, Türkiye'de kentsel dönüşüm politikalarının yerel yönetimlerin rolü, planlama yetkileri ve merkezi idarenin müdahale kapasitesi bakımından önemli açmazlar tanımlamakta ve tartışmalar yaratmaktadır.

Riskli yapı, riskli alan ve rezerv yapı alanı kavramlarının net ve bilimsel temelli olmayan ve özellikle rezerv yapı alanları ile genişletilmiş tanımları, idareye mülkiyet hakkına müdahale noktasında geniş yetkiler tanımaktadır. Rezerv yapı alanı tanımından yeni yerleşim alanı ibaresinin çıkarılması, idarenin yerleşik alan içindeki dokulara ve özel mülkiyete doğrudan müdahale edebilmesinin önünü açmış; bu durum mülkiyet hakkını hız ve ivedilik söylemine bağımlı kılma riskini beraberinde getirmiştir. 2023 yılında kurulan Kentsel Dönüşüm Başkanlığı aracılığıyla planlama yetkilerinin merkezileşmesi, yerel yönetimlerin anayasal özerkliğini ve yerellik ilkesini aşındırarak demokratik yapıdaki yerel yönetimleri kendi yetki alanlarındaki mekansal süreçlerde edilgen birer uygulayıcı konumuna itmiş, mülkiyet sahipleri de dahil yerel aktörlerin rolleri ötelenmiştir. 7452 sayılı Yasa ile yerleşme kararlarının imar planı onayı beklenmeksizin alınabilmesi ve mülklerin mahkeme kararı aranmaksızın tescil edilebilmesi, olağanüstü hal araçlarının kentsel dönüşüm pratiğinin olağan bir parçası haline

gelmesine zemin hazırlamıştır. Sermaye odaklı bu bakış açısı özünde insan hakları, bunun öncelikli içeriği olan mülkiyet hakkını zedelemekte, yerinde edilme süreçlerini yönlendirmektedir.

Trabzon Ortahisar Sanayi Mahallesi, bu ulusal politikaların yerel ölçekteki izdüşümünü somutlaştırmaktadır. Bölgede kentsel dönüşüm alanı ilanı ile başlayan süreç günümüzde en fazla yapabilirlik sağlayan rezerv yapı alanı ile somutlaştırılmıştır. Alanın imar planlarında önerilen nüfusun 1.543'ten 10.000'e çıkarılarak Ticaret+Turizm+Konut alanına dönüştürülmesi, müdahalenin taşkın ya da heyelan riskiyle açıklanamayacağını da göstermektedir. Harvey'in (2012) sermayenin kentleşmesi teziyle değerlendirildiğinde bu süreç, kentsel mekânın kullanım değeri yerine değişim değeri üzerinden yeniden üretildiği inşaat odaklı bir birikim modeline işaret etmektedir.

Ortahisar, kentsel dönüşüm tüzesi düzeyinde gözlemlenen yapısal eğilimlerin sahada nasıl somutlaştığını göstermesi bakımından çalışmanın temel argümanını desteklemekte, sürdürülebilir, dirençli ve adil kentlerin oluşturulabilmesi için kentsel dönüşümün yalnızca ekonomik değer üretmeye odaklanan bir araç olmaktan çıkarılması gereğini işaret etmektedir. Bütünleşik afet yönetimi ve afete dirençli şehirler hedeflerine ulaşılabilmesi için, mülkiyet odaklı ve merkezi kararlarla yürütülen uygulamalar yerine; katılımı esas alan, şeffaflığı güçlendiren ve kamu kurumlarının hesap verebilirliğini artıran, bilimsel verilere dayanan, yere özgü çözümler ve kalkınmayı hedefleyen bütüncül bir planlama anlayışına dayanan kentsel dönüşüm süreçlerine ihtiyaç vardır. Bu kapsamda kentsel dönüşüm süreçlerinin, daha güvenli ve yaşanabilir çevreler oluşturmayı amaçlayan, yerinde edilmeyi değil yereli kalkındırmayı ve sosyal ilişkileri, mülkiyet hakkını koruyan, yerel tüm aktörleri dinleyerek karar veren bir yaklaşımla ele alınması önem taşımaktadır. Kentsel mekan ise yalnızca ekonomik bir kaynak olarak değil, toplumsal yaşamın, hakların ve kamusal yararının korunduğu bir alan olarak değerlendirilmeli, her eylem can ve mal güvenliği yanı sıra kentsel mekanda yaşanabilirlik ölçütlerine katkı sağlayan içeriği ile kurgulanan özendirici içerik taşımalıdır.

## 6. KAYNAKÇA

Ağın, C., & Zengin Çelik, H. (2022). Kentsel Afetlerle Mücadelede 6306 Sayılı Kanun Kapsamındaki Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Türkiye Afet Durumu Üzerinden Okunması. *Kent Akademisi*, *15*(3), 1109-1131. https://doi.org/10.35674/kent.1023195

Aslan, Ö. (2025). Navigating legal avenues: The complex landscape of disaster accountability in Turkey. *Human Organization*, *84*(1), 44-55. https://doi.org/10.1080/00187259.2025.2458835

Azimli Çilingir, G., & Örçen Güler, İ. (2020). Afet Politikalarında Risk Unsuru ve Afet Mevzuatında Risk Yönetimi. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, *3*(1), 152-165. https://doi.org/10.33712/mana.687889

Bayırbağ, M. K., Schindler, S., & Penpecioğlu, M. (2023). The limits to urban revolution: The transformation of Ankara, Turkey, under the Justice and Development Party. *Urban Geography*, *44*(8), 1677-1700. https://doi.org/10.1080/02723638.2022.2125662

Erbay, Y. (2024). *BİR OLGUYU ANLAMAK: KİMLER İÇİN KENTSEL DÖNÜŞÜM?*

Ergün, Y., & Cihan, A. Ş. (2025). Türkiye'de Afet Yönetimi ve Afet Müdahale Stratejileri. İçinde A. Bostan, B. Altun, N. Öner Şeker, İ. Mavi, U. Demirbağ, Y. Ergün, A. Ş. Cihan, M. Aksay, & E. Burak, *Sosyal Bilimlerde Kuramsal Çerçeveler Ve Metodolojik Tartışmalar*. Özgür Yayınları. https://doi.org/10.58830/ozgur.pub881.c3608

Giritlioğlu, P. (2025). AFET ODAKLI KENTSEL DÖNÜŞÜM POLİTİKA VE HUKUKUNUN KENTSEL DİRENÇLİLİĞE ETKİSİ: İSTANBUL'A BİR BAKIŞ. *İktisat Dergisi*, (548). https://avesis.istanbul.edu.tr/yayin/a729d0d4-6dbe-4782-a913-80311930ffef/afet-odakli-kentsel-donusum-politika-ve-hukukunun-kentsel-direnclilige-etkisi-istanbula-bir-bakis

Gündüz, A. (2020). *ZAMANIN VE MEKÂNIN DÖNÜŞÜMÜ: DAVID HARVEY'NİN PENCERESİNDEN SERMAYENİN KENTLEŞMESİ*. *4*(1).

Kayalık, M., & Erbaş Melis, Ö. (2024). On İkinci Kalkınma Planı'nın ve Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'da Yapılan Değişikliğin Kentsel Dönüşüm Açısından Uyum ve Çelişkileri. *Kent Akademisi*, *17*(6), 2529-2547. https://doi.org/10.35674/kent.1452506

Lefebvre, H. (2014). *Mekanın Üretimi.* Sel Yayıncılık.

Neval Genç. (2024). *AFET YÖNETİMİNDE KENTSEL DÖNÜŞÜM VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALAR* (s. 50). SETA (Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı). file:///C:/Users/User/OneDrive/Desktop/afet/AFET%20Y%C3%96NET%C4%B0M%C4%B0NDEkentsel%20d%C3%B6n%C3%BC%C5%9F%C3%BCm%20uygulamalar%C4%B1.pdf

Özlüer, I. Ö. (2025a). *7452 SAYILI KANUN İLE ACELE KAMULAŞTIRMANIN YENİ PARADİGMASI: ŞEHİRCİLİK HUKUKUNDA OLAĞANÜSTÜ HALİN SÜREKLİLEŞMESİ*.

Özlüer, I. Ö. (2025b). *YARGISAL DENETİM YÖNÜYLE REZERV YAPI ALANI KARARI UYGULAMALARI VE SONUÇLARI*.

Seçkin, S. (2024). 6306 sayılı Kanun Kapsamında Riskli Yapı Tespiti ve İdarenin Zor Kullanma Yetkisi. *İstanbul Medeniyet Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, *9*(2), 463-511. https://doi.org/10.58733/imhfd.1545354

Sever, D. Ç. (2023). AFET MEVZUATINDAN KAYNAKLANAN YAPISAL SORUNLAR: TEŞKİLAT, İMAR AFLARI VE YAPI DENETİMİ. *Ankara Barosu Dergisi*, *81*(Özel Sayı), 269-306. https://doi.org/10.30915/abd.1380958

Taşkıran, E., & Uzun, İ. (2020). CUMHURBAŞKANLIĞI HÜKÜMET SİSTEMİ SONRASINDA 1 VE 4 NO'LU CUMHURBAŞKANLIĞI KARARNAMELERİ ÇERÇEVESİNDE MERKEZİ YÖNETİM DÜZEYİNDE İMAR PLANLAMA SÜRECİNİN KURUMSAL YAPISI. *Kent ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, *2*(2), 107-128. https://doi.org/10.48118/yykentcevre.844249

Uysal, A. N., & İnce, H. H. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrası Kentsel Dönüşüm Kanunundaki Değişikliklerin Değerlendirilmesi; Yenilikler, Uygulama Süreci. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, *6*(2), 420-433. https://doi.org/10.46464/tdad.1472546

Trabzon Büyükşehir Belediyesi. (2025). *Yeşilin Binbir Tonu, Mavinin Sonsuzluğu Trabzon.* Trabzon: Trabzon Büyükşehir Belediyesi.

Yıldırım, G., & Saygın, E. (2024). TÜRKİYE'DE AFET YÖNETİMİ PARADİGMASI: AFAD'IN ÜRETTİĞİ POLİTİKA BELGELERİNİN İÇERİK ANALİZİ. *Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, *9*(1), 15-35.

Yıldız, H. (2025). İmar Kanunun 9. Maddesi Bağlamında Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığının İmar Planlamasına İlişkin Yetkileri. *İstanbul Hukuk Mecmuası / Istanbul Law Review*, *83*(1), 369-394. https://doi.org/10.26650/mecmua.2025.83.1.0004

**Yasal Mevzuat ve Resmi Belgeler:**

1. **3194 sayılı İmar Kanunu.** (1985). T.C. Resmi Gazete, 18749, 9 Mayıs 1985.
2. **5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun.** (2005). T.C. Resmi Gazete, 25866, 5 Temmuz 2005.
3. **5393 sayılı Belediye Kanunu.** (2005). T.C. Resmi Gazete, 25874, 13 Temmuz 2005.
4. **6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun.** (2012). T.C. Resmi Gazete, 28309, 31 Mayıs 2012.
5. **6306 Sayili Kanunun Uygulama Yönetmeliği (2012).** T.C. Resmi Gazete, *28498*, 15 Aralık 2012.

# MİMARLIKTA YANGIN GÜVENLİĞİ VE YANGIN GECİKTİRİCİ TEKNOLOJİLERİN EVRİMİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE PERFORMANS PERSPEKTİFİNDEN BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ

**Arş. Gör. Dr. Bilgehan BAKIRHAN**

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi

bilgehanbakirhan@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6940-9902

**Öğr. Gör. Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI**

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi

osmanyagci@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7129-1891

## ÖZET

Modern yapı sektöründe hızla artan kentleşme ve hafif polimerik malzemelerin binalarda yaygınlaşması, yangın güvenliği performansını mimari ve mühendislik disiplinlerinin en öncelikli konularından biri haline getirmiştir. Geçmişte standart olarak kabul edilen halojen bazlı yangın geciktiricilerin çevresel toksisite ve insan sağlığı üzerindeki kalıcı olumsuz etkileri, akademik çalışmalarda daha güvenli, sürdürülebilir ve yüksek performanslı alternatiflerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu çalışma, binalarda yangın geciktirici malzeme kullanımına dair literatürdeki temel eğilimleri ve son yıllarda kaydedilen teknolojik ilerlemeleri tematik bir literatür incelemesi çerçevesinde değerlendirmektedir.

Yapılan kapsamlı analizler, özellikle nanoteknolojinin yangın korumasında dönüştürücü bir güç olduğunu ortaya koymaktadır. Nanoparçacık ve nanokompozitlerin, yüzeyde koruyucu bir termal bariyer oluşturma, zararlı duman salınımını bastırma ve katalitik kömürleşmeyi teşvik etme özellikleri sayesinde geleneksel kimyasal yöntemlerden çok daha etkili sonuçlar verdiği görülmektedir. Eş zamanlı olarak, çevresel duyarlılığın artmasıyla birlikte lignin ve benzeri doğal biyopolimerlerden türetilen biyobazlı yangın geciktiriciler üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bununla birlikte akıllı bina sistemleriyle entegrasyon ve 3D baskı yapı elemanlarının yangın performansı gibi alanlar hâlâ ileri düzey araştırmalara ihtiyaç duymaktadır. Ancak, akıllı bina sistemleriyle entegrasyon ve 3D baskı yapı elemanlarının güvenliği gibi spesifik alanlar hala ileri düzey araştırmalara ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak bu inceleme, yangın geciktirici sistemlerin tasarımında yalnızca mekanik verimliliğin değil, ekolojik sürdürülebilirlik ve toksisite kontrolünün de temel değerlendirme parametreleri arasında yer alması gerektiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yangın geciktiriciler, Yapı malzemeleri, Nanoteknoloji, Biyobazlı maddeler, Pasif yangın güvenliği.

EGE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 12 – 14, 2026 - IZMIR
Volume I - ISBN NR. : 978-625-8795-15-8

# FIRE SAFETY IN ARCHITECTURE AND THE EVOLUTION OF FIRE-RETARDANT TECHNOLOGIES: A LITERATURE REVIEW FROM THE PERSPECTIVES OF SUSTAINABILITY AND PERFORMANCE

**Res. Assist. Dr. Bilgehan BAKIRHAN**
Karabuk University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture
bilgehanbakirhan@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6940-9902

**Instructor Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI**
Karabuk University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture
osmanyagci@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7129-1891

## ABSTRACT

In the contemporary construction sector, rapid urbanization and the proliferation of lightweight polymeric materials have positioned fire safety as a paramount concern for structural integrity and occupant safety. Historically, halogen-based fire retardants served as the industry standard; however, their environmental toxicity and deleterious effects on human health have necessitated an urgent shift toward safer, more sustainable alternatives. This study evaluates the main trends in the literature on the use of flame-retardant materials in buildings and the technological advances achieved in recent years within the framework of a thematic literature review.

The analysis highlights nanotechnology as a transformative force in fire protection. Research indicates that nanoparticles and nanocomposites significantly outperform traditional chemical treatments by facilitating robust thermal barriers, suppressing toxic smoke emission, and promoting catalytic char formation. Concurrently, there is a discernible trend toward bio-based fire retardants derived from natural biopolymers such as lignin, which offer a high degree of thermal stability combined with a minimal environmental footprint. The review also indicates that critical gaps remain, particularly regarding the integration of smart control systems and the fire performance of 3D-printed structural elements. Consequently, this review suggests that not only mechanical efficiency but also ecological sustainability and toxicity control should be considered among the fundamental evaluation parameters in the design of flame-retardant systems.

**Keywords**: Fire retardants, Construction materials, Nanotechnology, Bio-based materials, Passive fire safety, Literature review.

## 1. GİRİŞ

Günümüz mimarlık pratiğinde hızlı kentleşme, yapı üretim hızının artması, enerji verimliliği beklentileri ve hafif yapı sistemlerine yönelim, yapı malzemesi seçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Polimerik ürünler, kompozit paneller, yalıtım malzemeleri, kaplamalar, cephe sistemleri ve dijital üretimle şekillenen yeni yapı bileşenleri; düşük ağırlık, kolay uygulanabilirlik, tasarım esnekliği ve maliyet avantajı nedeniyle yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin önemli bir bölümü yangın sırasında alev yayılımı, yoğun duman oluşumu, toksik gaz salımı ve yapısal bütünlüğün bozulması gibi riskleri beraberinde getirebilir. Bu nedenle mimarlıkta yangın güvenliği, yalnızca aktif söndürme sistemleri veya kaçış düzenlemeleriyle sınırlı olmayan; malzeme davranışı, yapı kabuğu, kullanım senaryosu ve çevresel etkilerle birlikte düşünülmesi gereken bütüncül bir tasarım problemidir.

Yangın geciktirici teknolojiler, bu bütüncül yaklaşımın pasif yangın güvenliği boyutunda önemli bir yer tutmaktadır. Geçmişte halojen bazlı katkı maddeleri, malzemelerin tutuşma süresini geciktirme ve alev yayılımını sınırlandırma açısından yaygın biçimde kullanılmıştır. Ancak bu sistemlerin yanma sırasında açığa çıkarabildiği toksik gazlar, kalıcı çevresel etkiler ve insan sağlığı üzerindeki olası riskler, yangın güvenliği alanında daha güvenli ve sürdürülebilir alternatiflerin araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu dönüşüm, yangın geciktirici malzemelerin yalnızca yanmazlık performansı üzerinden değil; duman yoğunluğu, toksisite, karbon salımı, geri dönüştürülebilirlik ve kullanım ömrü boyunca çevresel etkiler üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Zheng ve ark., 2019; Mullins-Jaime ve Smith, 2022; Rabajczyk ve ark., 2021).

Son yıllarda nanoteknoloji tabanlı yangın geciktirici sistemler, yüzeyde koruyucu termal bariyer oluşturma, katalitik karbonlaşmayı destekleme ve duman salımını azaltma potansiyelleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Nano-kil, karbon nanotüpler, nano-silika ve farklı nanokompozit yapılar, yapı malzemelerinin ısı transferini sınırlayarak yanma sürecini yavaşlatabilmektedir. Bununla birlikte nanoteknolojik sistemlerin yüksek maliyeti, endüstriyel ölçekte uygulanabilirliği ve yangın sonrası insan sağlığına etkileri halen tartışılmaktadır (Eltemamy ve ark., 2024; Singh ve ark., 2025; Gawdat ve ark., 2023).

Sürdürülebilir malzeme arayışları ise biyobazlı yangın geciktiricilere yönelik ilgiyi artırmıştır. Lignin, selüloz endüstrisinin bol bulunan bir yan ürünü olması ve aromatik yapısı nedeniyle karbonlaşmaya yatkın bir bileşen olarak dikkat çekmektedir. Lignin bazlı kaplamalar, ahşap, polimer ve biyokompozit yüzeylerde ısı ve oksijen geçişini sınırlayan koruyucu bir tabaka oluşturabilir. Bu özellik, biyobazlı yangın geciktiricileri çevresel etkisi düşük, yenilenebilir ve performans odaklı sistemler açısından önemli bir araştırma alanı hâline getirmektedir (Yang ve ark., 2020; Madyaratri ve ark., 2022; Munir ve ark., 2026; Mi, 2025).

Mimarlıkta yangın güvenliği tartışması yalnızca malzeme geliştirme ile de sınırlı değildir. 3D baskı beton elemanlar, çift katmanlı cepheler, BIM destekli yangın performansı değerlendirmeleri ve dijital sensör entegrasyonları, yangın güvenliğinin üretim ve yönetim süreçleriyle birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda yapı bilgi modelleme, yapı elemanlarının yangın dayanımı, tahliye senaryoları, malzeme bilgisi ve risk analizlerinin

bütünleşik biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayabilir (Ali ve ark., 2022; Aşlar ve Harputlugil, 2023; Beşiroğlu ve Serteser, 2024; Sikora ve ark., 2025; Zingoni, 2022). Bununla birlikte yangın güvenliği bilgisinin mimarlık eğitiminde ve tasarım pratiğinde yeterince görünür olmaması, bu teknolojilerin erken tasarım kararlarına aktarılmasını sınırlayan önemli bir sorun olarak değerlendirilebilir (Bodur, 2019).

## 2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın temel amacı, mimarlıkta kullanılan yangın geciktirici teknolojilerin gelişimini sürdürülebilirlik ve performans perspektifinden değerlendirmektir. Çalışma, yangın geciktirici sistemleri yalnızca malzemenin tutuşma süresini uzatan kimyasal katkılar olarak değil; pasif yangın güvenliği, çevresel etki, toksisite kontrolü, dijital entegrasyon ve mimari tasarım kararlarıyla ilişkili çok boyutlu bir araştırma alanı olarak ele almaktadır.

Çalışmanın kapsamı dört ana başlıkta sınırlandırılmıştır. İlk olarak halojen bazlı geleneksel yangın geciktiricilerden sürdürülebilir sistemlere geçiş tartışılmıştır. İkinci olarak nanoteknoloji tabanlı yangın geciktirici sistemlerin termal bariyer, karbonlaşma ve duman/toksisite kontrolü bakımından sunduğu potansiyel değerlendirilmiştir. Üçüncü olarak lignin ve benzeri biyobazlı yangın geciktiricilerin sürdürülebilir yapı malzemeleri açısından önemi ele alınmıştır. Dördüncü olarak 3D baskı beton elemanlar, BIM destekli yangın güvenliği değerlendirmeleri ve dijital entegrasyon olanakları mimari tasarım bağlamında incelenmiştir.

Çalışma deneysel ölçüm yerine mevcut literatürde bildirilen bulguları mimarlık ve yapı malzemesi tasarımı açısından yorumlayan kavramsal bir literatür incelemesi niteliği taşımaktadır. Bu nedenle çalışmanın çıktıları belirli bir ürün veya yapı sistemi için doğrudan performans garantisi olarak değil, yangın geciktirici teknolojilerin mimari tasarıma aktarılmasında dikkate alınabilecek genel eğilimler ve tasarım parametreleri olarak okunmalıdır.

## 3. YÖNTEM

Araştırma, nitel literatür incelemesi ve tematik sınıflandırma yaklaşımına dayanmaktadır. Literatür seçiminde yangın geciktirici malzemeler, nanoteknoloji tabanlı yangın koruma sistemleri, biyobazlı yangın geciktiriciler, 3D baskı beton, BIM destekli yangın güvenliği ve mimarlıkta yangın güvenliği eğitimi konularında güncel performans, sürdürülebilirlik veya tasarım entegrasyonu bilgisi sunan çalışmalar öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışma, ürün bazlı teknik karşılaştırmadan çok, yangın geciktirici yaklaşımların mimari tasarım kararlarına nasıl aktarılabileceğine odaklanmaktadır.

İnceleme sürecinde kaynaklar dört ölçüte göre sınıflandırılmıştır. Bunlar; incelenen yangın geciktirici yaklaşımın türü, temel yangın geciktirme mekanizması, sürdürülebilirlik ve toksisite boyutu ile mimari tasarıma aktarılabilecek parametrelerdir. Bu çerçevede halojen bazlı sistemlerin sınırlılıkları, nanokompozit sistemlerin performans mekanizmaları, lignin esaslı biyobazlı yaklaşımların çevresel katkıları ve dijital üretim teknolojilerinin yangın güvenliğiyle ilişkisi karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Yöntem kapsamında Zheng ve arkadaşlarının biyobazlı yangın geciktirici kaplamalara ilişkin çalışmaları, Rabajczyk ve arkadaşlarının nanoteknolojinin yangın korumadaki uygulama

gerekliliklerine yönelik değerlendirmeleri, Mullins-Jaime ve Smith'in konut yapı malzemelerinde nanoteknoloji kullanımına ilişkin incelemesi, Eltemamy ve arkadaşlarının yapı yangın korumasında nanoteknoloji yaklaşımı, Singh ve arkadaşlarının nanomateryal temelli yenilikleri, Yang ve arkadaşlarının lignin türevli biyobazlı alev geciktiricilere ilişkin çalışması, Madyaratri ve arkadaşlarının yangına dayanıklı biyokompozitler üzerine incelemesi, Munir ve arkadaşlarının ahşap esaslı kompozitlerde sürdürülebilir yangın korumasına ilişkin çalışması ve Mi'nin lignin kaplama araştırması birlikte değerlendirilmiştir. Ayrıca Ali ve arkadaşlarının 3D baskı ve dijital üretim, Sikora ve arkadaşlarının 3D baskı betonun yüksek sıcaklık davranışı, Aşlar ve Harputlugil'in çift katmanlı cephelerde yangın güvenliği, Beşiroğlu ve Serteser'in BIM tabanlı yangın emniyeti değerlendirmesi ve Bodur'un mimarlık eğitiminde yangın güvenliği konusundaki çalışmaları literatür sınıflandırmasına dahil edilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1. Literatür incelemesinde kullanılan tematik sınıflandırma çerçevesi.**

| İncelenen yaklaşım | Temel mekanizma / odak | Performans göstergesi | Mimari tasarıma aktarılabilecek parametre |
|---|---|---|---|
| Halojen bazlı sistemler | Alev yayılımını geciktirme | Tutuşma süresi, alev yayılımı | Toksisite ve çevresel etkilerle birlikte değerlendirme |
| Nanoteknoloji ve nanokompozitler | Termal bariyer, karbonlaşma, duman kontrolü | Isı salımı, duman yoğunluğu, yüzey koruması | Kaplama, panel, kompozit ve cephe malzemesi seçimi |
| Biyobazlı/lignin sistemleri | Karbon tabakası oluşturma ve düşük çevresel yük | Yanma hızı, duman oluşumu, sürdürülebilirlik | Ahşap, biyokompozit ve iç yüzey kaplamaları |
| 3D baskı ve dijital entegrasyon | Katmanlı üretim davranışı, veri tabanlı değerlendirme | Yüksek sıcaklık dayanımı, risk analizi | Baskı yönü, katkı maddesi, BIM ve sensör entegrasyonu |

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Mimarlıkta Malzeme Seçimi ve Yangın Güvenliği Problemi

Mimari malzeme seçiminde performans beklentileri çoğu zaman hafiflik, maliyet, estetik çeşitlilik, enerji verimliliği ve uygulama kolaylığı üzerinden şekillenmektedir. Bu ölçütler tasarım ve yapım süreçleri açısından önemli olmakla birlikte, yangın davranışı ihmal edildiğinde yapı güvenliği açısından kritik sonuçlar doğurabilir. Polimer esaslı yalıtımlar, kompozit kaplamalar, hafif panel sistemleri ve çok katmanlı cephe bileşenleri yangın sırasında yalnızca alev yayılımını hızlandırmakla kalmayıp duman yoğunluğu ve toksik gaz salımı açısından da risk oluşturabilir.

Bu nedenle yangın güvenliği, malzemenin yalnızca yönetmelikte belirtilen sınıfa uygun olup olmadığı sorusuyla sınırlı tutulmamalıdır. Bir yapı malzemesinin yangın performansı; tutuşma süresi, alev yayılım hızı, ısı salımı, duman üretimi, toksik emisyon, mekanik bütünlüğün korunması ve yangın sonrası davranış gibi çok sayıda değişkenle birlikte değerlendirilmelidir. Mimari tasarım sürecinde bu değişkenlerin erken aşamada ele alınması, yangın geciktirici teknolojilerin yalnızca sonradan eklenen kimyasal çözümler olmaktan çıkıp yapı kabuğu, cephe, iç mekân ve taşıyıcı sistem kararlarıyla bütünleşmesini sağlar.

Modern malzeme teknolojileri, yangın güvenliği açısından iki yönlü bir etki üretmektedir. Bir yandan daha hafif, daha ekonomik ve daha esnek sistemler mimari tasarım olanaklarını genişletmektedir. Diğer yandan bu sistemlerin yanıcılık ve toksisite potansiyeli, pasif yangın güvenliği stratejilerini daha karmaşık hâle getirmektedir. Bu durum, yangın geciktirici teknolojilerin performans kadar sürdürülebilirlik ve insan sağlığı açısından da değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

4.2. Halojen Bazlı Sistemlerden Sürdürülebilir Yaklaşımlara Geçiş

Yangın geciktirici teknolojilerin tarihsel gelişiminde halojen bazlı katkı maddeleri uzun süre etkili bir çözüm olarak görülmüştür. Bu sistemler, malzemenin alev almasını geciktirme ve yanma zincir reaksiyonlarını kesintiye uğratma bakımından belirli bir performans sunmuştur. Ancak yangın sırasında ortaya çıkardıkları toksik gazlar ve kalıcı çevresel etkiler, bu sistemlerin günümüzde daha eleştirel biçimde değerlendirilmesine neden olmuştur.

Bu dönüşüm, yangın güvenliği alanında yalnızca alev geciktirme verimliliğine odaklanan yaklaşımın yeterli olmadığını göstermektedir. Güncel değerlendirmelerde duman yoğunluğu, toksisite, karbon ayak izi, geri dönüştürülebilirlik, malzemenin yaşam döngüsü ve yangın sonrası çevresel etkileri de önem kazanmaktadır. Dolayısıyla bir yangın geciktirici sistemin başarılı kabul edilebilmesi için hem yangın performansı hem de insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri açısından dengeli bir profil sunması gerekir.

Bu nedenle halojen bazlı sistemlerden halojensiz, mineral, fosfor esaslı, nanoteknolojik ve biyobazlı sistemlere doğru bir yönelim görülmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı bu dönüşüm, mimari tasarım açısından malzeme seçim kriterlerinin genişlemesine yol açmaktadır. Yangın geciktirici katkıların yalnızca teknik performansı değil, yapının çevresel sertifikasyon hedefleri, kullanım ömrü, bakım stratejisi ve kullanıcı sağlığıyla ilişkisi de dikkate alınmalıdır.

4.3. Nanoteknoloji Tabanlı Yangın Geciktirici Sistemler

Nanoteknoloji, yangın geciktirici sistemlerin performansını artırma potansiyeli nedeniyle son yıllarda öne çıkan araştırma alanlarından biridir. Nanoparçacıkların yüksek özgül yüzey alanı, termal kararlılığı ve matris malzemeyle etkileşim kapasitesi, geleneksel katkı maddelerine kıyasla daha etkin koruma mekanizmalarının geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Nano-kil, karbon nanotüpler, nano-silika ve farklı nanokompozitler bu bağlamda yapı malzemeleri, kaplamalar, paneller ve kompozit sistemlerde değerlendirilmektedir.

Nanokompozit sistemlerin yangın geciktirme etkisi birkaç mekanizmanın birlikte işlemesine dayanır. İlk mekanizma, malzeme yüzeyinde ısı geçişini sınırlayan koruyucu bir termal bariyer oluşmasıdır. İkinci mekanizma, yüzeyde karbonlaşmış bir tabakanın oluşarak oksijen ve ısı transferini azaltmasıdır. Üçüncü mekanizma ise duman ve toksik gaz salımının kontrol altına alınmasıdır. Bu çoklu etki, nanoteknolojik katkıların yalnızca tutuşmayı geciktiren katkılar olarak değil, yanma sürecinin farklı aşamalarına müdahale edebilen sistemler olarak değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Bununla birlikte nanoteknolojinin mimari ölçekte kullanımı bazı sınırlılıklar taşımaktadır. Üretim maliyetleri, laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe aktarım güçlükleri, malzeme matrisindeki dağılım homojenliği, uzun dönem dayanıklılık ve yangın sonrası nano ölçekli

partiküllerin insan sağlığına etkileri dikkatle değerlendirilmelidir. Bu nedenle nanoteknoloji, güçlü bir potansiyel taşımasına rağmen tek başına kusursuz bir çözüm olarak değil, maliyet, çevresel güvenlik ve uygulama ölçeğiyle birlikte ele alınması gereken gelişmekte olan bir teknoloji alanı olarak görülmelidir.

### 4.4. Biyobazlı Malzemeler ve Lignin Esaslı Yangın Geciktiriciler

Sürdürülebilir yapı malzemelerine yönelik ilgi, yangın geciktirici sistemlerin de biyobazlı alternatifler üzerinden yeniden düşünülmesini sağlamıştır. Fosil kaynaklı, toksik veya çevresel yükü yüksek bileşenlerin yerine yenilenebilir kaynaklardan elde edilen katkıların kullanılması, malzeme teknolojileri açısından önemli bir dönüşüm alanı oluşturmaktadır. Doğal liflerle güçlendirilmiş biyokompozitler, düşük maliyetli ve çevresel açıdan daha uyumlu seçenekler sunmakla birlikte, yüksek yanıcılık potansiyelleri nedeniyle etkili yangın geciktirme çözümlerine ihtiyaç duyar.

Lignin, bu alanda öne çıkan biyobazlı bileşenlerden biridir. Kâğıt ve selüloz endüstrisinin yan ürünü olarak bol miktarda bulunması, aromatik yapısı ve karbonlaşmaya yatkın kimyasal karakteri, lignini sürdürülebilir yangın geciktirici sistemler için değerli kılar. Lignin bazlı kaplamalar, yangın sırasında yüzeyde koruyucu bir karbon tabakası oluşturarak ısı ve oksijen geçişini sınırlandırabilir. Bu etki, özellikle ahşap, biyokompozit ve polimer esaslı yapı elemanlarında yanma hızının düşürülmesine ve duman oluşumunun azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Biyobazlı yangın geciktiricilerin mimari açıdan en önemli potansiyeli, yangın güvenliği ile sürdürülebilirlik hedeflerini aynı tasarım kararında birleştirebilmesidir. Bununla birlikte bu sistemlerin uzun dönem dayanıklılığı, farklı iklim koşullarındaki davranışı, nem ve UV etkilerine karşı kararlılığı, endüstriyel üretim kapasitesi ve standart yangın testlerindeki performansı daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmelidir. Bu nedenle lignin ve benzeri biyobazlı sistemler, çevresel açıdan umut verici olmakla birlikte uygulamaya aktarım aşamasında kapsamlı performans doğrulamasına ihtiyaç duymaktadır.

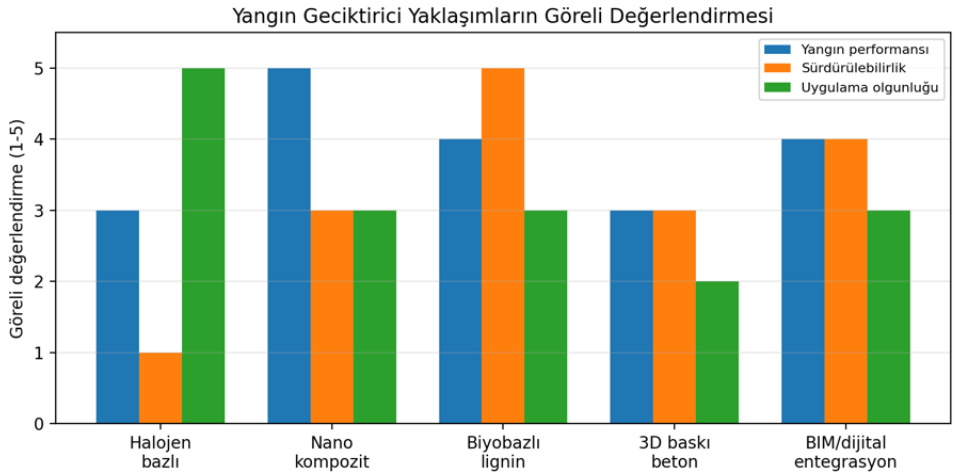
### 4.5. 3D Baskı Beton, BIM ve Dijital Entegrasyon

Dijital üretim teknolojileri mimarlıkta yapı üretim süreçlerini dönüştürmektedir. 3D baskı beton uygulamaları, kalıp kullanımını azaltması, karmaşık geometrilerin üretimine olanak tanıması ve yapım süresini kısaltması nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak katmanlı üretim tekniği, geleneksel betonarme elemanlardan farklı yangın davranışları ortaya çıkarabilir. Yüksek sıcaklık altında katmanlar arası ayrılma, çatlama, aderans kaybı, boşlukların etkisi ve yüzey deformasyonu gibi riskler, 3D baskı beton elemanların yangın güvenliği açısından ayrı bir değerlendirme alanı oluşturur.

3D baskı süreçlerinde nano-silika, mikro-silika, uçucu kül ve benzeri katkılar karışımın işlenebilirliğini, mikro yapısını ve yüksek sıcaklık performansını etkileyebilir. Bu nedenle 3D baskı beton elemanlarda yangın dayanımı yalnızca beton karışımının genel özellikleriyle değil, baskı yönü, katman kalınlığı, katmanlar arası bağ, boşluk oranı ve katkı maddeleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu durum, dijital üretim teknolojilerinde yangın güvenliği bilgisinin tasarım ve üretim parametrelerine erken aşamada entegre edilmesini gerektirir.

BIM ve dijital yangın güvenliği yaklaşımları ise malzeme bilgisi, yapı elemanı özellikleri, yangın dayanımı, tahliye senaryoları ve risk analizlerinin bütünleşik biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayabilir. Gerçek zamanlı sensör verilerinin dijital modellerle ilişkilendirilmesi, yangın anında daha hızlı karar alma süreçlerini destekleyebilir. Bu bağlamda dijital entegrasyon, yangın geciktirici teknolojilerin yalnızca malzeme düzeyinde değil, yapı yaşam döngüsü, bakım, izleme ve afet yönetimi düzeyinde de ele alınmasına katkı sunar.

Grafik 1'de, yangın geciktirici yaklaşımlar yangın performansı, sürdürülebilirlik ve uygulama olgunluğu açısından göreli olarak değerlendirilmiştir. Buna göre halojen bazlı sistemler uygulama olgunluğu bakımından yüksek görünse de sürdürülebilirlik açısından zayıf kalmaktadır. Nanokompozitler yangın performansı açısından güçlü bir potansiyel sunarken, maliyet ve ölçeklenebilirlik sorunları nedeniyle uygulama olgunluğu sınırlı düzeyde değerlendirilebilir. Biyobazlı/lignin esaslı sistemler sürdürülebilirlik açısından öne çıkmakta; ancak uzun dönem dayanıklılık, standartlaşma ve yaygın uygulama deneyimi bakımından gelişmeye açık bir alan oluşturmaktadır. 3D baskı beton uygulamaları ise henüz araştırma ve deneysel değerlendirme aşamasında olduğundan hem performans hem de uygulama olgunluğu açısından sınırlı düzeyde ele alınmalıdır. BIM ve dijital entegrasyon yaklaşımları, doğrudan malzeme bazlı yangın geciktirme sağlamasa da yangın güvenliği kararlarının tasarım, üretim ve işletme süreçlerine aktarılmasını destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak önem kazanmaktadır (Grafik 1).




**Grafik 1. Yangın geciktirici yaklaşımların performans, sürdürülebilirlik ve uygulama olgunluğu açısından göreli değerlendirmesi**

Çizelge 2'de yangın geciktirici teknolojiler, mimari tasarım sürecinde dikkate alınması gereken temel performans ölçütleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Halojensiz sistemler, alev yayılımının sınırlandırılması ve düşük toksisite hedefleri bakımından geleneksel sistemlere alternatif oluştururken; katkı türü, dozaj ve malzeme uyumu gibi parametreler tasarım kararlarında belirleyici olmaktadır. Nanokompozitler, termal bariyer oluşturma ve karbonlaşmayı destekleme kapasiteleri nedeniyle yüksek performanslı kaplama, panel ve cephe elemanlarında öne çıkmaktadır. Ancak maliyet, ölçeklenebilirlik ve yangın sonrası toksisite belirsizliği bu sistemlerin mimari uygulamalarda dikkatle değerlendirilmesini gerektirir. Lignin ve biyobazlı sistemler ise düşük çevresel yük ve karbon tabakası oluşturma potansiyeliyle

özellikle ahşap, biyokompozit ve iç yüzey kaplamalarında sürdürülebilir bir seçenek sunmaktadır (Çizelge 2).

**Çizelge 2. Yangın geciktirici teknolojilerin mimari tasarım açısından değerlendirilmesi**

| Teknoloji / yaklaşım | Temel katkı | Tasarım parametresi | Başlıca sınırlılık | Mimari kullanım alanı |
|---|---|---|---|---|
| Halojensiz sistemler | Alev yayılımının sınırlandırılması | Katkı türü, dozaj, malzeme uyumu | Performans-sürdürülebilirlik dengesi | Yalıtım, kaplama, polimer bileşenler |
| Nanokompozitler | Termal bariyer ve karbonlaşma | Nanoparçacık türü, dağılım, matris uyumu | Maliyet, ölçeklenebilirlik, toksisite belirsizliği | Kompozit panel, kaplama, cephe elemanı |
| Lignin/biyobazlı sistemler | Düşük çevresel yük ve karbon tabakası | Kaplama kalınlığı, bağlayıcı, nem dayanımı | Uzun dönem performans ve standardizasyon | Ahşap, biyokompozit, iç yüzey kaplaması |
| 3D baskı beton | Katmanlı üretimde yangın davranışının yönetimi | Baskı yönü, katman bağı, katkı maddeleri | Test verisi ve uygulama standardı sınırlılığı | Dijital üretimli yapı elemanları |

Bu karşılaştırma, yangın geciktirici teknolojilerin yalnızca yangına dayanım performansı üzerinden seçilmemesi gerektiğini göstermektedir. Mimari uygulamalarda malzemenin kullanım yeri, çevresel etkisi, bakım gereksinimi, uzun dönem dayanıklılığı ve standartlara uyumu birlikte değerlendirilmelidir. BIM ve dijital entegrasyon ise doğrudan yangın geciktirici malzeme grubu olmadığı için çizelgede ayrı bir teknoloji sınıfı olarak verilmemiş; ancak karar destek, izleme ve yönetim boyutuyla değerlendirme bölümünde ele alınmıştır.

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bulgular, yangın geciktirici teknolojilerin mimari tasarım sürecine sonradan eklenen teknik çözümler olarak değil, malzeme seçimi ve yapı sistemi kararlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Yapı kabuğunda, cephe sistemlerinde, iç mekân kaplamalarında, yalıtım bileşenlerinde ve taşıyıcı olmayan bölme elemanlarında kullanılan malzemeler, yangın anında yalnızca kendi davranışlarını değil, duman yayılımını, tahliye güvenliğini ve yapısal bütünlüğün korunmasını da etkileyebilir.

Bu çerçevede ilk tasarım ilkesi, malzeme seçiminde yangın performansı ile çevresel performansın birlikte değerlendirilmesidir. Yüksek alev geciktirme verimi sunan bir katkı maddesi, toksik emisyon ve çevresel kalıcılık açısından sorun oluşturuyorsa sürdürülebilir yapı

tasarımıyla çelişebilir. Benzer biçimde çevresel açıdan avantajlı biyobazlı bir malzeme, yeterli yangın performansı göstermediğinde kullanıcı güvenliği açısından risk yaratabilir. Bu nedenle tasarımcı için temel mesele, tek bir kriteri maksimize etmekten çok, performans, toksisite, maliyet, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik arasında dengeli bir çözüm geliştirmektir.

İkinci tasarım ilkesi, yangın geciktirici sistemlerin yapı ölçeğine uygunluğunun değerlendirilmesidir. Laboratuvar ortamında başarılı sonuçlar veren bir kaplama veya nanokompozit, saha koşullarında nem, UV, mekanik aşınma, bakım eksikliği veya uygulama hataları nedeniyle aynı performansı göstermeyebilir. Bu nedenle malzeme kararları yalnızca teknik veri föyleri üzerinden değil, yapının iklim koşulları, kullanım yoğunluğu, bakım kapasitesi ve yaşam döngüsü beklentileriyle birlikte verilmelidir.

Üçüncü ilke, dijital araçların karar destek sürecine dahil edilmesidir. BIM tabanlı modeller, yapı elemanlarının malzeme bilgilerini, yangın dayanım sınıflarını, risk bölgelerini ve tahliye senaryolarını aynı ortamda değerlendirmeye imkân tanıyabilir. Bu yaklaşım, yangın geciktirici teknolojilerin yalnızca ürün düzeyinde değil, yapı bütününde nasıl çalıştığını görmeyi sağlar. Özellikle karmaşık cephe sistemleri, yüksek yoğunluklu yapılar, sağlık ve eğitim yapıları ile dijital üretimli elemanlarda bu entegrasyon daha kritik hâle gelmektedir.

Son olarak yangın güvenliği bilincinin mimarlık eğitiminde ve tasarım pratiğinde güçlendirilmesi gerekmektedir. Yangın geciktirici malzemeler, çoğu zaman mühendislik veya ürün teknolojisi konusu olarak görülmekte; mimari tasarım kararlarıyla ilişkisi yeterince kurulmamaktadır. Oysa malzeme seçimi, detay çözümü, cephe kompozisyonu, iç mekân kaplaması, bakım stratejisi ve kullanıcı güvenliği doğrudan mimari kararlarla bağlantılıdır. Bu nedenle yangın güvenliği, tasarım sürecinin erken aşamalarından itibaren görünür bir karar ölçütü hâline getirilmelidir.

Bu çalışma, mimarlıkta yangın geciktirici teknolojilerin günümüzde malzeme performansı, sürdürülebilirlik, insan sağlığı ve dijital entegrasyon ekseninde çok boyutlu bir araştırma alanına dönüştüğünü ortaya koymuştur. Halojen bazlı geleneksel sistemlerin çevresel ve sağlık açısından yarattığı sorunlar, nanoteknolojik, biyobazlı ve halojensiz sistemlere yönelik ilgiyi artırmıştır.

Nanokompozit sistemler, termal bariyer oluşturma, karbonlaşmayı destekleme ve duman salımını azaltma potansiyeliyle yüksek performanslı pasif yangın güvenliği çözümleri sunmaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerin maliyet, ölçeklenebilirlik, uzun dönem davranış ve yangın sonrası toksisite açısından daha fazla araştırılması gerekmektedir. Biyobazlı ve lignin esaslı sistemler ise sürdürülebilirlik hedefleriyle daha uyumlu bir alternatif oluşturmakta; ancak bu sistemlerin farklı iklim koşullarında dayanıklılığı, standart yangın testlerindeki performansı ve endüstriyel uygulanabilirliği daha ayrıntılı biçimde doğrulanmalıdır.

3D baskı beton ve BIM destekli yaklaşımlar, yangın güvenliğinin yalnızca malzeme düzeyinde değil, üretim ve yönetim süreçlerinde de ele alınabileceğini göstermektedir. Katmanlı üretim tekniğiyle üretilen yapı elemanlarının yangın davranışı; baskı yönü, boşluk oranı, katman bağlantısı ve katkı maddeleri gibi değişkenlerle birlikte değerlendirilmelidir. BIM ve sensör destekli dijital sistemler ise malzeme bilgisi, yangın dayanımı, risk analizi ve tahliye senaryolarının bütünleşik biçimde yönetilmesine katkı sağlayabilir.

Gelecek çalışmalarda düşük maliyetli yeşil sentez teknikleri, biyobazlı katkıların uzun dönem performansı, nanomateryallerin yangın sonrası çevresel etkileri ve dijital izleme sistemleriyle entegre yangın geciktirici malzemeler üzerine daha fazla araştırma yapılması önemlidir. Mimari uygulamalarda ise yangın geciktirici teknolojiler, yapı malzemesi seçimi, cephe tasarımı, iç mekân kaplamaları, bakım stratejileri ve kullanıcı güvenliği ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, daha güvenli, sürdürülebilir ve performans odaklı yapı çevrelerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

**1.** Ali, Md. H., Issayev, G., Shehab, E. ve Sarfraz, S., A Critical Review of 3D Printing and Digital Manufacturing in Construction Engineering, Rapid Prototyping Journal, 28, 7, 1312-1324, 2022. https://doi.org/10.1108/rpj-07-2021-0160

**2.** Aşlar, E. E. ve Harputlugil, G. U., Çift Katmanlı Cephelerin Yangın Güvenliği Açısından İncelemesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 39, 2, 1083-1098, 2023. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1157018

**3.** Beşiroğlu, Ş. ve Serteser, N., Yapı Bilgi Modelleme (BIM) ile Binaların Yangın Emniyeti Performansının Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2024. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1377660

**4.** Bodur, A., Türkiye'de Mimarlık ve İç Mimarlık Öğretiminde Yangın Güvenliğine Samsun Özelinden Bakış, Resilience, 3(2), 349-357, 2019. https://doi.org/10.32569/resilience.624100

**5.** Eltemamy, A. M., Sameh, M. S. K. E. ve Nasr-Eldin, T. I., Enhancing Fire Protection in Buildings Using Nanotechnology, Nanotechnology Perceptions, 2024. https://doi.org/10.62441/nano-ntp.vi.5158

**6.** Gawdat, S., Farouk, A. ve Farid, A. A., The Use of Nano-Glass in Passive Fire Safety in Buildings, Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, 18(66), 218-225, 2023. https://doi.org/10.21608/auej.2023.283053

**7.** Madyaratri, E. W., Ridho, M., Aristri, M. A., Lubis, M. A. R., Iswanto, A. H., Nawawi, D. S., Antov, P., Kristak, L., Majlingová, A. ve Fatrıasarı, W., Recent Advances in the Development of Fire-Resistant Biocomposites-A Review, Polymers, 14(3), 362, 2022. https://doi.org/10.3390/polym14030362

**8.** Mi, L., Experimental Study on Bio-Based Fire Retardant: Lignin Coating for Sustainable Wood Protection, Yüksek Lisans Tezi, Aalto University, 2025. https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/141038

**9.** Mullins-Jaime, C. ve Smith, T. D., Nanotechnology in Residential Building Materials for Better Fire Protection and Life Safety Outcomes, Fire, 5(6), 174, 2022. https://doi.org/10.3390/fire5060174

**10.** Munir, Q., Hyvärinen, M. ve Kärki, T., Sustainable Utilization and Fire Protection of Wood-Based Composites in Buildings: Innovations, Challenges, and Future Directions, Sustainable Development, 2026. https://doi.org/10.1002/sd.70773

**11.** Rabajczyk, A., Zielecka, M., Popielarczyk, T. ve Sowa, T., Nanotechnology in Fire Protection-Application and Requirements, Materials, 14(24), 7849, 2021. https://doi.org/10.3390/ma14247849

**12.** Sikora, P., Skibicki, S., Bielawski, J., Techman, M., Federowicz, K. ve Węgrzyński, W., Elevated Temperature Response and Fire Resistance Considerations of 3D-Printed Concrete: Small- to Medium-Scale Wall Experiments, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 25, 2025. https://doi.org/10.1007/s43452-025-01321-4

**13.** Singh, N., Usman, U. L. ve Abdala, A., Nanomaterials in Fire Protection: Innovations for Enhanced Safety and Durability, Nano-Structures & Nano-Objects, 42, 101497, 2025. https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2025.101497

**14.** Yang, H., Yu, B., Xu, X., Bourbigot, S., Wang, H. ve Song, P., Lignin-Derived Bio-Based Flame Retardants toward High-Performance Sustainable Polymeric Materials, Green Chemistry, 22(7), 2129-2161, 2020. https://doi.org/10.1039/d0gc00449a

**15.** Zheng, C., Li, D. ve Ek, M., Improving Fire Retardancy of Cellulosic Thermal Insulating Materials by Coating with Bio-Based Fire Retardants, Nordic Pulp & Paper Research Journal, 34(1), 96-106, 2019. https://doi.org/10.1515/npprj-2018-0031

**16.** Zingoni, A., Current Perspectives and New Directions in Mechanics, Modelling and Design of Structural Systems, CRC Press, 2022. https://doi.org/10.1201/9781003348443

# MİMARLIKTA AKUSTİK VE GÜRÜLTÜ DENETİMİ BAĞLAMINDA YEŞİL ALTYAPI BİLEŞENLERİNİN İŞİTSEL KONFORA KATKISI

**Öğr. Gör. Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI**

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi

osmanyagci@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7129-1891

**Arş. Gör. Dr. Bilgehan BAKIRHAN**

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi

bilgehanbakirhan@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6940-9902

## ÖZET

Kentsel alanlarda gürültü kirliliğiyle mücadelede geleneksel sert yüzeyli bariyerlerin yerine, doğa tabanlı çözümler mimari akustik stratejilerinin merkezine yerleşmektedir. Bu çalışma, yeşil çatı, dikey yeşillendirme sistemleri ve bitki kuşakları gibi yeşil altyapı bileşenlerinin sesin yayılımı, yutulması ve saçılması üzerindeki etkilerini güncel literatür ışığında incelemektedir. Yapılan araştırmalar, yeşil çatı sistemlerinin sadece yapısal yalıtım sağlamakla kalmayıp, çatı üzerinden kırılan ses dalgalarını yutarak gürültü seviyelerini önemli ölçüde düşürdüğünü göstermektedir. Bu sistemlerde kullanılan substrat tabakasının derinliği ve bitki yoğunluğu, ses yutma katsayısını doğrudan etkileyen temel parametreler olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, dikey yeşillendirme sistemlerinin laboratuvar ortamında 15 dB'e kadar ağırlıklı ses azaltma indeksi ve 0,40 civarında ses yutma katsayısı sergileyebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca modüler yeşil bariyerlerin yansıtıcı bariyerlere kıyasla gürültü sönümlemede 4 dBA'ya kadar ek iyileştirme sağladığı saptanmıştır. Yeşil altyapının akustik performansı, fiziksel sönümleme etkisinin yanı sıra bitki elemanlarının ses saçılımı oluşturma kapasitesi sayesinde trafik gürültüsünün spektral yapısını da etkileyebilmektedir. Ayrıca, iç mekân dikey bahçe uygulamalarının ofis ortamlarında gürültü kaynaklı stresi azalttığı ve işitsel peyzaj algısını iyileştirerek biyofilik bir konfor alanı yarattığı öne sürülmektedir. Bireylerin yeşil dokuyu görsel olarak algılaması, trafik gürültüsüne duyulan rahatsızlık eşiğini psikolojik olarak yükseltmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil çatı, Yeşil duvar, Bitki kuşakları, Ses yutumu, Biyofilik tasarım.

# THE CONTRIBUTION OF GREEN INFRASTRUCTURE COMPONENTS TO AUDITORY COMFORT IN THE CONTEXT OF ACOUSTICS AND NOISE CONTROL IN ARCHITECTURE

**Instructor Dr. Osman Ziyaettin YAĞCI**

Karabuk University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture

osmanyagci@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7129-1891

**Res. Assist. Dr. Bilgehan BAKIRHAN**

Karabuk University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture

bilgehanbakirhan@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6940-9902

## ABSTRACT

Nature-based solutions are increasingly being integrated into architectural acoustic strategies as sustainable alternatives to conventional hard-surface barriers for mitigating urban noise pollution. This study investigates the acoustic performance of green infrastructure components, including green roofs, vertical greening systems, and vegetative buffer zones, with particular emphasis on their influence on sound propagation, absorption, and scattering. The research is based on a comprehensive review of the current literature on architectural acoustics, environmental noise control, and biophilic design. The findings indicate that green roof systems contribute not only to thermal and structural insulation but also to noise reduction by absorbing sound waves transmitted through roof assemblies. Substrate depth and vegetation density emerge as critical factors influencing sound absorption performance. Similarly, vertical greening systems have demonstrated weighted sound reduction indices of up to 15 dB and sound absorption coefficients approaching 0.40 under laboratory conditions. In addition, modular vegetated barriers have been reported to provide up to 4 dBA greater noise attenuation compared to conventional reflective barriers. Beyond physical sound attenuation, green infrastructure can influence the spectral characteristics of traffic noise through the sound-scattering properties of vegetation. The literature also suggests that indoor vertical greenery systems may reduce noise-related stress and enhance soundscape perception by creating biophilic environments. Furthermore, visual exposure to vegetation appears to improve the subjective evaluation of acoustic environments, increasing tolerance toward urban noise sources. Consequently, the study highlights that green infrastructure should be considered not merely as an aesthetic element but as an active component of integrated noise-control strategies. The findings contribute to the growing body of knowledge on the relationship between ecological design approaches and acoustic comfort and provide a conceptual basis for future research and design applications.

**Keywords**: Green infrastructure, Green roofs, Vertical greening systems, Sound absorption, Acoustic comfort, Biophilic design

## 1. GİRİŞ

Hızlı kentleşme, ulaşım altyapılarının yoğunlaşması, endüstriyel faaliyetler ve yapılaşma baskısı, kentlerde çevresel gürültüyü giderek daha görünür bir yaşam kalitesi sorunu hâline getirmektedir. Gürültü denetimi geleneksel olarak yapı kabuğunda yalıtım, sert yüzeyli bariyerler, cephe elemanlarının ses geçiş kaybı ve mekânsal mesafe oluşturma stratejileri üzerinden ele alınmaktadır. Bu yaklaşımlar belirli durumlarda etkili olmakla birlikte, özellikle yoğun kent dokusunda estetik kalite, ekolojik katkı, mikroklima, kullanıcı algısı ve kamusal alan deneyimi bakımından sınırlı kalabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda doğa tabanlı çözümler, mimarlıkta akustik konforun yalnızca teknik bir yalıtım problemi olarak değil, çevresel ve algısal bileşenleri olan bütüncül bir tasarım konusu olarak değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır.

Yeşil altyapı; yeşil çatılar, yeşil cepheler, yaşayan duvar sistemleri, bitki kuşakları, geçirgen zeminler, iç avlular, kentsel açık alan bitkilendirmeleri ve çok katmanlı peyzaj düzenlemeleri gibi bileşenlerden oluşan geniş bir sistem olarak değerlendirilebilir. Akustik açıdan bu bileşenlerin önemi, ses dalgalarının yalnızca fiziksel olarak engellenmesine değil, aynı zamanda yutulmasına, saçılmasına, kırınım etkilerinin azaltılmasına ve kullanıcıların işitsel çevreyi algılama biçimlerinin değişmesine dayanır. Yeşil çatıların yapı kabuğundaki ses iletim kaybını artırabildiği; dikey yeşillendirme sistemlerinin cephe yüzeylerinde yansımayı sınırlandırabildiği; bitki kuşaklarının ise yol-trafik gürültüsünün yayılımında saçılma ve görsel rahatlama etkileri oluşturabildiği belirtilmektedir (Van Renterghem & Botteldooren, 2011; Van Renterghem ve ark., 2012; Azkorra ve ark., 2015) (Görsel 1).

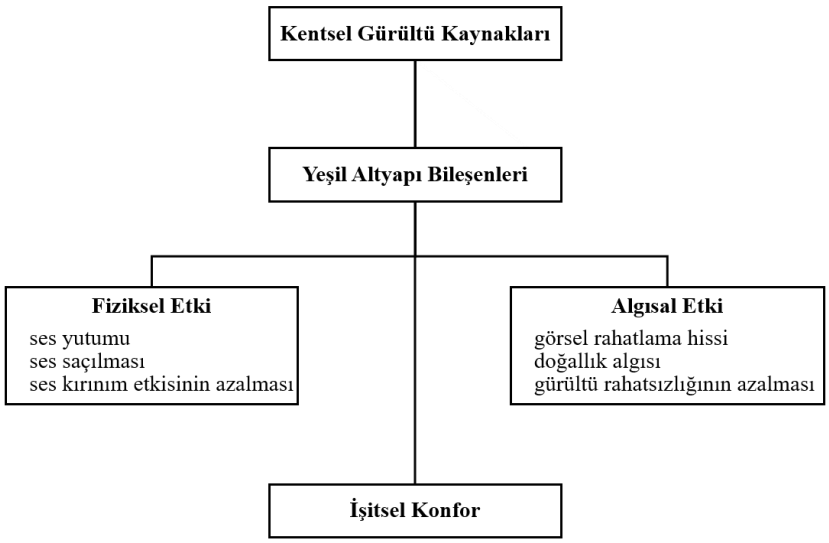



**Görsel 1. Kentsel gürültü denetiminde yeşil altyapı bileşenlerinin işitsel konfora katkısı (YZ ile üretilmiştir).**

Mimarlıkta işitsel konfor çoğu zaman desibel düzeylerinin düşürülmesiyle ilişkilendirilse de kullanıcı deneyimi yalnızca fiziksel ses basıncı düzeyiyle açıklanamaz. Mekânın görsel

karakteri, doğal unsurların varlığı, kullanıcının beklentisi, gürültü kaynağının türü ve işitsel peyzajın olumlu ya da olumsuz çağrışımları, algılanan rahatsızlık üzerinde belirleyici olabilir. Bu nedenle yeşil altyapı bileşenleri, akustik performans açısından yalnızca ölçülebilir ses azaltımı sağlayan fiziksel elemanlar olarak değil, aynı zamanda biyofilik tasarım ilkeleriyle ilişkili algısal konfor araçları olarak da ele alınmalıdır. Van Renterghem ve çalışma arkadaşlarının yeşil görünüm ile trafik gürültüsü rahatsızlığı arasındaki ilişkiye yönelik çalışmaları, görsel yeşil dokunun işitsel çevre değerlendirmesinde önemli bir psikolojik aracı olabileceğini göstermektedir (Van Renterghem, 2018; Van Renterghem ve ark., 2023).

Yeşil altyapı bileşenleri, kentsel gürültüye karşı yalnızca ses düzeyini azaltan fiziksel bir çözüm olarak değil, aynı zamanda kullanıcıların mekânı algılama biçimini etkileyen bütüncül bir tasarım aracı olarak değerlendirilebilir. Görsel 2'de gösterildiği üzere yeşil çatı, dikey yeşillendirme ve bitki kuşakları gibi bileşenler; ses yutumu, saçılım ve kırınım etkisinin azaltılması yoluyla fiziksel akustik katkı sağlarken, görsel rahatlama ve doğallık algısı üzerinden işitsel konforu algısal düzeyde de desteklemektedir (Görsel 2).




**Görsel 2. Yeşil altyapı bileşenlerinin işitsel konfora katkısını gösteren kavramsal model**

## 2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın temel amacı, yeşil altyapı bileşenlerinin mimarlıkta gürültü denetimi ve işitsel konfor üzerindeki katkılarını literatür verileri üzerinden değerlendirmektir. Çalışma, yeşil altyapıyı yalnızca sürdürülebilirlik, estetik kalite veya mikroklima iyileştirmesi bağlamında ele almak yerine, akustik performansa katkı sağlayan bir tasarım girdisi olarak yorumlamaktadır. Bu yönüyle araştırma, ses yutumu ve ses geçiş kaybı gibi teknik göstergeler ile kullanıcı algısı, biyofilik etki ve işitsel peyzaj gibi nitel göstergeler arasında ilişki kurmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın kapsamı üç ana yeşil altyapı bileşeniyle sınırlandırılmıştır. İlk olarak yeşil çatı sistemleri; substrat tabakası, bitki örtüsü ve çok katmanlı çatı kesitinin ses iletimi ve kırınım üzerindeki etkileri açısından incelenmiştir. İkinci olarak dikey yeşillendirme sistemleri; cephe yüzeylerinde yansımanın azaltılması, ses yutma katsayısı, ağırlıklı ses azaltma indeksi ve sokak

kanyonu koşullarında akustik çevreye katkısı bakımından değerlendirilmiştir. Üçüncü olarak bitki kuşakları ve peyzaj düzenlemeleri; trafik gürültüsünün saçılması, ara yüz etkisi, çok katmanlı bitkisel örgütlenme ve görsel yeşil doku aracılığıyla gürültü rahatsızlığının azaltılması açısından ele alınmıştır (Connelly, 2011; Van Renterghem ve ark., 2012; Azkorra ve ark., 2015; Palacio ve ark., 2016; Oquendo-Di Cosola ve ark., 2025).

Çalışma, deneysel ölçüm ya da alan çalışması üretmemekte; mevcut literatürde bildirilen bulguları mimari tasarım açısından yorumlayan kavramsal ve değerlendirmeci bir yaklaşım benimsemektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, belirli bir yapı ya da kent parçası için doğrudan performans tahmini olarak değil, tasarım kararlarını yönlendirebilecek genel ilkeler ve parametreler olarak okunmalıdır.

## 3. YÖNTEM

Araştırma, nitel literatür incelemesi ve tematik sentez yaklaşımına dayanmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında mimari akustik, çevresel gürültü denetimi, yeşil çatı, dikey yeşillendirme, bitkisel bariyer, işitsel peyzaj ve biyofilik tasarım kavramları çevresinde öne çıkan literatür değerlendirilmiştir. İkinci aşamada kaynaklarda bildirilen performans göstergeleri; ses iletim kaybı, ses yutma katsayısı, ağırlıklı ses azaltma indeksi, kırınım etkisi, saçılma, yansıma azalması ve algısal gürültü rahatsızlığı başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Üçüncü aşamada ise bu göstergeler mimari tasarım kararlarıyla ilişkilendirilerek yeşil altyapının hangi tasarım parametreleri üzerinden akustik konfora katkı sağlayabileceği tartışılmıştır.

Literatürün sınıflandırılmasında dört ölçüt dikkate alınmıştır. Bunlar; incelenen yeşil altyapı türü, akustik etki mekanizması, bildirilen performans göstergesi ve mimari tasarıma aktarılabilecek parametredir. Bu çerçevede Connelly (2011) ve Hodgson'ın (2013) yeşil çatı substratları ve ses iletim kaybı üzerine bulguları, Van Renterghem ve Botteldooren'in (2011) yeşil çatıların kırınım ve sessiz cephe etkisine ilişkin çalışmaları, Azkorra ve arkadaşlarının (2015) modüler yeşil duvar sistemlerine yönelik laboratuvar sonuçları, Palacio ve arkadaşlarının (2016) modüler yeşil bariyer değerlendirmeleri, Cosola ve arkadaşlarının yeşil duvarlarda sistem bileşenleri ve ses yutma ilişkisini tartışan çalışması ile Bock ve arkadaşlarının (2022) yaprak alan endeksi bağlamında dikey yeşillendirme performansını irdeleyen çalışmaları birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1. Literatür incelemesinde kullanılan sınıflandırma çerçevesi.**

| İncelenen Yeşil Altyapı Türü | Akustik Etki Mekanizması | Performans Göstergesi | Mimari Tasarıma Aktarılabilecek Parametre |
|---|---|---|---|
| Yeşil çatılar | Substrat derinliği, yoğunluk, gözeneklilik, bitki örtüsü | İletim kaybı, yutum, kırınım etkisi | Çatı kesiti, sessiz cephe, iç avlu, arka cephe |
| Dikey yeşillendirme | Modül tipi, bitki yoğunluğu, hava boşluğu, cephe konumu | Ses yutma katsayısı, yansıma azalması | Sokak kanyonu, sert cephe yüzeyleri, bina kabuğu |
| Bitki kuşakları | Ağaç aralığı, gövde çapı, çalı tabakası, zemin örtüsü | Saçılma, yayılımın zayıflaması, algısal iyileşme | Yol kenarı peyzajı, tampon bölge, açık alan tasarımı |

| | | | |
|---|---|---|---|
| İşitsel peyzaj | Görsel yeşil doku, doğal sesler, kullanıcı beklentisi | Rahatsızlık algısı, sakinlik, mekânsal memnuniyet | Biyofilik tasarım, kamusal alan kalitesi |

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Yeşil Altyapının Akustik Etki Mekanizmaları

Yeşil altyapı bileşenlerinin akustik performansı tek bir mekanizma üzerinden açıklanamaz. Bitkisel yüzeyler, gözenekli substrat katmanları, yaprak ve dal dokusu, gövde dizilimi, hava boşlukları ve zemin örtüsü birlikte çalışarak sesin mekân içindeki hareketini değiştirir. Bu etki kimi zaman ses enerjisinin bir bölümünün yutulması, kimi zaman doğrudan iletim hattının kırılması, kimi zaman da yansıyan ses enerjisinin dağıtılması biçiminde ortaya çıkar. Dolayısıyla yeşil altyapının akustik katkısı, beton veya metal bir bariyerin doğrudan engelleme mantığından farklıdır; daha çok ses alanını yumuşatan, enerjiyi parçalayan ve kullanıcı algısını destekleyen çok katmanlı bir ara yüz oluşturur.

Ses yutumu, özellikle gözenekli substrat ve bitkisel yüzey dokusuyla ilişkilidir. Ses dalgaları bu yüzeylere ulaştığında gözenekler içinde sürtünmeye uğrar ve enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Saçılma ise yaprak, dal, gövde ve düzensiz yüzey dokularının ses dalgalarını farklı yönlere dağıtmasıyla gerçekleşir. Bu mekanizma, özellikle dar sokak kanyonlarında karşılıklı sert cepheler arasında tekrar eden yansımaların azaltılması bakımından önemlidir. Kırınım etkisinin azaltılması ise yeşil çatılar ve çatı kenarı düzenlemeleri aracılığıyla gürültünün arka cephe, iç avlu veya sessiz cephe olarak tanımlanan alanlara ulaşma biçimini değiştirebilir.

Bu mekanizmalar birlikte değerlendirildiğinde, yeşil altyapının en güçlü yönünün yalnızca sayısal ses azaltımı üretmesi değil, mekânın işitsel karakterini dönüştürebilmesi olduğu görülür. Sert yüzeyli bariyerler gürültünün belirli bir doğrultuda engellenmesine odaklanırken, yeşil altyapı daha geçirgen, çok katmanlı ve çevresel nitelik taşıyan bir akustik düzenleme sunar. Bu nedenle gürültü kontrolünde yeşil altyapı, tek başına bütün sorunları çözen bir araç olarak değil, yapı kabuğu yalıtımı, kentsel form, mesafe, malzeme seçimi ve peyzaj tasarımıyla birlikte çalışan tamamlayıcı bir sistem olarak değerlendirilmelidir.

### 4.2. Yeşil Çatı Sistemlerinin Akustik Performansı

Yeşil çatılar, yapı kabuğunun akustik performansını destekleyen en önemli yeşil altyapı bileşenlerinden biridir. Bu sistemlerin akustik katkısı iki temel düzeyde ortaya çıkar. Birincisi, çatı kesitine eklenen substrat, drenaj, bitki ve taşıyıcı katmanların oluşturduğu ek kütle ve gözenekli yapı sayesinde ses iletim kaybının artmasıdır. İkincisi, çatı yüzeyi üzerinden kırılan ses dalgalarının yeşil çatı katmanları tarafından zayıflatılması ve böylece arka cephe veya iç avlu gibi daha korunaklı işitsel alanların desteklenmesidir.

Yeşil çatı performansında substrat tabakasının derinliği, yoğunluğu, gözenekliliği, nem durumu ve organik madde içeriği belirleyici rol oynar. Substratın çok ince olduğu uygulamalarda yutum kapasitesi sınırlı kalabilirken, daha derin ve gözenekli yapılar ses dalgalarının yüzey içinde daha fazla yol almasına ve enerjinin daha etkili biçimde sönümlenmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte akustik performans yalnızca substrat kalınlığının artırılmasıyla otomatik olarak yükselmez. Aşırı nem, sıkışma, yanlış bitki seçimi ve bakım eksikliği, gözenekliliği

azaltarak beklenen performansı sınırlayabilir. Bu nedenle yeşil çatıların akustik tasarımında kesit kalınlığı kadar malzeme bileşimi, drenaj ve bakım sürekliliği de önemlidir.

Yeşil çatılar özellikle yoğun trafik akslarına yakın yapılarda, havaalanı çevrelerinde, yüksek yapı yoğunluğu bulunan kent merkezlerinde ve iç avluya sahip yapı tipolojilerinde işitsel konfor açısından potansiyel taşır. Çatı yalnızca yağmur suyu yönetimi, ısı adası etkisinin azaltılması veya enerji performansı için düşünülmemeli; aynı zamanda gürültünün yapı çevresinde nasıl dolaştığı ve hangi cephelere ulaştığı açısından da değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, çatı yüzeyini pasif bir üst örtü olmaktan çıkararak kentsel akustik performansın aktif bir bileşeni hâline getirir.

### 4.3. Dikey Yeşillendirme Sistemleri ve Cephe Akustiği

Dikey yeşillendirme sistemleri, cephe yüzeyinin akustik karakterini değiştirme potansiyeli nedeniyle mimari gürültü denetiminde özel bir yere sahiptir. Kentlerde çok sayıda cephe beton, cam, taş, metal veya seramik gibi yüksek yansıtıcılığa sahip sert malzemelerden oluşur. Özellikle dar sokak kanyonlarında karşılıklı cepheler arasında oluşan yansımalar, trafik gürültüsünün yalnızca doğrudan iletilmesine değil, yankılanarak mekân içinde kalmasına da neden olabilir. Bitkilendirilmiş cepheler bu yansıtıcı yüzey etkisini azaltarak daha dengeli bir işitsel çevre oluşmasına katkı sağlayabilir.

Dikey yeşillendirme sistemlerinin başarısı, yalnızca cephede yeşil bir yüzey oluşturulmasına bağlı değildir. Sistem tipi, modül derinliği, bitki örtüsünün sürekliliği, yaprak yoğunluğu, hava boşluğu, cepheye olan mesafe, bakım durumu ve yüzey kaplama oranı performansı doğrudan etkiler. Yaşayan duvar sistemlerinde substrat tabakası ve modül boşlukları ses yutumu açısından önemli olabilirken, tırmanıcı bitkilerle oluşturulan yeşil cephelerde yaprak ve dal dokusunun saçılma etkisi daha belirgin olabilir. Bu nedenle tasarımcı, dikey yeşillendirmeyi yalnızca cephe estetiği ya da gölgeleme amacıyla değil, gürültünün hangi yüzeylerden yansıdığı ve hangi frekans aralıklarında sorun oluşturduğu bilgisiyle birlikte ele almalıdır.

Cephe akustiği açısından dikey yeşillendirme, özellikle zemin kat ticari kullanımlarının bulunduğu yoğun caddelerde, okul ve sağlık yapıları çevresinde, konut cephelerinde, avlu duvarlarında ve yüksek yansıtıcılığa sahip sert sınır elemanlarında etkili bir ara yüz oluşturabilir. Bununla birlikte sistemlerin akustik katkısının tasarım ve bakım kalitesine duyarlı olduğu unutulmamalıdır. Bitki örtüsünün seyrekleşmesi, modüller arasındaki boşlukların artması veya substratın işlevini kaybetmesi, performansın düşmesine yol açabilir. Bu nedenle dikey yeşillendirme uygulamaları, akustik hedefleri de içeren bir bakım ve izleme yaklaşımıyla desteklenmelidir.

### 4.4. Bitki Kuşakları, Peyzaj Düzenlemeleri ve Kentsel Ara Yüz Etkisi

Kentsel peyzajda kullanılan ağaç kuşakları, çalı grupları, zemin örtüleri ve çok katmanlı bitkisel düzenlemeler, gürültü kaynağı ile kullanıcı arasında geçirgen fakat etkili bir ara yüz oluşturur. Bu elemanlar, klasik bir gürültü bariyeri gibi sesin tamamını kesmez; ancak gövde, dal, yaprak ve zemin örtüsü aracılığıyla ses dalgalarının saçılmasına, doğrudan iletim hattının parçalanmasına ve kullanıcı algısının yumuşamasına katkı sağlar. Bu nedenle bitki kuşakları

özellikle yol kenarlarında, yaya akslarında, açık oturma alanlarında, eğitim ve sağlık yapılarının çevresinde ve konut alanlarında işitsel konforun desteklenmesi açısından önemlidir.

Bitki kuşaklarının etkisi, bitkilerin yalnızca varlığıyla değil, mekânsal örgütlenme biçimiyle ilişkilidir. Tek sıra ve seyrek ağaç dizileri çoğu durumda sınırlı etki üretirken, farklı yüksekliklerde ağaç, çalı ve zemin örtüsünü bir araya getiren çok katmanlı düzenlemeler daha güçlü bir akustik tampon oluşturabilir. Gövde aralıklarının azaltılması, çalı tabakasının sürekliliği, zemin yüzeyinin sert kaplama yerine yutucu veya geçirgen malzemelerle desteklenmesi ve bitki kuşağının gürültü kaynağına göre doğru konumlandırılması performansı artıran temel kararlardır.

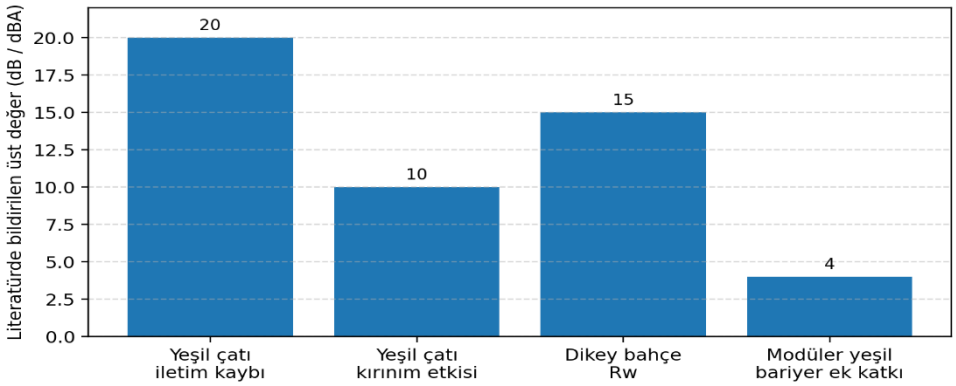
Peyzaj düzenlemelerinin akustik katkısı yalnızca fiziksel sönümleme ile sınırlı değildir. Kullanıcıların yeşil dokuyu görsel olarak algılaması, trafik gürültüsü gibi istenmeyen ses kaynaklarına karşı toleransı artırabilir. Bu durum, işitsel konforun yalnızca ölçülen ses düzeyiyle değil, mekânın bütüncül deneyimiyle ilişkili olduğunu gösterir. Görsel yeşillik, doğal seslerin varlığı, gölgeleme, mikroklima ve mekânsal aidiyet hissi birlikte değerlendirildiğinde, peyzaj düzenlemeleri kentsel gürültü denetiminde hem fiziksel hem de algısal bir tasarım aracı olarak öne çıkar.

### 4.5. İç Mekân Dikey Bahçeleri ve Biyofilik İşitsel Konfor

Yeşil altyapı bileşenleri yalnızca dış mekân gürültü denetimi açısından değil, iç mekân işitsel konforu açısından da değerlendirilebilir. Ofisler, eğitim yapıları, bekleme alanları ve kamusal iç mekânlarda kullanılan dikey bahçe sistemleri, yüzey yansımalarının azaltılması ve mekânın algısal kalitesinin iyileştirilmesi bakımından önem taşır. Sert yüzeylerin baskın olduğu iç mekânlarda konuşma gürültüsü, ekipman sesleri ve kullanıcı hareketleri, yankılanma ve dikkat dağınıklığına neden olabilir. Bitkisel yüzeyler bu ortamda hem ses yutumuna katkı sağlayabilir hem de kullanıcıların mekânı daha sakin ve doğal algılamasına yardımcı olabilir.

Biyofilik tasarım açısından iç mekân bitkilendirmesi, yalnızca görsel estetik sunan bir dekorasyon unsuru değildir. Doğal doku, renk, ritim ve yüzey çeşitliliği, mekânın duyusal zenginliğini artırırken gürültünün yarattığı stres etkisini de azaltabilir. Bu bağlamda iç mekân dikey bahçeleri, akustik panellerin yerine geçen teknik ürünler olarak değil, akustik düzenleme, görsel rahatlama ve mekânsal nitelik üretimini birleştiren hibrit tasarım elemanları olarak düşünülmelidir. Özellikle açık ofislerde, eğitim yapılarında ve sağlık yapılarının bekleme alanlarında bu yaklaşım, kullanıcı memnuniyetini destekleyen tamamlayıcı bir strateji oluşturabilir.

Grafik 1'de, farklı çalışmalarda bildirilen seçili akustik performans değerleri karşılaştırmalı bir özet olarak verilmiştir. Buna göre yeşil çatı sistemlerinde ses iletim kaybının 20 dB'e kadar çıkabildiği, çatı üzerinden gerçekleşen kırınım etkisinin ise yaklaşık 10 dB düzeyinde azaltılabildiği görülmektedir. Dikey bahçe sistemleri için ağırlıklı ses azaltma indeksi yaklaşık 15 dB olarak bildirilirken, modüler yeşil bariyerlerin geleneksel yansıtıcı bariyerlere kıyasla yaklaşık 4 dBA ek katkı sağlayabildiği anlaşılmaktadır. Bu değerler, yeşil altyapı bileşenlerinin akustik performansının tek bir mekanizmaya bağlı olmadığını; yapı kabuğu, cephe yüzeyi, çatı geometrisi ve peyzaj düzenlemesi gibi farklı tasarım ölçeklerinde değişken katkılar sunabildiğini göstermektedir (Görsel 2).




**Görsel 5. Literatürde bildirilen seçili akustik performans değerlerinin özet gösterimi.**

Yeşil altyapı bileşenlerinin akustik tasarım açısından değerlendirilmesinde, her bileşenin aynı mekanizma üzerinden etkili olmadığı görülmektedir. Çizelge 2'de yeşil çatı, dikey yeşillendirme, ağaç kuşağı ve iç mekân dikey bahçesi gibi bileşenler; temel akustik mekanizma, tasarım parametresi, beklenen katkı ve dikkat edilmesi gereken noktalar açısından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre yeşil çatılar daha çok ses yutumu ve kırınım kontrolü yoluyla etkili olurken, dikey yeşillendirme sistemleri cephe yüzeylerinde yansımanın azaltılması ve ses saçılımının artırılması açısından önem kazanmaktadır. Ağaç kuşakları, özellikle trafik gürültüsünün yumuşatılması ve rahatsızlık algısının azaltılması bakımından kentsel ölçekte katkı sağlamaktadır. İç mekân dikey bahçeleri ise yankılanma hissini azaltarak ve kullanıcıda algısal rahatlama oluşturarak işitsel konforu desteklemektedir (Çizelge 2).

**Çizelge 2. Yeşil altyapı bileşenlerinin akustik tasarım açısından değerlendirilmesi.**

| Bileşen | Temel mekanizma | Tasarım parametresi | Beklenen katkı | Dikkat edilmesi gerekenler |
|---|---|---|---|---|
| Yeşil çatı | Ses yutumu + kırınım kontrolü | Substrat kalınlığı, gözeneklilik, bitki yoğunluğu | Çatıdan yayılan ve kırılan gürültünün azalması | Nem, bakım, kesit ağırlığı ve drenaj birlikte çözülmelidir. |
| Dikey yeşillendirme | Yansıma azalması + saçılma | Yaprak yoğunluğu, modül derinliği, hava boşluğu | Cephe yüzeylerinde daha dengeli işitsel çevre | Seyrek bitki örtüsü ve modül boşlukları performansı düşürebilir. |
| Ağaç kuşağı | Ses saçılması + ara yüz etkisi | Çok katmanlı bitkilendirme, gövde aralığı, çalı tabakası | Trafik gürültüsünün yumuşaması ve rahatsızlığın azalması | Tek sıra ağaç dizileri çoğu durumda yeterli değildir. |
| İç mekân dikey bahçesi | Ses yutumu + algısal rahatlama | Yüzey alanı, konum, bitki sağlığı, bakım | Yankılanma hissinin ve gürültü stresinin azalması | Akustik panel yerine tek başına çözüm olarak görülmemelidir. |

Çizelge 2, yeşil altyapı uygulamalarının yalnızca bitkilendirme kararı olarak ele alınmaması gerektiğini göstermektedir. Her bileşenin akustik başarısı; substrat kalınlığı, bitki yoğunluğu, modül derinliği, gövde aralığı, çalı tabakası, yüzey alanı, bakım sürekliliği ve konum gibi tasarım değişkenlerine bağlıdır. Bu nedenle yeşil altyapı bileşenleri, mimari ve peyzaj tasarım sürecinde akustik hedeflerle birlikte değerlendirilmelidir

## 5. MİMARİ TASARIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Bulgular, yeşil altyapı bileşenlerinin akustik performans açısından erken tasarım aşamasında ele alınması gerektiğini göstermektedir. Gürültü denetimi çoğu zaman proje tamamlandıktan sonra eklenen teknik önlemlerle çözülmeye çalışıldığında hem maliyet artmakta hem de mimari bütünlük zayıflamaktadır. Oysa yeşil çatı, cephe bitkilendirmesi ve peyzaj kuşakları tasarımın başında kütle yerleşimi, cephe yönlenmesi, açık alan organizasyonu ve yapı kabuğu kararlarıyla birlikte düşünülürse hem çevresel hem de akustik açıdan daha bütüncül sonuçlar elde edilebilir.

Bu çerçevede ilk tasarım ilkesi, gürültü kaynağı ile hassas mekânlar arasındaki ilişkinin doğru kurulmasıdır. Yoğun trafik akslarına bakan cephelerde dikey yeşillendirme sistemleri ve ara yüz peyzajı, yansımayı ve algılanan rahatsızlığı azaltmak için kullanılabilir. İkinci ilke, çatının akustik potansiyelinin dikkate alınmasıdır. Özellikle iç avlulu yapılarda, teras çatılarda ve yoğun kent merkezlerinde çatı yüzeyi yalnızca enerji veya yağmur suyu yönetimi açısından değil, gürültünün kırınım yoluyla yayılımı açısından da tasarlanmalıdır. Üçüncü ilke, bitkisel düzenlemelerde katmanlaşmanın sağlanmasıdır. Ağaç, çalı, zemin örtüsü ve geçirgen yüzeyler birlikte kullanıldığında, tekil bitki elemanlarına göre daha dengeli bir akustik ara yüz oluşturulabilir.

Dördüncü tasarım ilkesi, bitki seçiminin akustik performans potansiyeliyle birlikte değerlendirilmesidir. Yaprak alanı, yaprak biçimi, yüzey dokusu, mevsimsel süreklilik ve bitki yoğunluğu, yalnızca görsel kompozisyonu değil, ses saçılması ve yutum kapasitesini de etkileyebilir. Beşinci ilke ise bakım ve süreklilik koşullarının tasarıma dâhil edilmesidir. Yeşil altyapı bileşenleri canlı sistemlerdir; bu nedenle ilk kurulum anındaki performansın zaman içinde korunması, sulama, budama, substrat yenileme ve bitki sağlığıyla doğrudan ilişkilidir. Akustik hedeflerle tasarlanan bir yeşil altyapı uygulaması, bakım stratejisiyle desteklenmediğinde beklenen etkiyi sürdüremeyebilir.

Son olarak işitsel konforun yalnızca desibel değerleriyle sınırlı olmadığı kabul edilmelidir. Tasarımcılar, teknik gürültü azaltımının yanında kullanıcıların mekânı nasıl algıladığını, hangi ses kaynaklarını rahatsız edici bulduğunu, görsel yeşil dokunun psikolojik etkisini ve doğal seslerin işitsel peyzaja katkısını da dikkate almalıdır. Bu yaklaşım, mimari akustik tasarımın mühendislik verileri ile kullanıcı deneyimi arasında daha güçlü bir bağ kurmasını sağlayacaktır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yeşil altyapı bileşenlerinin mimarlıkta gürültü denetimi açısından yalnızca tamamlayıcı peyzaj unsurları olarak değil, akustik performansa katkı sağlayan aktif tasarım araçları olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Yeşil çatılar, substrat tabakası ve çok katmanlı yapısı sayesinde ses iletim kaybını artırabilir, kırınım yoluyla yayılan gürültüyü sınırlayabilir ve yapıların sessiz cephe veya iç avlu potansiyelini destekleyebilir. Dikey yeşillendirme sistemleri, cephelerdeki sert yansıtıcı yüzey etkisini azaltarak özellikle dar sokak kanyonlarında daha dengeli bir işitsel çevre oluşturabilir. Bitki kuşakları ve peyzaj bileşenleri ise ses saçılması, ara yüz etkisi ve algısal rahatlama yoluyla kentsel gürültünün olumsuz etkilerini hafifletebilir.

Çalışmanın ulaştığı temel sonuçlardan biri, akustik konforun yalnızca ölçülebilir ses düzeyleriyle açıklanamayacağıdır. Kullanıcıların yeşil dokuyu görsel olarak algılaması, doğal unsurlarla temas kurması ve mekânı daha sakin değerlendirmesi, gürültü rahatsızlığının azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Bu nedenle yeşil altyapı, desibel azaltımı sağlayan teknik bir çözüm olmanın yanında, işitsel peyzajın niteliğini artıran algısal bir tasarım stratejisi olarak da ele alınmalıdır.

Mimari tasarım açısından yeşil altyapı kararlarının proje sürecinin sonuna bırakılmaması önemlidir. Substrat derinliği, bitki yoğunluğu, yaprak morfolojisi, cephe konumu, çatı kesiti, peyzaj katmanlaşması ve bakım sürekliliği gibi parametreler, gürültü denetimi hedefleriyle birlikte tasarlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda farklı iklim bölgeleri, bitki türleri ve sistem detayları için ölçüme dayalı karşılaştırmalar yapılması; akustik performansın mevsimsel değişim, bakım durumu ve kullanıcı algısıyla birlikte değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Ayrıca mimari tasarım stüdyoları ve uygulama projelerinde yeşil altyapı-akustik konfor ilişkisinin daha görünür hâle getirilmesi, sürdürülebilir ve yaşanabilir kentsel çevrelerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

**1.** Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A. ve Urrestarazu, M., Evaluation of Green Walls as a Passive Acoustic Insulation System for Buildings, Applied Acoustics, 89, 46-56, 2015. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010

**2.** Connelly, M., Acoustical Characteristics of Vegetated Roofs: Contributions to the Ecological Performance of Buildings and the Urban Soundscape, Doktora Tezi, University of British Columbia, Vancouver, 2011.

**3.** Connelly, M. ve Hodgson, M., Experimental Investigation of the Sound Transmission of Vegetated Roofs, Applied Acoustics, 74, 10, 1136-1143, 2013.

**4.** De Bock, A., Belmans, B., Vanlanduit, S. ve Audenaert, A., A Review on the Leaf Area Index (LAI) in Vertical Greening Systems, Building and Environment, 226, 109689, 2022.

**5.** Oquendo-Di Cosola, V., Navacerrada, M. A., Ruiz-García, L. ve Olivieri, F., Evaluating the Acoustic Absorption of Modular Vegetation Systems, Buildings, 15, 3, 389, 2025.

**6.** Palacio, A. M. L., Coma, J., Prieto, A. ve Cabeza, L. F., Acoustic Evaluation of Modular Greenery Noise Barriers, Urban Forestry & Urban Greening, 20, 172-179, 2016.

**7.** Sánchez, G., Van Renterghem, T. ve Botteldooren, D., The Influence of Urban Canyon Design on Noise Reduction for People Living Next to Roads, Proceedings of the Euronoise Conference, 1571-1576, 2015.

**8.** Sánchez, G. M. E., Van Renterghem, T., Sun, K., De Coensel, B. ve Botteldooren, D., Using Virtual Reality for Assessing the Role of Noise in the Audio-Visual Design of an Urban Public Space, Landscape and Urban Planning, 167, 98-107, 2017.

**9.** Van Renterghem, T., Improving the Noise Reduction by Green Roofs Due to Solar Panels and Substrate Shaping, Building Acoustics, 25, 3, 219-232, 2018.

**10.** Van Renterghem, T. ve Botteldooren, D., The Importance of Roof Shape for Road Traffic Noise Shielding in the Urban Environment, Journal of Sound and Vibration, 329, 9, 1422-1434, 2010.

**11.** Van Renterghem, T. ve Botteldooren, D., In-Situ Measurements of Sound Propagating over Extensive Green Roofs, Building and Environment, 46, 3, 729-738, 2011.

**12.** Van Renterghem, T., Botteldooren, D. ve Verheyen, K., Road Traffic Noise Shielding by Vegetation Belts of Limited Depth, Journal of Sound and Vibration, 331, 10, 2404-2425, 2012.

**13.** Van Renterghem, T., Aletta, F. ve Botteldooren, D., Road Traffic Noise Annoyance Mitigation by Green Window View, Applied Acoustics, 205, 109279, 2023.

# KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE MÜLKİYET YAPISI, DÖNÜŞÜM MODELİ VE SOSYOEKONOMİK KIRILGANLIK: İSTANBUL ARNAVUTKÖY İLÇESİ - İMRAHOR MAHALLESİ ÖRNEĞİ

Hüseyin Can TÜRKMEN
Doç.Dr. Ercan KOÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
huseyin.turkmen@std.yildiz.edu.tr - 0000-0002-3372-2822
kocercanozan@gmail.com - 0000-0001-6676-5434

## ÖZET

İstanbul; afet tehlikesi ve risklerinin üst boyutu, yasadışı yollardan yapılaşmayı ve eşikleri de içeren yaygın makroformu, nüfus büyüklüğü, bölgesel ekonomik merkez kimliği, turizm potansiyeli ve yetersiz sosyal donatı ölçütleri ile kentsel dönüşümün yadsınmaz olarak odağındadır. Arnavutköy İlçesi ise planlamanın etkin olmadığı süreçlerde, yetersiz teknik ve sosyal altyapısı, yasadışı yollardan gelişmiş, özel parselasyon planları ile küçük mülkiyetlerden oluşan, yapılaşma sürecinde buna da çok fazla uyum gösterilmemiş, boş parsel oranlarına karşın mevcutta yüksek yoğunluk değerleri taşıyan, tüm bu sorunlara kentsel dönüşüm süreci ile çözüm bulunması gereken bir yerleşme altlığıdır. Kentsel mekân dönüşüm gereksinim yanı sıra af süreçleri ile hak sahipliliği kazanmış, sorun başlıklarından önemli bir tanesi de hemşerilik ilişkilerine dayanan sosyal yapı ile dönüşümü kendi olanakları ile gerçekleştirmeye fırsat vermeyen gelişmemiş ekonomik yapıdır. Mekansal, sosyal, ekonomik, siyasal boyutları olan kentsel dönüşüm kavramı, yapıların dönüşümü, afet risklerinin azaltılması yanı sıra özünde mülkiyet yapısının dönüşümünü içerir. Bu çalışma, parsel ölçeğinde dönüşüm sürecinin sorunların çözümüne olanak vermeyeceği Arnavutköy'de ada ölçeğinde kentsel dönüşüm süreçlerinin öngörüldüğü, bundan dolayı da çoklu bir mülkiyet sahipliği tanımlanmış İstanbul İli, Arnavutköy İlçesi, İmrahor Mahallesi'nde 2023 yılında gerçekleştirilen imar uygulaması sonrasında ortaya çıkan çoklu hissedarlığa dayalı yeni mülkiyet yapısının, kentsel dönüşüm sürecinin işleyişi ve sosyoekonomik kırılganlık üzerindeki etkilerini incelemektedir. İmar uygulaması, plan kararlarının mülkiyete aktarılmasını sağlayan teknik bir araç olmakla birlikte, uygulama sonrasında büyük parsellerin çok sayıda hissedara bölünmesi ve maliklerin farklı yapı adalarına dağılması sonucunda yere özgü bir çözüm, özgün bir mülkiyet dokusu ortaya çıkmıştır. Bu yeni mülkiyet yapısı, karar alma süreçlerinde ortak hareket etme gerekliliğini artırarak ada ölçeğinde parsel büyüklüğü ve tüm iyelik sahiplerinin önceki hisse oranları ile hissedar olması durumunu tanımlayan çoklu hissedarlığı dönüşümün belirleyici unsurlarından biri haline getirmiştir. Bu tanımlanan yaklaşım kentsel dönüşümü kolaylaştırmak, dirençli ve toplu konut üretimi yanı sıra eksik sosyal donatı alanları için DOP düzenlemesine olanak sağlamıştır.

Saha bulguları, yerleşik malikler ile yatırımcı hissedarlar arasında beklenti, ekonomik dayanıklılık ve zaman algısı bakımından belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Yatırımcı hissedarların süreci bekleyebilme kapasitesi yüksekken, yerinde yaşayan malikler için bekleme süresi ekonomik ve sosyal açıdan sınırlayıcı bir unsur hâline gelebilmektedir. Bu

durum, bazı yapı adalarında dönüşümün hızlanmasına, bazı adalarda ise gecikmelere yol açarak zamansal farklılaşma üretmekte, sahiplilik, ekonomik kırılganlık ve girişimci sermayesi bağlamında ortaya çıkan sorunların aşılabilmesine ışık tutmaktadır.

Araştırma, kentsel dönüşüm sürecinde her aktörün taleplerinin sonsuza giden içeriğini, yatırımcı hissedarlarla uzlaşma süresinin uzamasının, özellikle ekonomik dayanıklılığı düşük gruplarda göreli değer kaybı, pazarlık gücünün zayıflaması ve süreç kaynaklı yıpranma yarattığını ortaya koymaktadır. Böylece dönüşüm, doğrudan tahliye gerektirmese dahi, zaman ve mülkiyet dokusu üzerinden işleyen yeni bir kırılganlık alanı oluşturmaktadır.

Çalışmanın en ciddi sonucu, mekansal dönüşümün ötesinde önem taşıyan ekonomik kırılganlık düzeyinin ve dönüşümde ortaya çıkan değer ilişkisinin önemine vurgu yapılması, sosyal ve ekonomik boyutun mekânsal boyutun önünde olduğunu ortaya çıkarmaktır. Çalışmada bu süreçler örnek uygulama içeriği ve somut verilerle test edilmekte, gelecek uygulamaları için ışık tutmaktadır. Sonuç olarak, çalışma kentsel dönüşümün yalnızca fiziksel yenileme değil; mülkiyet yapısı, zaman, sosyal ve ekonomik koşulların birlikte şekillendirdiği zor ve çok katmanlı bir süreç olduğunu vurgulamakta ve benzer mülkiyet dokularına sahip alanlar için analitik bir çerçeve sunmaktadır.

Bu bildiri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı Kentsel Dönüşüm ve Planlama Programı kapsamında hazırlanan “Kentsel Dönüşüm Sürecinde Mülkiyet Yapısı, Dönüşüm Modeli ve Sosyoekonomik Kırılganlık: İstanbul Arnavutköy İlçesi – İmrahor Mahallesi Örneği” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Planlama, Kentsel Dönüşüm, Mülkiyet Sahipliği ve Mülkiyet Dokusu, Kentsel Mekân Kalitesi ve Dirençlilik, Kentsel Dönüşüm Projelerinde Uygulama Süreci ve Yeni Mülkiyet Dokusu

## 1. GİRİŞ

Kentsel dönüşüm, Türkiye’de özellikle 2000’li yıllardan itibaren afet riski, sağlıksız yapılaşma, plansız gelişme ve kentsel değer üretimi gibi gerekçelerle gündeme gelen çok boyutlu bir müdahale alanı, kentsel dönüşüm alanı, riskli yapı, riskli alan, rezerv alan, özel proje alanı gibi içerdiği imar uygulama araçları ile günümüzün yaygın imar uygulama alanıdır. Ancak dönüşümün yalnızca yapıların yenilenmesi veya fiziksel çevrenin iyileştirilmesi olarak görülmesi, sürecin asıl belirleyici boyutlarından birini gözden kaçırmaktadır. Çünkü dönüşüm, aynı zamanda mülkiyetin yeniden düzenlenmesi, mülkiyet haklarının tanım içeriğinin değişmesi ve yeniden dağıtılması, maliyetlerin üstlenilmesi ve kentsel değerin aktörler arasında paylaşılması anlamına gelir (Roberts, 2000; Harvey, 2003; Lefebvre, 1991).

Bu çalışma, İstanbul İli, Arnavutköy İlçesi, İmrahor Mahallesi’nde 2023 yılında gerçekleştirilen imar/parselasyon uygulaması sonrasında ortaya çıkan yeni mülkiyet dokusuna odaklanmaktadır. İmar uygulaması teknik olarak plan kararlarının mülkiyete aktarılmasıdır; fakat sahadaki etkisi yalnızca parsel sınırlarını, mülkiyet sahipliliği modelini değiştirmekle sınırlı değildir. Uygulama sonrasında büyük parsellerin çok sayıda hissedara bölünmesi, maliklerin zorunlu olarak farklı yapı adalarına dağıtılması ve aynı yapı adası üzerinde farklı

ekonomik güçlere sahip aktörlerin ortak karar üretmek zorunda kalması, dönüşüm sürecini yeni bir ortaklık ve pazarlık alanına dönüştürmektedir.

Çalışmanın temel iddiası, kentsel dönüşümde kırılganlığın yalnızca fiziksel tahliye veya doğrudan yerinden edilme yoluyla oluşmadığıdır. Kırılganlık, çoklu mülkiyet yapısı, bekleyebilme kapasitesi, bilgiye erişim, kurumsal güven ve dönüşüm maliyetlerinin paylaşım biçimi üzerinden de ortaya çıkabilir. Bu nedenle İmrahor Mahallesi örneği, kentsel dönüşümün aynı zamanda bir mülkiyet dönüşümü modeli olarak incelenmesi gerektiğini gösteren özgün bir saha sunmaktadır (Marcuse, 1985; Lees, Slater ve Wyly, 2008).

### 1.1. Araştırmanın Amacı ve Soruları

Araştırmanın amacı, imar uygulaması sonrasında oluşan çoklu hissedarlık yapısının kentsel dönüşüm sürecinin işleyişini, uzlaşma kapasitesini ve farklı sosyoekonomik gruplar üzerindeki etkilerini analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma şu sorulara yanıt aramaktadır:

- İmar uygulaması öncesi ve sonrası İmrahor Mahallesi'nde mülkiyet dokusu nasıl değişmiştir?
- Çoklu mülkiyet/hissedarlık dönüşüm sürecinin hızını ve uzlaşma kapasitesini nasıl etkilemektedir?
- Uygulama alanında yaşayan malikler ile imar uygulaması sonrası, hisse satın alarak hissedar olan malikler arasında beklenti ve zaman algısı farklılıkları bulunmakta mıdır?
- Dönüşüm sürecinin yapı adaları arasında farklı hızlarda ilerlemesi zamansal eşitsizlik üretmekte midir?
- Bu süreç dezavantajlı gruplar açısından nasıl bir sosyoekonomik kırılganlık oluşturmaktadır ve çözüm önerileri neler olabilir?

## 2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Kuramsal çerçeve, kentsel dönüşümü fiziksel yenileme alanı olmanın ötesinde; mülkiyet ilişkileri, kolektif karar alma, değer üretimi ve zamansal eşitsizlik boyutlarıyla birlikte ele almaktadır. Bu süreçte en önemli boyut plan kararlarına dayalı kentsel dönüşümü aktif hale getirmek, aktör tanımları, yerel ölçekte organizasyon, finansal destek sistemleri, kaliteli ve dirençli kentsel mekân hedefi ile can ve mal güvenliğinin sağlanmasıdır.

### 2.1. Kentsel Dönüşüm, Mülkiyet ve Değer Üretimi

Kentsel dönüşüm literatürü, dönüşümü çoğu zaman fiziksel yenileme, soylulaştırma, yerinden edilme, rant üretimi, üretilen rantların paylaşımı ve neoliberal kentleşme bağlamında ele almaktadır. Harvey'in sermaye birikimi ve yapılı çevre ilişkisine, Lefebvre'in mekanın toplumsal üretimi yaklaşımına ve Lees, Slater ve Wyly'nin soylulaştırma tartışmalarına dayanan bu çerçeve, kentsel mekanın yalnızca teknik planlama kararlarıyla değil, aynı zamanda ekonomik ve politik güç ilişkileriyle biçimlendiğini göstermektedir.

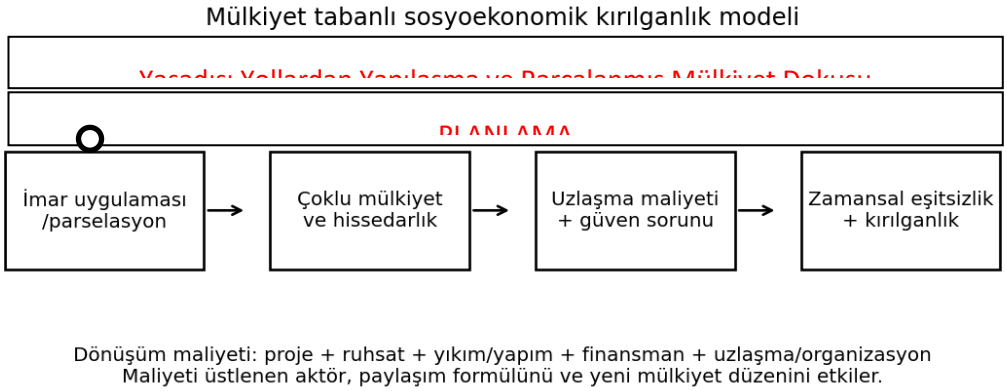
Türkiye bağlamında kentsel dönüşüm, afet riski ve yapı güvenliği gerekçesiyle meşrulaştırılırken, uygulama düzeyinde mülkiyetin yeniden düzenlenmesi, arazi değerinin yeniden üretilmesi ve kentsel rantın farklı aktörler arasında paylaşılması süreçlerini de içermektedir. Bu nedenle mülkiyet yapısının dönüşüm sürecindeki rolü, yalnızca hukuki bir hak sahipliği meselesi değil (Kuyucu ve Ünsal, 2010; Lovering ve Türkmen, 2011; Türkün, 2014); varsıllaşma, kentsel mekânda tutunma, kaliteli kentsel mekânda kaliteli nesiller yetiştirme, ekonomik gelişme, uzlaşma, pazarlık, finansman, temsil ve organizasyon sorunudur.

### 2.2. Çoklu Mülkiyet Yapısı

Kentsel dönüşüm süreçlerinin olanaklı kılmak, tasarım esnekliği sağlamak, çoklu üretim ile karlılığı olanaklı kılmak, kentsel gelişme modelinin yansıması olarak yere özgü çözüm hedefli büyük parsellerde hisseli sahiplilik modeline dayanan çoklu mülkiyet yapısı, tek bir taşınmaz, parsel veya yapı adası üzerinde karar hakkının birden fazla malik veya hissedar arasında bölünmesi ve dönüşüm kararının ortak rızaya bağlı hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Bu yapı, özellikle imar uygulaması sonrasında hakların farklı yapı adalarına dağıtılmasıyla daha karmaşık bir nitelik kazanır. Örneğin imar uygulaması öncesinde bir parselde sınırlı sayıda aile üyesi hissedar iken, imar uygulaması sonrasında aynı hak sahipleri farklı yapı adalarına taşınabilir ve tek bir parsele dönüşen aynı adada 20, 30, 50 veya daha fazla hissedarın birlikte karar vermesi gerekebilir. Bu düzenleme olabildiğince mülkiyet sahipliliği şemasını koruma yaklaşımı yanı sıra kentsel dönüşüm uygulama süreçlerini destekleme ve tüm hak sahiplerinin eşitlikçi bir yapıda DOP kesintisi ve tahsisler ile korunması ereklidir.

Çoklu mülkiyetin temel sorunu hissedar sayısının artması değildir; asıl sorun, aynı mülkiyet alanında farklı ekonomik güçlere, farklı risk algılarına, farklı bekleme kapasitelerine ve farklı dönüşüm beklentilerine sahip aktörlerin ortak karar üretmek zorunda kalmasıdır. Bu yönüyle çoklu mülkiyet, kentsel dönüşümde karar alma, pazarlık ve uygulama kapasitesini doğrudan etkileyen yapısal bir değişkendir (Olson, 1965; Heller, 1998).

Bu çerçeve Olson'un kolektif eylem problemi yaklaşımı ve Heller'in anti-ortaklıklar trajedisi kavramıyla ilişkilendirilebilir. Grup büyüdükçe ortak karar üretme maliyeti artmakta, bireysel rasyonaliteler kolektif kararı geciktirebilmekte ve dönüşüm süreci tekil bir teknik uygulama olmaktan çıkarak çok aktörlü bir müzakere alanına dönüşmektedir. Burada sorunları aşmanın yöntemi hak sahiplerinin paylarına yönelik çoğunluk uygulaması iken, bazı durumlarda mağduriyet ve yönlendirdiği dirençle de karşılaşılabilmektedir.




Şekil 1. Çoklu mülkiyet yapısı, dönüşüm maliyeti ve sosyoekonomik kırılganlık ilişkisi

### 2.3. Kentsel Dönüşümün Maliyeti ve Mülkiyet Dönüşümü

Kentsel dönüşümün temel boyutlarından biri maliyettir. Dönüşüm; proje geliştirme, ruhsat süreçleri, yıkım, yapım, finansman, müşavirlik, uzlaşma organizasyonu ve bazı durumlarda geçici barınma maliyetlerinden oluşur. Bu maliyetin kim tarafından ve hangi modelle üstlenildiği, dönüşümün paylaşım mantığını ve nihai mülkiyet düzenini belirler. (Roberts, 2000; Türkün, 2014).

Maliyeti girişimci/yüklenici/müteahhit üstlendiğinde kat karşılığı veya hasılat paylaşımı modeli; kamu veya belediye iştiraki daha aktif rol aldığında güvence, koordinasyon ve standart sözleşme beklentisi; maliklerin kendi kaynaklarıyla dönüşüme katılması gerektiğinde ise ödeme gücü ve finansal dayanıklılık öne çıkar. Bu nedenle kentsel dönüşüm, yapı yenileme süreci olmanın yanında yeni bir hisse, ortaklık ve mülkiyet düzeni üreten bir dönüşüm modelidir (Kuyucu ve Ünsal, 2010; Lovering ve Türkmen, 2011).

## 3. YÖNTEM VE VERİ SETİ

Araştırmada nitel ve nicel verilerin birlikte değerlendirildiği karma bir araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Veri seti, doküman analizi, alan gözlemi, yapılandırılmış anket ve açık uçlu anket sorusunun tematik kodlaması üzerinden oluşturulmuştur. Çalışmada görüşme yöntemi kullanılmamış; açık uçlu anket yanıtları, nicel bulguları açıklayan nitel destekleyici veri olarak değerlendirilmiştir (Creswell, 2014; Yin, 2014; Braun ve Clarke, 2006).

Araştırma kapsamında 23 geçerli anket kaydı analiz edilmiştir. Veri seti 26 değişkenden oluşmaktadır. Bu değişkenler; demografik bilgiler, mülkiyet durumu, imar sonrası değişim algısı, dönüşüm beklentisi, hissedar sayısı, uzlaşma sorunları, güvenilen aktör, Likert ölçeği maddeleri, belediye beklentileri ve açık uçlu yanıtların tema kodlarını içermektedir. Analizde frekans, yüzde, ortalama, standart sapma, yerleşik-yatırımcı karşılaştırması ve tematik kodlama birlikte kullanılmıştır.

Tablo 1. Araştırma tasarımı ve veri seti

| **Bileşen** | **Açıklama** |
|---|---|
| Araştırma deseni | Tekli durum çalışması; Arnavutköy İmrahor Mahallesi örneği |
| Veri kaynakları | Doküman analizi, alan gözlemi, yapılandırılmış anket, açık uçlu anket sorusu |
| Örneklem | 23 geçerli anket kaydı |
| Değişken sayısı | 26 değişken |
| Analiz tekniği | Frekans, yüzde, ortalama, standart sapma, yerleşik-yatırımcı karşılaştırması, tematik kodlama |
| Ölçek notu | Likert maddelerinde 1=Kesinlikle katılmıyorum, 5=Kesinlikle katılıyorum; L11-L14 için keşfedici alfa değeri 0,51 |

Tablo 2. Örneklemin demografik ve sosyoekonomik profili

| **Değişken** | **Kategori** | **n** | **%** |
|---|---|---|---|
| Yaş | 18-30 | 4 | 17,4 |
| Yaş | 31-45 | 5 | 21,7 |
| Yaş | 46-60 | 10 | 43,5 |
| Yaş | 61 ve üzeri | 4 | 17,4 |
| Eğitim | İlkokul/Ortaokul | 7 | 30,4 |
| Eğitim | Lise | 8 | 34,8 |
| Eğitim | Üniversite | 7 | 30,4 |
| Eğitim | Lisansüstü | 1 | 4,3 |
| İkamet | Bölgede yaşamıyor/yatırımcı | 11 | 47,8 |
| İkamet | 16 yıl ve üzeri/yerleşik | 12 | 52,2 |
| Gelir | Asgari ücret-30.000 TL | 1 | 4,3 |
| Gelir | 30.001-50.000 TL | 3 | 13,0 |
| Gelir | 50.001-100.000 TL | 10 | 43,5 |
| Gelir | 100.001 TL ve üzeri | 9 | 39,1 |

## 4. ÇALIŞMA ALANI HARİTALARI VE GÖRSEL BAĞLAM

İmrahor Mahallesi örneğinde kentsel dönüşüm sürecinin anlaşılabilmesi için yalnızca anket bulgularının değil, çalışma alanının mekansal bağlamının da görünür kılınması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmaya eklenen harita ve görseller; alanın İstanbul ve Arnavutköy içindeki konumunu, kuzey gelişim aksı ve ulaşım bağlantılarıyla ilişkisini, plan kararlarını, fonksiyon dağılımını, kat/yapı yoğunluğu göstergelerini ve mülkiyet tiplerinin mekansal dağılımını destekleyici nitelikte sunmaktadır.

Haritalar, çalışmanın temel argümanı olan "kentsel dönüşümün yalnızca fiziksel yapı yenilemesi değil, aynı zamanda mülkiyet yapısının, değer ilişkisinin ve karar alma düzeninin dönüşümü olduğu" görüşünü mekansal olarak somutlaştırmaktadır. Özellikle mülkiyet durumu ve malik tipi dağılımını gösteren harita, çoklu mülkiyet yapısının yalnızca hukuki bir ortaklık biçimi olmadığını; yapı adası ölçeğinde uzlaşma, temsil, maliyet paylaşımı ve süreç yönetimi açısından doğrudan belirleyici olduğunu göstermektedir (Lefebvre, 1991; Harvey, 2003).

**Harita ve görsellerin analitik katkısı**

| Görsel/harita | Gösterdiği unsur | Çalışmadaki işlevi |
|---|---|---|
| Konum ve çevre ilişkileri | İmrahor'un Türkiye, İstanbul ve Arnavutköy içindeki yeri | Vaka alanının makro konumunu ve ölçek ilişkisini kurar. |
| Ulaşım/makro bağlantı görseli | Kuzey Marmara Otoyolu, İstanbul Havalimanı ve bağlantı aksları | Alan üzerindeki değer artışı ve yatırım baskısını açıklamaya yardımcı olur. |
| Fonksiyon analizi | Konut, yeşil alan, donatı, turizm ve ticaret kullanımları | Plan kararlarının mülkiyet ve dönüşüm modeline etkisini görünür kılar. |
| Mülkiyet durumu analizi | Belediye, kamu, özel ve karma malik tipleri | Çoklu mülkiyet ve uzlaşma probleminin mekânsal karşılığını gösterir. |
| Kat sayısı analizi / saha görseli | Yapı yoğunluğu ve mevcut fiziksel doku | Fiziksel dönüşüm gereksinimi ile sosyoekonomik kırılganlık arasındaki ilişkiyi destekler. |



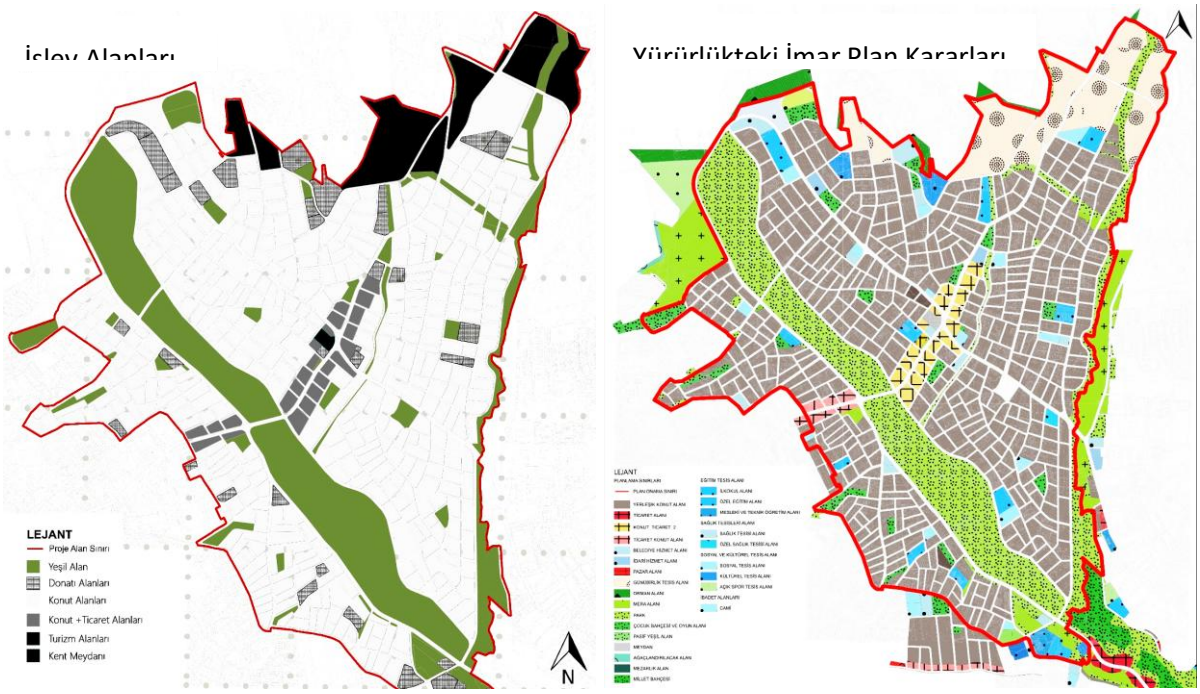

Harita 1. İmrahor Mahallesi'nin konumu Harita 2. Çalışma alanının kuzey gelişim aksı ve makro ulaşım bağlantılarıyla ilişkisi

**Mekânsal değerlendirme:**
Analiz süreci çalışma alanının yalnızca mahalle ölçeğinde değil; İstanbul'un kuzey gelişim aksı ve Arnavutköy ilçesi içindeki stratejik konumu üzerinden okunması gerektiğini göstermektedir (Harita 1). Bu nedenle İmrahor Mahallesi, yerel bir dönüşüm sahası olmanın ötesinde, büyük altyapı yatırımları, ulaşım bağlantıları ve arazi değer artışı baskılarının kesiştiği bir geçiş alanı niteliği taşımaktadır.

Arnavutköy İlçesi, İstanbul Havalimanı, Kuzey Marmara Otoyolu ve lojistik merkezler gibi kentin kuzey gelişim aksını belirleyen büyük ölçekli kamu yatırımlarının merkezinde yer almaktadır. İmrahor Mahallesi, bu makro projelerin yarattığı yüksek gayrimenkul hareketliliği ve değer artışının doğrudan gözlemlenebildiği, geleneksel yerleşik yapı ile yeni yatırımcı profilinin kesiştiği bir geçiş bölgesi niteliği taşımaktadır.

**Mekansal değerlendirme:**
İmrahor Mahallesini erişilebilirlik avantajını ve bu avantajın dönüşüm baskısı ile arazi değerleri üzerindeki etkisini açıklamaktadır (Harita 2). Her ikisi de paralı yol niteliği taşımasına karşın devlet yolu olan TEM ve özel sektöre ait Kuzey Marmara Otoyolu bağlantıları, İstanbul Havalimanı'na yakınlık ve toplu taşıma olanakları, alanın yalnızca konut yenileme perspektifiyle değil; lojistik, ticaret ve yatırım beklentileriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

İstanbul'un gelişen bölgelerinden Arnavutköy İlçesi, İmrahor Mahallesi, TEM ve Kuzey Marmara Otoyolu'na yakınlığı sayesinde karayolu ulaşımında avantajlı bir konuma sahiptir. İstanbul Havalimanı'na olan yakınlık ise lojistik ve ticaret faaliyetlerini desteklemekte; bu durum alanın dönüşüm sürecini yalnızca konut yenileme bağlamında değil, yatırım, erişilebilirlik ve değer artışı beklentileriyle birlikte değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır.




Harita 3. İmrahor çalışma alanı işlev alanları Harita 4. Plan kararları, donatı alanları ve konut/ticaret kullanımlar

**Mekânsal değerlendirme:**

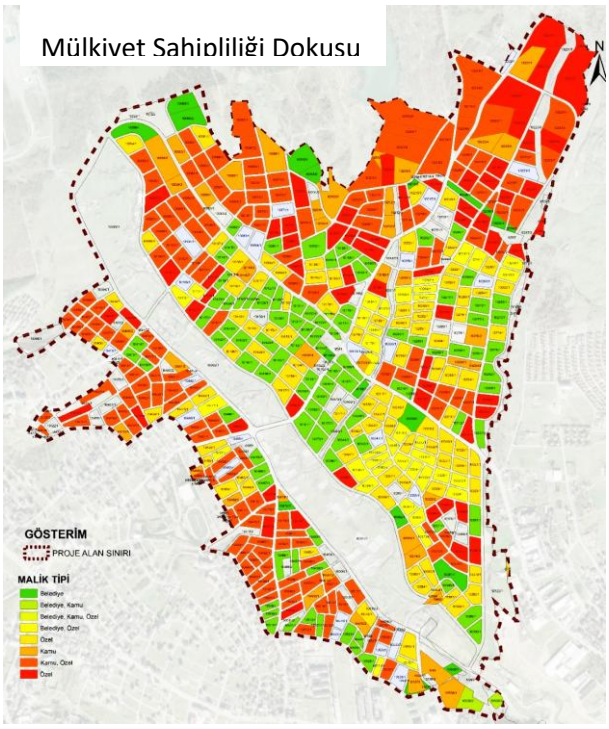
Fonksiyon haritası, çalışma alanının yalnızca konut alanlarından oluşmadığını; konut, konut+ticaret, sosyal donatı, yeşil alan, teknik altyapı ve çalışma alanlarının birlikte kurgulandığını göstermektedir. Bu karma fonksiyon yapısı, dönüşüm sürecinde farklı beklentilere sahip aktörlerin aynı mekânsal kurgu içinde karşılaşmasına neden olmaktadır.

Alanı yatay olarak ikiye bölen ana aks olan Sevban Mehmet Caddesi boyunca ağırlıklı olarak Konut + Ticaret ve Ofis kullanımları yer alırken, çepere doğru gidildikçe Konut, Yeşil Alan ve Kültürel Tesis kullanımları yer almaktadır. Bu dağılım, dönüşüm sürecinde mekânsal değer beklentilerinin yapı adası ve işlevin tanımladığı önemi de içeren aks ölçeğinde farklılaşabileceğini göstermektedir.

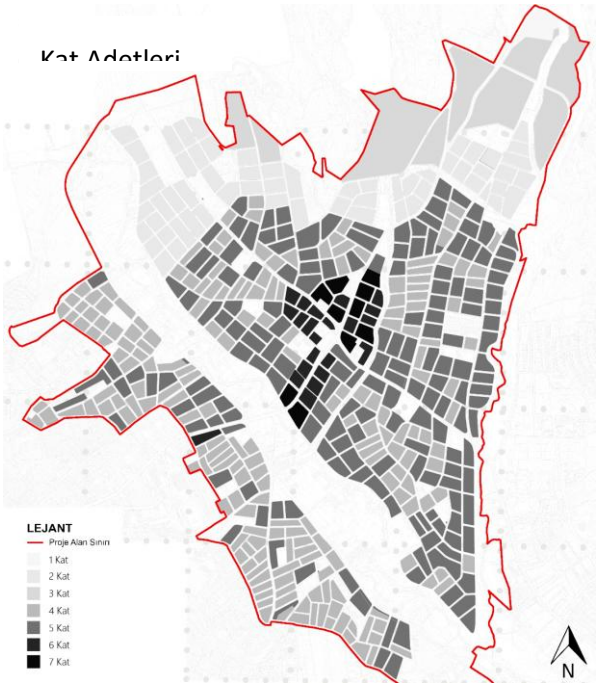
**Mekânsal değerlendirme:**

Plan kararları ve sosyal donatı alanları dağılımı (Harita 4), imar uygulamasının yalnızca yapı adası üretmediğini; aynı zamanda kamusal donatı alanlarını, ticaret akslarını, yeşil alanları ve konut yoğunluklarını yeniden düzenlediğini ve kentsel dönüşüm sürecinin sosyal donatı alanlarının elde edilmesinin aracı olarak da kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle plan kararları, mülkiyet yapısı üzerinde doğrudan sonuç üreten bir müdahale biçimidir.

Çalışma alanı, 1/1000 ölçekli uygulama imar planı kapsamında “B Bölgesi” olarak tanımlanan alanda yer almaktadır. B Bölgesi özelinde imar uygulamalarının ada bazında gerçekleştirilmesi ve toplulaştırma hükümlerinin uygulanması, plan kararlarının yalnızca yapılaşma koşullarını değil, mülkiyetin yeniden örgütlenme biçimini de etkilediğini göstermektedir.




Harita 5. Mülkiyet sahipliliği




Harita 6. Kat sayısı haritası ve yapı yoğunluğu dağılımı

**Mekânsal değerlendirme:**
Mülkiyet durumu haritası, çalışmanın merkezindeki çoklu mülkiyet yapısını mekânsal olarak görünür kılmaktadır. Haritada görülen farklı mülkiyet türleri ve özel mülkiyet ağırlığı, dönüşüm sürecinde tekil bir kamusal kararın yeterli olmadığını; çok sayıda malik/hissedar arasında koordinasyon, temsil, güven ve uzlaşma mekanizmalarının kurulması gerektiğini göstermektedir (Demsetz, 1967; Olson, 1965; Heller, 1998).

Arnavutköy çalışma alanında 8 farklı mülkiyet türü bulunmaktadır. Bunlar: Belediye, Belediye-Kamu Ortaklığı, Belediye-Kamu-Özel Ortaklığı, Belediye-Özel Ortaklığı, Özel Mülkiyet, Kamu Mülkiyeti ve Kamu-Özel Ortaklığı şeklinde çeşitlilik göstermektedir. Bu mülkiyet dağılımına rağmen alanın büyük bir bölümü özel mülkiyet sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle dönüşüm sürecinde tekil bir karar mekanizması yeterli olmamakta; farklı malik tipleri, hisse oranları ve beklentiler arasında koordinasyon kurulması gerekmektedir.

Bu bulgu, çalışmanın temel argümanıyla doğrudan örtüşmektedir: İmar uygulaması sonrasında büyük parsellerin çok sayıda hissedara bölünmesi ve maliklerin farklı yapı adalarına dağılması, özgün ve çok aktörlü bir mülkiyet dokusu üretmektedir. Dolayısıyla bu harita, kentsel dönüşümün aynı zamanda bir "mülkiyet dönüşümü modeli" olduğunu destekleyen en kritik görsellerden biridir (Olson, 1965; Heller, 1998).

**Mekânsal değerlendirme:**
Kat sayısı ve yapı yoğunluğu görselleri, dönüşüm sonrasında alanın her noktasında aynı yapılaşma karakterinin oluşmadığını; ana akslar, konut+ticaret kullanımları ve çeper alanlar arasında yoğunluk farklılıkları bulunduğunu göstermektedir. Bu farklılaşma, değer beklentileri ve dönüşüm hızları üzerinde etkili olabilecek mekânsal bir zemin üretmektedir.

Mevcut yapıların kat adetleri dağılımları incelendiğinde, alanın kuzey-güney yönündeki ana aksı olan Sevban Mehmet Caddesi boyunca fonksiyon ve yapı yoğunluğunda belirgin bir değişim gözlemlenmektedir. Ticaret ve konut fonksiyonlarının yoğunlaştığı akslarda kat sayılarının farklılaşması, dönüşüm değerinin ve yatırım beklentisinin mekân içinde homojen dağılmadığını göstermektedir.



Görsel 1. İmrahor Mahalle merkezinde plansız gelişmiş mevcut yapı dokusu

**Mekânsal değerlendirme:**
İnceleme alanına ilişkin analizler; soyut olarak görülen plan kararlarının ve mülkiyet dönüşümünün mevcut yapı stoğu, gündelik yaşam ve yerleşiklik deneyimiyle birlikte okunması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle çalışma alanı, yalnızca boş arsa/hisse ilişkilerinden değil; mahallede yaşayan maliklerin barınma, aidiyet ve bekleme kapasitesi sorunlarından da oluşmaktadır.

Planlama alanındaki binaların zemin ve normal kat sayılarına göre dağılımına bakıldığında, çoğunluğu mimarlık ve mühendislik hizmeti almadan oluşmuş yapıların %56'sının 1 katlı, %21'inin 2 katlı, %13'ünün 3 katlı, %7'sinin 4 katlı ve %2'sinin 5 katlı olduğu görülmektedir. Yaşam standardının ve yapı kalitesinin düşük olduğu alanda, fiziki köhneme izleri taşıyan bölgelerin bulunması dönüşüm ihtiyacını yalnızca imar hakkı veya yatırım değeriyle değil, gündelik yaşam koşulları ve barınma güvenliğiyle birlikte ele almayı gerekli kılmaktadır.

Bu görsel set, bulgular bölümünde tartışılan çoklu hissedarlık, uzlaşma süreci, bekleme maliyeti ve kurumsal koordinasyon ihtiyacının yalnızca soyut anket sonuçları olmadığını; aynı zamanda çalışma alanının plan kararları, malik tipleri, fonksiyon dağılımı ve yapı yoğunluğu içinde mekânsal olarak karşılık bulduğunu göstermektedir.

Konum ve ulaşım haritaları değer baskısını; fonksiyon ve plan kararları haritaları dönüşüm modelini; mülkiyet ve malik tipi haritası çoklu mülkiyet yapısını; kat sayısı haritası ise yoğunluk ve değer farklılaşmasının mekânsal zeminini ortaya koymaktadır.

## 5. BULGULAR

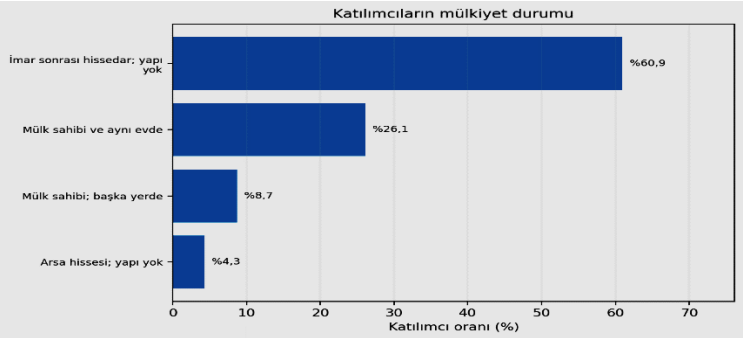
### 5.1. Mülkiyet Dokusu ve Çoklu Hissedarlık

Araştırmanın ilk bulgusu, 2023 yılında yapılan imar uygulaması sonrasında mülkiyet dokusunun daha parçalı, çok aktörlü ve uzlaşmaya bağımlı bir yapıya dönüşmesidir. Katılımcıların %60,9'u imar uygulaması sonrasında üzerinde yapı bulunmayan hissedar konumundadır. Mülk sahibi olup aynı binada yaşayanların oranı %26,1, mülk sahibi olup başka yerde yaşayanların oranı %8,7 ve arsa hissesi olup üzerinde yapı bulunmayanların oranı %4,3'tür. Bu dağılım, İmrahor örneğinde dönüşümün yalnızca mevcut konut stokunun yenilenmesiyle açıklanamayacağını; parselasyon sonrası oluşan arsa/hisse mülkiyetinin yönetilmesi gerektiğini göstermektedir.

İmar/parselasyon sonrası değişim algısında katılımcıların %34,8'i az hissedarlı bir mülkiyet yapısından çok sayıda kişiyle ortak hâle geldiğini belirtmiştir. %26,1'i DOP sonrası hisse/metrekare beklentisinin altında kaldığını, %30,4'ü ise değer ve yasal güvencenin arttığını düşünmektedir. Bu tablo, imar uygulamasının aynı anda hem düzenleme ve değer artışı hem de hak kaybı, belirsizlik ve ortak karar zorunluluğu algısı üretebildiğini göstermektedir.

Tablo 3. Katılımcıların mülkiyet durumu

| **Mülkiyet durumu** | **n** | **%** |
|---|---|---|
| İmar sonrası hissedar; yapı yok | 14 | 60,9 |
| Mülk sahibi ve aynı binada oturuyor | 6 | 26,1 |
| Mülk sahibi; başka yerde oturuyor | 2 | 8,7 |
| Arsa hissesi var; yapısı yok | 1 | 4,3 |




**Şekil 2. Katılımcıların mülkiyet durumuna göre dağılımı**

Tablo 4. İmar/parselasyon sonrası değişim algısı

| **Algı kategorisi** | **n** | **%** |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| Çok kişiyle ortak oldu | 8 | 34,8 |
| Değer ve yasal güvence arttı | 7 | 30,4 |
| DOP sonrası beklenti altında | 6 | 26,1 |
| Belirsizlik //Güvensizlik | 2 | 8,7 |

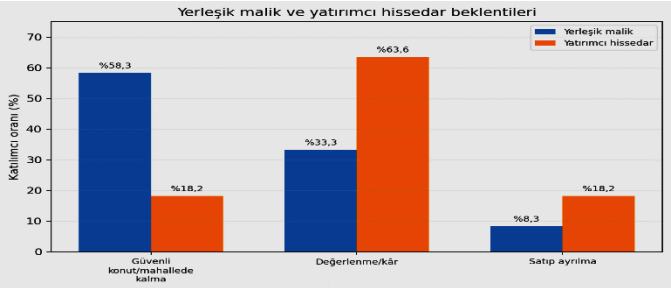
### 5.2. Yerleşik Malik ve Yatırımcı Hissedar Beklentileri

Bulgular, yerleşik malikler ile yatırımcı hissedarların dönüşümü farklı anlamlandırdığını göstermektedir. Yerleşik grup için dönüşüm öncelikle güvenli konuta kavuşma ve mahallede kalma beklentisiyle ilişkilidir. Yatırımcı grup için ise dönüşüm daha çok değerlenme, kâr beklentisi ve bekleyebilme kapasitesiyle ilişkilidir.

Yerleşik grupta güvenli konut/mahallede kalma beklentisi %58,3 iken yatırımcı grupta bu oran %18,2'dir. Buna karşılık değerlenme/kâr beklentisi yerleşik grupta %33,3, yatırımcı grupta %63,6'dır. Bu fark, aynı yapı adasında farklı rasyonalitelere sahip aktörlerin ortak karar üretmek zorunda kaldığını göstermektedir. Yerleşik malik için zaman, belirsizlik ve barınma maliyeti anlamına gelirken; yatırımcı hissedar için zaman, değer artışını bekleme imkânı olarak görülebilmektedir.

Tablo 5. Yerleşik malik ve yatırımcı hissedar beklentileri

| **Beklenti** | **Yerleşik malik (%)** | **Yatırımcı hissedar (%)** |
|---|---|---|
| Güvenli konut/mahallede kalma | 58,3 | 18,2 |
| Değerlenme/kâr | 33,3 | 63,6 |
| Satıp ayrılma | 8,3 | 18,2 |




**Şekil 3. Yerleşik malik ve yatırımcı hissedar beklentilerinin karşılaştırılması**

### 5.3. Hissedar Sayısı, Uzlaşma ve Kolektif Eylem Problemi

Çoklu mülkiyet yapısının en görünür etkisi, uzlaşma ve imza sürecindeki koordinasyon maliyetinin artmasıdır. Katılımcıların % 47,8'i bulunduğu yapı adasında 6-20 kişi, %43,5'i ise 21-50 kişi arası hissedar olduğunu belirtmiştir. Bu durum, örneklemin büyük çoğunluğunun tekil veya az hissedarlı yapılardan ziyade çok aktörlü karar alma zorunluluğu bulunan yapı adalarında yer aldığını göstermektedir (Olson, 1965; Heller, 1998).

Uzlaşma/imza sürecindeki temel tıkanıklıklar üç ana eksende toplanmaktadır: hissedar sayısı ve bir araya gelme zorluğu (%30,4), müteahhit güvensizliği ve sözleşme belirsizliği (%30,4), beklentilerin farklılaşması (%26,1). Dolayısıyla sorun yalnızca imza toplanması değildir; farklı ekonomik dayanıklılığa, farklı dönüşüm beklentisine ve farklı bilgi düzeyine sahip çok sayıda aktörün aynı kararda buluşma zorunluluğudur.

Tablo 6. Tahmini hissedar sayısı ve uzlaşma sürecindeki tıkanıklıklar

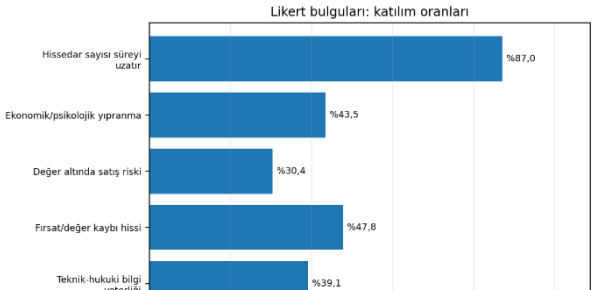
| **Gösterge** | **Kategori** | **%** |
|---|---|---|
| Tahmini hissedar sayısı | 6-20 kişi | 47,8 |
| Tahmini hissedar sayısı | 21-50 kişi | 43,5 |
| Tahmini hissedar sayısı | 51 kişi ve üzeri | 4,3 |
| Tahmini hissedar sayısı | Bilmiyorum | 4,3 |
| Temel tıkanıklık | Hissedar sayısı ve bir araya gelme zorluğu | 30,4 |
| Temel tıkanıklık | Müteahhit güvensizliği/sözleşme belirsizliği | 30,4 |
| Temel tıkanıklık | Beklentilerin farklılaşması | 26,1 |
| Temel tıkanıklık | Süreç başlamadı | 13,0 |

### 5.4. Zaman Nötr Değildir: Zamansal Eşitsizlik ve Kırılganlık

Likert bulguları, İmrahor Mahallesi'nde çoklu hissedarlığın dönüşüm süresini uzatan temel bir unsur olarak algılandığını göstermektedir. "Hissedar sayısının çok olması dönüşüme başlama süresini uzatmaktadır" ifadesine katılım oranı %87,0, ortalama puan ise 4,61'dir. Bu sonuç, çoklu mülkiyet yapısının katılımcılar tarafından doğrudan dönüşüm hızını etkileyen bir faktör olarak görüldüğünü ortaya koymaktadır (Olson, 1965; Heller, 1998).

Bununla birlikte kırılganlık homojen değildir. Sürecin ekonomik ve psikolojik yıpranma yarattığını belirtenlerin oranı %43,5; süreç uzarsa hisseyi gerçek değerinin altında satma riski doğacağını düşünenlerin oranı %30,4; kendi parselinde inşaat başlamazken diğer parsellerde başlamasının fırsat veya değer kaybı hissi yarattığını belirtenlerin oranı %47,8'dir. Bu bulgular, aynı gecikmenin herkes için aynı sonucu üretmediğini göstermektedir. Bekleyebilme kapasitesi yüksek olan aktör için zaman değer artışı anlamına gelebilirken, likidite ihtiyacı veya barınma baskısı bulunan aktör için zaman pazarlık gücü kaybı, satış baskısı ve yıpranma anlamına gelebilmektedir.

Tablo 7. Likert ölçeği bulguları



| Likert ifadesi | Katılan % | Ortalama |
|---|---|---|
| Hissedar sayısı süreyi uzatır | 87,0 | 4,61 |
| Ekonomik/psikolojik yıpranma | 43,5 | 2,52 |
| Değer altında satış riski | 30,4 | 2,13 |
| Fırsat/değer kaybı hissi | 47,8 | 2,52 |
| Teknik-hukuki bilgi yeterliği | 39,1 | 3,17 |

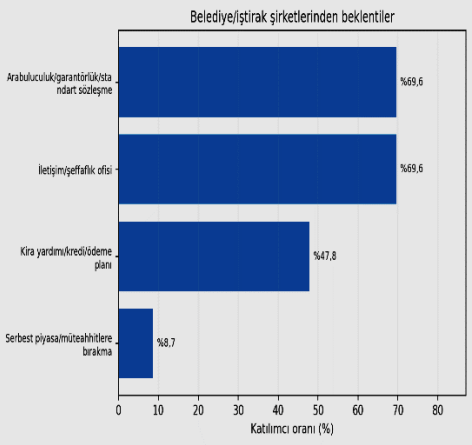
### 5.5. Güven Sorunu ve Kurumsal Beklenti

Saha bulguları, çoklu hissedarlık yapısında piyasa aktörlerinin tek başına yeterli görülmediğini ve yerel yönetimden güven inşa eden, bilgiyi şeffaflaştıran ve pazarlık gücü farklılıklarını dengeleyen bir rol beklendiğini göstermektedir. Katılımcıların %43,5'i dönüşüm sürecinde en çok belediye veya belediye iştiraklerine güvendiğini belirtmiştir. Buna karşılık % 34,8'lik bir kesim hiçbir aktöre güvenmediğini ifade etmiştir. Müteahhitlere güven oranının % 8,7'de kalması, dönüşüm sözleşmelerinin teknik ve hukuki niteliği karşısında kamusal güvence beklentisini güçlendirmektedir (Arnstein, 1969; Healey, 1997; Türkün, 2014).

Belediye ve iştirak şirketlerinden beklentiler çoklu yanıt olarak değerlendirilmiştir. Katılımcıların %69,6'sı arabuluculuk, garantörlük ve standart sözleşme mekanizması beklemektedir. Yine % 69,6'sı kentsel dönüşüm iletişim/şeffaflık ofisi kurulmasını istemektedir. % 47,8'i uzatılmış kira yardımı veya uygun kredi/ödeme planı gibi finansal destekler beklerken, sürecin serbest piyasaya ve girişimciye bırakılmasını isteyenlerin oranı yalnızca % 8,7'dir.

Tablo 8. Güvenilen aktör ve kurumsal beklentiler

| Gösterge | Kategori | % |
|---|---|---|
| Güvenilen aktör | Belediye/iştirak | 43,5 |
| Güvenilen aktör | Hiçbirine güvenmiyorum | 34,8 |
| Güvenilen aktör | Büyük hissedarlar | 13,0 |
| Güvenilen aktör | Müteahhitler | 8,7 |
| Belediye/iştirak beklentisi | Arabuluculuk/garantörlük/standart sözleşme | 69,6 |
| Belediye/iştirak beklentisi | İletişim/şeffaflık ofisi | 69,6 |
| Belediye/iştirak beklentisi | Kira yardımı/kredi/ödeme planı | 47,8 |
| Belediye/iştirak beklentisi | Serbest piyasa/müteahhitlere bırakma | 8,7 |




**Şekil 5. Belediye ve belediye iştiraklerinden beklentiler**

### 5.6. Açık Uçlu Yanıtların Tematik Analizi

Açık uçlu yanıtlar, nicel bulguların arkasındaki gerekçeleri ve saha algısını görünür kılmaktadır. Tematik kodlama sonucunda kamu/belediye öncülüğü ve garantörlük beklentisi (% 54,5), değerlenme/kâr beklentisi (% 50,0), DOP/kesinti ve hak kaybı algısı (% 40,9), çoklu hissedarlık ve ortak karar güçlüğü (% 36,4), şeffaflık, hız ve bilgilendirme ihtiyacı (% 27,3), müteahhit karşısında korunma ve sözleşme güvensizliği (% 18,2), yerleşiklik, emek ve aidiyet kaybı (% 18,2) temaları öne çıkmıştır (Braun ve Clarke, 2006).

Bu temalar birlikte değerlendirildiğinde, dönüşüm sürecinin yalnızca fiziksel yapı yenileme süreci olarak değil; hak sahipliği, mülkiyet paylaşımı, güven, değer beklentisi ve bekleme kapasitesi etrafında şekillenen çok katmanlı bir süreç olarak deneyimlendiği görülmektedir. Özellikle “belediye hissedarları bir araya getirmeli”, “ne olacağı belli değil” ve “belediye güvencesi olmadan mağdur oluruz” türündeki ifadeler, çoklu mülkiyet yapısında kurumsal arabuluculuk ihtiyacının altını çizmektedir.

Tablo 9. Açık uçlu yanıtların tematik kodları

| **Tema** | **Yanıtlar içindeki oran (%)** |
|---|---|
| Kamu/belediye öncülüğü ve garantörlük | 54,5 |
| Değerlenme/kâr beklentisi | 50,0 |
| DOP/kesinti ve hak kaybı algısı | 40,9 |
| Çoklu hissedarlık ve ortak karar güçlüğü | 36,4 |
| Şeffaflık, hız ve bilgilendirme | 27,3 |
| Müteahhit karşısında korunma | 18,2 |
| Yerleşiklik, emek ve aidiyet kaybı | 18,2 |

## 6. TARTIŞMA

Bulgular, kentsel dönüşümün İmrahor Mahallesi örneğinde yalnızca fiziksel yenileme değil, aynı zamanda mülkiyetin yeniden örgütlenmesi ve değer paylaşımı süreci olduğunu göstermektedir. İmar uygulaması, plan kararlarını mülkiyete aktaran teknik bir araç olarak işlev görürken, uygulama sonrasında çoklu hissedarlığa dayalı yeni bir mülkiyet dokusu üretmiştir. Bu yeni dokuda dönüşümün başarısı, yalnızca proje kapasitesine veya inşaat fizibilitesine değil; hissedarların ortak karar üretebilme kapasitesine, sözleşme süreçlerine duyulan güvene, bilgiye erişime ve dönüşüm maliyetlerinin nasıl paylaşılacağına bağlı hâle gelmektedir (Harvey, 2003; Lefebvre, 1991; Kuyucu ve Ünsal, 2010).

Çok hissedarlı mülkiyet yapısı, teorik olarak bireysel mülkiyet haklarının korunmasını sürdürse de uygulamada kolektif karar alma zorunluluğu yaratmaktadır. Bu durum, mülkiyet hakkının yalnızca kâğıt üzerindeki pay oranı olarak değil, o payı dönüştürme, müzakere etme, bekleyebilme ve değerini koruyabilme kapasitesi olarak da ele alınması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla mülkiyet tabanlı sosyoekonomik kırılganlık, hak sahipliği varlığının tek başına güvence üretmediği; hakka erişim, karar gücü ve zamana dayanma kapasitesinin belirleyici olduğu bir alanı ifade etmektedir (Demsetz, 1967; Olson, 1965; Heller, 1998).

Çalışmanın özette vurgulanan temel sonucu bu noktada netleşmektedir: ekonomik kırılganlık düzeyi ve dönüşümde ortaya çıkan değer ilişkisi, mekânsal dönüşümün önünde veya en az onun kadar belirleyici bir konumdadır. İmar uygulaması sonrasında değer artışı ve yasal güvence algısı oluşurken, aynı zamanda DOP/kesinti, çoklu ortaklık, belirsizlik, sözleşme güvensizliği ve bekleme maliyeti gibi unsurlar da kırılganlık üretmektedir. Bu nedenle adil dönüşüm politikaları, yalnızca yapıların yenilenmesine değil; mülkiyet koordinasyonuna, şeffaf bilgilendirmeye, standart sözleşmeye, yerel veya merkezi güvence kurumuna, yargı etkinliğine ve finansal destek mekanizmalarına dayanmalıdır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul Arnavutköy İlçesi, İmrahor Mahallesi'nde 2023 imar uygulaması sonrasında ortaya çıkan ve yere özgü bir uygulama modeli olarak benimsenmiş çoklu mülkiyet yapısının kentsel dönüşüm sürecinin işleyişi ve sosyoekonomik kırılganlık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, çoklu hissedarlığın dönüşümün başlama süresini, uzlaşma kapasitesini, pazarlık gücünü ve aktörler arasındaki güven ilişkilerini doğrudan etkilediğini göstermektedir (Roberts, 2000; Harvey, 2003). Anket verileri ve sahada izlenen kentsel dönüşüm süreci de bu sonucu desteklemektedir.

Araştırmanın en önemli sonucu, dönüşümün doğrudan tahliye gerektirmeden de kırılganlık üretebileceğidir. Kırılganlık; hissedar sayısının artması, ortak karar üretme güçlüğü, dönüşüm maliyetlerinin paylaşımı, zamanın eşitsiz etkisi, bilgi asimetrisi, finansal destek sistemleri ve kurumsal güven eksikliği üzerinden ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle İmrahor örneği, kentsel dönüşümün yalnızca yapı yenileme değil, mülkiyet yapısı, zaman ve sosyoekonomik koşulların birlikte şekillendirdiği, yeni bir yaşam çevresi ve mülkiyet sahipliliği şeması yönlendiren çok katmanlı bir süreç olduğunu göstermektedir.

Benzer mülkiyet dokusuna sahip dönüşüm alanlarında aşağıdaki politika ve uygulama önerileri öne çıkmaktadır:

- Çoklu hissedarlı yapı adalarında hissedar koordinasyon mekanizmaları kurulmalı; temsilci modeli, ada bazlı uzlaşma kurulları ve dijital bilgilendirme platformları geliştirilmelidir.
- Belediye veya belediye iştiraki tarafından standart sözleşme, hak sahipliği hesaplama rehberi ve süreç takvimi hazırlanmalıdır. Standart sözleşme yere ve konuma göre farklılıkları içeren şekilde aktörler tarafından değerlendirilmelidir.
- Kentsel dönüşüm iletişim/şeffaflık ofisi kurularak DOP, hisse hesabı, proje paylaşımı, sözleşme şartları ve takvim konusunda sürekli bilgilendirme yapılmalıdır.
- Ekonomik dayanıklılığı sınırlı hak sahibi yerleşik malikler için inşaat süresi ile çakışık kira yardımı, düşük faizli kredi, ödeme erteleme veya sosyal destek mekanizmaları geliştirilmelidir.
- Dönüşüm maliyetinin kim tarafından üstlenildiği ve bu maliyetin yeni mülkiyet düzenine nasıl yansıdığı açık biçimde ortaya konulmalıdır.
- Proje verileri sözleşme öncesinde netleştirilmeli, sözleşme süreci belirlenmiş uygulama içeriğine dayanmalıdır.
- Girişimci/Müteahhit-vatandaş ilişkisi tamamen serbest piyasa koşullarına bırakılmamalı; kamu güvencesi, arabuluculuk ve denetim mekanizmalarıyla desteklenmelidir.

Sonuç olarak çalışma, mülkiyet dokusunu kentsel dönüşümün edilgen bir arka planı olarak değil, sürecin hızını, yönünü ve adaletini belirleyen aktif bir değişken olarak ele almaktadır. İmrahor Mahallesi örneği, çoklu mülkiyet yapısının doğru koordine edilmediği durumlarda dönüşümün yalnızca fiziksel değil, ekonomik ve sosyal kırılganlık da üretebileceğini göstermektedir. Amacın da güven esaslı, destek sistemleri gerektiren, kamunun öncülüğünde

ve yönlendirmesi ile sağlanan dirençli yaşam çevreleri ve kaliteli kentsel mekan olduğu unutulmamalıdır.

## KAYNAKÇA

1. **Arnstein, S. R. (1969).** A ladder of citizen participation. Journal of the American Institute of Planners, 35(4), 216–224.
2. **Bourdieu, P. (2000).** Pascalian Meditations. Stanford University Press.
3. **Braun, V. & Clarke, V. (2006).** Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101.
4. **Buitelaar, E. (2004).** A transaction-cost analysis of the land development process. Urban Studies, 41(13), 2539-2553.
5. **Creswell, J. W. (2014).** Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4th ed.). Sage Publications.
6. **Demsetz, H. (1967).** Toward a theory of property rights. The American Economic Review, 57(2), 347-359.
7. **Dempsey, N., Bramley, G., Power, S., & Brown, C. (2011).** The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability. Sustainable Development, 19(5), 289–300. https://doi.org/10.1002/sd.417
8. **Gans, H. J. (1962).** The Urban Villagers: Group and Class in the Life of Italian-Americans. Free Press.
9. **Glass, R. (1964).** London: Aspects of Change. MacGibbon & Kee.
10. **Harvey, D. (1989).** From Managerialism to Entrepreneurialism: The Transformation in Urban Governance in Late Capitalism. Geografiska Annaler: Series B, Human Geography, 71(1), 3-17.
11. **Harvey, D. (2003).** The New Imperialism. Oxford University Press.
12. **Healey, P. (1997).** Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies. Macmillan Press. https://doi.org/10.1007/978-1-349-25538-2
13. **Heller, M. A. (1998).** The Tragedy of the Anticommons: Property in the Transition from Marx to Markets. Harvard Law Review, 111(3), 621-688.
14. **Keleş, R. (2017).** Kentleşme politikası (16. bs.). İmge Kitabevi.
15. **Kuyucu, T., & Ünsal, Ö. (2010).** 'Urban Transformation' as State-Led Property Transfer: An Analysis of Two Cases of Urban Renewal in Istanbul. Urban Studies, 47(7), 1479-1499.
16. **Lees, L., Slater, T., & Wyly, E. (2008).** Gentrification. Routledge.

17. **Lefebvre, H. (1991).** The Production of Space (D. Nicholson-Smith, Çev.). Blackwell.

18. **Lovering, J., & Türkmen, H. (2011).** Bulldozer neo-liberalism in Istanbul: The state-led construction of property markets and the displacement of the urban poor. International Planning Studies, 16(1), 73–96. https://doi.org/10.1080/13563475.2011.552477

19. **Marcuse, P. (1985).** Gentrification, Abandonment, and Displacement: Connections, Causes, and Policy Responses in New York City. Journal of Urban and Contemporary Law, 28, 195-240.

20. **Olson, M. (1965).** The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups. Harvard University Press.

21. **Roberts, P. (2000).** The Evolution, Definition and Purpose of Urban Regeneration. P. Roberts ve H. Sykes (Ed.), Urban Regeneration: A Handbook içinde (s. 9-36). Sage.

22. **Smith, N. (1996).** The New Urban Frontier: Gentrification and the Revanchist City. Routledge.

23. **Türkün, A. (2014).** Mülk, Mahalle, İnsan: İstanbul'da Kentsel Dönüşüm. İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
24. **Yin, R. K. (2014).** Case Study Research: Design and Methods (5th ed.). Sage Publications.

**Yasal Mevzuat ve Resmi Belgeler:**

6. **3194 sayılı İmar Kanunu.** (1985). T.C. Resmi Gazete, 18749, 9 Mayıs 1985.

7. **5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun.** (2005). T.C. Resmi Gazete, 25866, 5 Temmuz 2005.

8. **5393 sayılı Belediye Kanunu.** (2005). T.C. Resmi Gazete, 25874, 13 Temmuz 2005.

9. **6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun.** (2012). T.C. Resmi Gazete, 28309, 31 Mayıs 2012.

# DİDYMODON'UN İKİ TÜRÜNÜN (KARAYOSUNU) PEYZAJ MİMARİSİNDE KULLANIM DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Bahadır KOZ**[1]

[1]Giresun Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Giresun, TÜRKİYE

bahadirkoz@yahoo.com, bahadir.koz@giresun.edu.tr

ORCID NO: 0000-0003-3264-0144

## ÖZET

Bu çalışmada, Dünyada, çöllerden kutuplara kadar yeterli nemin olduğu her yerde bulunabilen karayosunlarının *Didymodon* cinsine ait iki türünün peyzaj mimarisinde nasıl kullanılabileceği değerlendirilecektir. Botanik bahçelerinde doğal olarak bulunan karayosunlarından *Didymodon* cinsine ait bu iki taksonun egzotik olan taksonlarla birlikte sunulmaları, ilerideki yapılabilecek çalışmalara öncülük edebileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte*; Didymodon acutus ve Didymodon rigidulus,* taksonlarının peyzaj mimarisinde nasıl kullanılabileceği tartışılacaktır. Karayosunları her geçen gün, parklarda, bahçelerde ve peyzaj alanlarında daha fazla kullanılmaktadır ve bu taksonların kullanım durumları da bu çalışmada değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelime:** Karayosunu, *Didymodon*, Peyzaj, Türkiye

# EVALUATİON OF THE POTENTİAL USE OF TWO *DİDYMODON* SPECİES (MOSSES) İN LANDSCAPE ARCHİTECTURE.

Bahadir KOZ[1]

1Giresun University, Department of Mathematics and Science Education, Giresun, TURKEY

bahadirkoz@yahoo.com, bahadir.koz@giresun.edu.tr

This study will evaluate the potential use of two species of mosses belonging to the genus Didymodon, which can be found anywhere in the world with sufficient moisture, from deserts to the poles, in landscape architecture. Presenting these two taxa of Didymodon, which are naturally occurring mosses in botanical gardens, along with exotic taxa, is expected to pave the way for future studies. Furthermore, the potential use of *Didymodon acutus* and *Didymodon rigidulus* in landscape architecture will be discussed. Mosses are increasingly used in parks, gardens, and landscape areas, and the usage of these taxa is evaluated in this study.

**Keywords:** Moss, *Didymodon,* Landscape, Turkey

## 1. GİRİŞ

Karayosunları, Eğreltiotları, Açık tohumlu ve Kapalı tohumlu bitkiler karada gelişmiştir. Bütün bunlardan Karayosunlarının üremesi suya bağımlıdır bundan dolayı da bitkiler aleminin amfibileri olarak adlandırılır.

Bryofitler, küçük gövdelidir ve genellikle birkaç cm uzunluğundadır. Üremelerinin suya bağımlı olması sebebiyle karayosunları nemli duvar üzerlerinden orman tabanlarına kadar birçok ortamda yaşayabilmektedirler ve yaklaşık 23 bin türü vardır (Crum, 2001).

Ciğerotları, Boynuzsuotlar ve Yapraklı Karayosunları (Gerçek karayosunları, *Musci*) olmak üzere Bryophyta (Karayosunları) üçe ayrılırlar. Karayosunları tek başlarına pek dikkat çekmezler fakat, kümeler halinde olduklarında geniş alanları kaplarlar. Yeşil olan gametofitleri haploid yapıda olup, hayat devresinde bağımsızdır ve diploid olan Sporofit ise gametofite bağımlıdır.

Ülkemizde 1244 takson karayosunu tanımlanırken, bunlardan; 1025'i yapraklı karayosunu, 215 ciğerotu ve 4 takson da boynuzsuotlara girer (Kürschner ve Erdağ, 2023).

Karayosunları, özellikle İskandinav ülkeleri, A.B.D., Japonya, Çin, Rusya gibi ülkelerde farklı amaçlarla kullanıldıkları görülmektedir. Karayosunlarının ekolojik açıdan önemleri, ekonomik açıdan önemine göre daha fazladır (Gavini ve ark., 2019; Spangler, 2021). Karayosunlarının yüksek su tutma kapasitelerinden dolayı ve orman tabanlarını kapladıkları için biyoçeşitliliğin korunmasında önemli bir göreve sahiptirler (Gignac, 2001; Turetsky, 2003). Turba yosunu olarak bilinen *Sphagnum,* karayosunları içinde en önemli ekonomik değere sahip cinstir, kuzey ülkelerindeki turbalıklar esas karbon kaynağıdır (Hirano ve ark., 2012). Polonya ve kuzey ülkelerindeki bu turba yatakları, o bölgedeki insanlar için önemli geçim kaynaklarından birisidir (Turunen ve ark., 2002). Aynı zamanda Karayosunları, kuşlarında yuva yapmada önemli malzemelerini oluşturmaktadırlar (Chmielewski ve Eppley, 2019).

Karayosunu türlerindeki farklılıklar, farklı ihtiyaçları da getirecektir. Akrokarp ve pleurokarp türlerin ayrı ayrı tutulması önerilir. Pleurokarp türler yatay büyümesinden dolayı, dik duran akrokarp türleri kolayca geçerler (Glime, 2017.)

Pleurokarp türler akrokarp türlere göre nemi daha çok sevmektedirler. Bununla başa çıkmanın yolu, düzenli bir şekilde sulama yapmaktır.

Bazı durumlarda geniş alanlara yeni koşullara uygun olmayan bir karayosunu nakledilebilir ve yeni nakledilenler ortama uyum sağlayamayıp ölebilirler. Eğer alandaki yosun hala canlıymış gibi sulanmaya devam ederse, bir müddet sonra ortamdaki ölen yosunlar başka bir türün sporlarının çimlenmesi için ortam oluşturabilirler (Glime, 2017.) Bazı briyofitlerin daha kısıtlayıcı olan özel yerlere yerleştirmesi de tercih sebebi olabilir. Bunlar kayalar, taş veya beton duvarlar, hatta patikalar olabilir. Bazı yosunların buralara nakledilmesi uygundur.

Briyofitler toprak yüzeylerinde de koloni oluşturabilirler. Bununla birlikte, toprakta daha kısa süre kalırlar, çünkü briyofit örtüsü genellikle alt tabakada tohumlu bitkiler tarafından

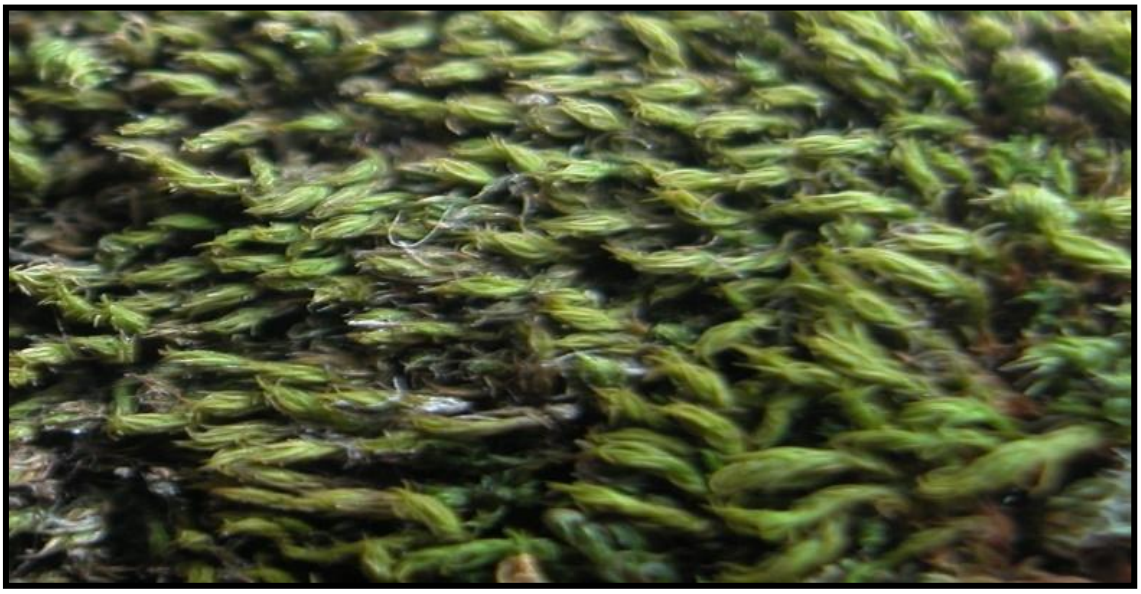
kolonizasyona uygun hale getiren değişiklikler başlatır ve bundan dolayı ilk briyofit kolonistleri hayatta kalamazlar (Schofield, 1985).

Ekolojik ve ekonomik kullanım alanlarına yukarıda değindiğimiz karayosunlarından*; Didymodon acutus ve Didymodon rigidulus* bu iki türün peyzaj mimarisinde ve botanik bahçelerinde kullanımının değerlendirilebilmesini bu çalışmada ortaya koymayı amaçlamaktayız. Bazı gelişmiş ülkelerde son yıllarda peyzaj mimarisinde karayosunlarının da kullanıldığı görülmektedir, bu kapsamda yukarıdaki bu 2 türün peyzaj mimarisinde kullanılabilirliği ortaya konulmaya çalışılacaktır (Smith, 2004).

### 1. *1. Didymodon acutus*

Dioiktir. Bitkiler 0.5-2.0 cm büyüklüktedir. Yapraklar kuru iken gövdeye yapışıktır ve dalgalıdırlar, yaşken gövdeyle 45°'lik açı yaparlar. Yaprakları konkav, taban kısmı ovaldir, diğer kısımları mızrak şeklindedir ve sivrileşmiştir. Yapraklar tabandan tepeye doğru aşama aşama daralır. Yaprak kenarı dar, aşağıya doğru kıvrık ve dişleşmemiştir. Orta damar kuvvetlidir ve yaprağın üst kısmının büyük bir bölümünü kaplar (Smith, 2004).

Gövdenin yukarısındaki yapraklar uç kısımdan çıkıntı yapmıştır. Alttaki hücreler altıgen, üst kısımdaki hücreler de altıgendir fakat biraz daha yuvarlaklaşmış ve kalın çeperlidir. Yaprak ortasında 7-12 μm genişliktedirler. Yarı küre şeklindeki gemmalar küçük olup üst kısımdaki yaprakların uç kısımlarında bulunurlar. Kapsül dar elipsoid şeklinde, kapsül kapağı gaga şeklindedir (Smith, 2004).



**Görsel 1. *Didymodon acutus* genel görünüş**



**Görsel 2. *Didymodon acutus*** (https://www.britishbryologicalsociety.org.uk/)

*D. acutus* uzun zamandır nadir bulunan kireçli toprak yosunu olarak kabul edilmiştir. *D. acutus*, sivri görünümlü, dik bitkilerdir, mızrak şeklinde yaprakları vardır. Üst yapraktaki kostanın ventral (en üst) hücrelerini mikroskop altında inceleyerek kısa olduklarını doğrulamak gerekir, kare ile kısa dikdörtgen şeklindedirler. En güvenilir özellikler orta-üst yaprak hücrelerinin papilla yapısıdır, *D. acutus'*un hücreleri düzdür. Üst yapraklardaki orta damarın dışa doğru uzanması da önemlidir. *D. acutus*'ta kısa veya uzundur ancak iğne gibi değildir. Orta-üst yaprak hücrelerinin şekli de yardımcı olabilir, ancak her zaman kolayca değerlendirilemez, *D. acutus*'ta yuvarlak veya açısızdır. *D. acutus*'un sürgünleri genellikle oldukça koyu kahverengidir.

### *1.2. Didymodon rigidulus*

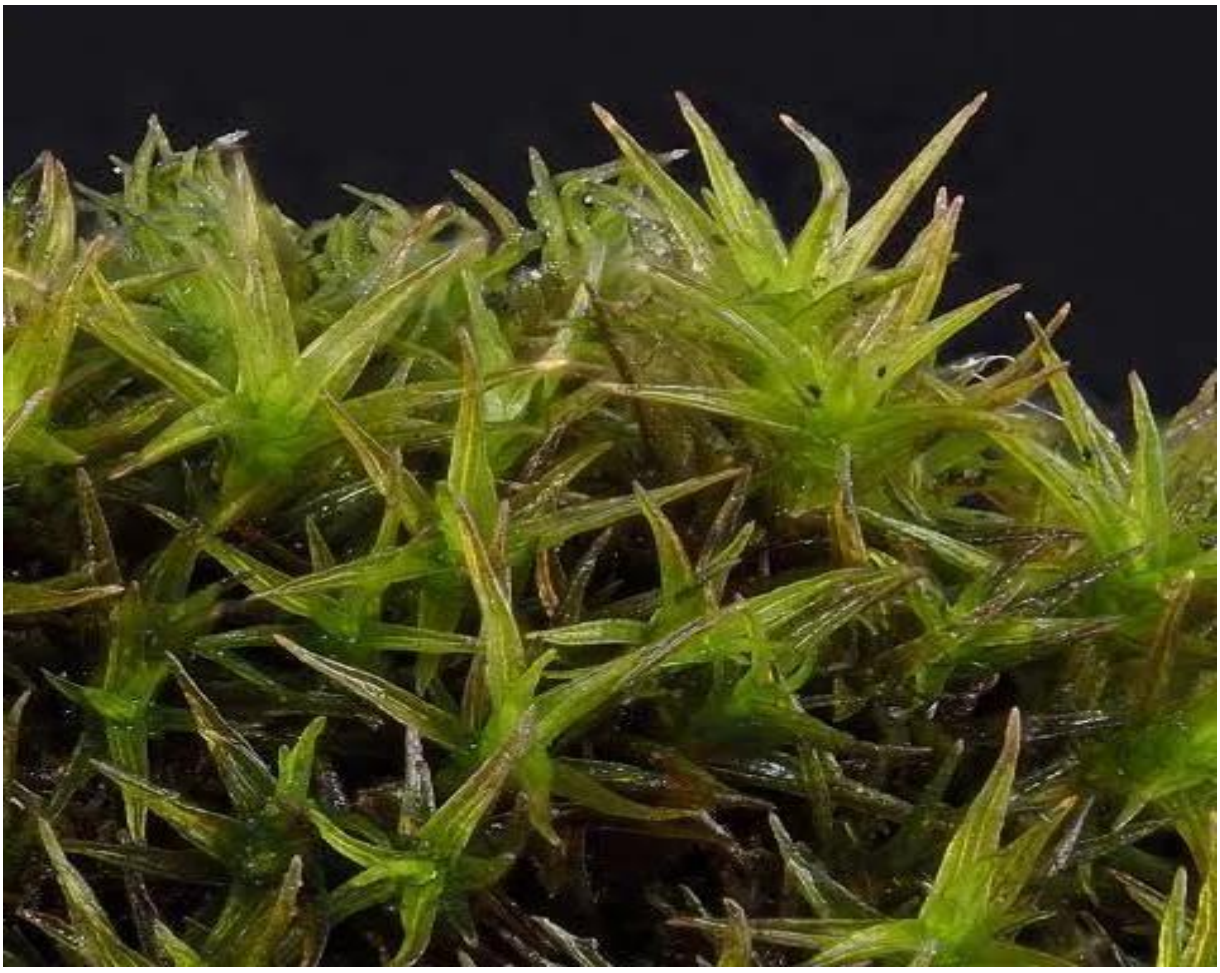
Dioiktir, genellikle 3-10 mm boyunda, yapraklar gövdeye yapışık veya gövdeye karşı sıkıştırılmış, dalgalı, kuruduğunda bazen hafifçe kıvrık, nemli olduğunda gövdeye 45°'lik açıda, mızrak şeklinde, uzunluğu genişliğinden 3 kat fazla veya dil şeklinde geniş aşağı-yukarı paralel cepheli, giderek uzunluğuna doğru incelir, kalın, sivri uçlu, yaprak ucu keskin değil, kenar yeniden kavislenir veya aşağıda düzleşir, yukarısı 2 hücreli kalınlıktadır. Nerve, apex'in aşağısında kısa bir çıkıntı yapmış olarak sonlanır, ventral hücreler altı köşelidir, yaprağın alt kısmındaki hücreler dikdörtgenimsi, üsttekiler kare-altıgenimsidir, kalın şekilde damarlanmış,

şişmiştir, bazen oldukça kalındır, hafifçe hücre yüzeyinden çıkıntı yapmış, görünmesi zor, yaprak ortasında 8-10 µm genişliktedir, yaprak kenarında 2 hücre kalınlıktadır. Seta, turuncu-kırmızı; kapsül silindiriğimsi, elipsoiddir, operkulum eğri (meyilli), uzunca gagalı, peristom dişleri kısa, 320-480 µm uzunluğunda, iplik gibi ya da ince, düz; sporlar 10-12 µm. Fonksiyonel kromozom numaraları n= 12, 13. Sarımsı yeşilden siyaha doğru bir merkez etrafında dik bir şekilde filizlenir, duvarlarda, eski binalar ve kayalarda, bulunabilinir (Smith, 2004).

Orta Avrupa, Kafkasya, Orta Asya, Sibirya, Orta Avrupa, Kafkasya, Orta Asya, Kamboçya, Keşmir, Çin, Kanarya adaları, kuzey ve Orta Amerika, Grönland, Folkland adalarında bulunur (Smith, 2004)..

*D. rigidulus*, en fazla duvarlarda, taşlarda ve doğal kayalarda bulunur; buralarda gevşek görünümlü, koyu yeşil ile kırmızımsı yeşil yastıklar oluşturur. Bitkiler kapsül geliştirdiğinde, bu kapsüller onu, nadiren veya hiç meyve vermeyen *D. insulanus* gibi akraba uzun yapraklı türlerden ayırt etmeye yardımcı olur. Birçok ova bölgesinde, kireçtaşlarının üzerinde bulunur.

Uzun, sivrilen yaprak, küt bir şekilde biten dar, neredeyse paralel kenarlı bir uca doğru uzanır. Daha sonra, bitkiler kuruduğunda, yapraklar yapışık, içe doğru kıvrılmıştır



**Görsel 3. *Didymodon rigidulus* genel görünüş**

## 2. KARAYOSUNLARININ BOTANİK BAHÇELERİNDE SERGİLENMESİ VE KORUMA ÇALIŞMALARI

Bitkilerin koruması ve sürdürülebilirliği adına bilimsel çalışmaların gerçekleştirildiği Botanik bahçeleri, dünyanın farklı bölgelerinde yaşayan bitkilerin sergilendiği açık ve kapalı alanlara sahip mekanlardır (Rakow ve Lee, 2011). Ulusal botanik bahçeleri, genetik çeşitliliğin korunması, ekosistemlerin zarar görmesinin engellenmesi, çeşitli bozulmaların ve tehditlerin oluşturduğu negatifliğin kamuoyunca doğru bir şekilde algılanmasını amaçlamaktadır. Tohumlu bitki biyoçeşitliliği bakımından neredeyse Avrupa'yla aynı seviyede olan ülkemizdeki Botanik bahçe sayısının her geçen gün arttırılması gerekmektedir. Uluslararası Botanik Bahçeleri Koruma Birliği verilerine göre ülkemizde sadece 15 adet botanik bahçesi bulunurken bu sayı Almanya'da 109, İngiltere'de 199 ve ABD'de 813 adettir.

Bu korunan alanlar zamanla bölgedeki karayosunlarının ev sahipliğine dönüşmektedir. Bunlarla birlikte dünyadaki bazı özel bölgelerde Royal Botanik Bahçesi gibi (Royal Botanical Garden, Edinburgh) alanlarda karayosunları sergilenmektedir.

## 3. KARAYOSUNU BAHÇELERİ

Japonya'daki karayosunu bahçeleri, İngiltere, ABD, Kanada gibi ülkelerde olduğu gibi dünyada da giderek daha popüler hale gelmektedir. Karayosunu bahçelerinde, gübreye, herbisit ve pestisite olan ihtiyaç oldukça azdır (Martin, 2015; Glime, 2017). Japonya'da bulunan karayosunu bahçeleri zarafet ve sadelikle ilişkilendirilmektedir (Japan Endless Discovery, 2023).

Kokedera-Kyoto/Japonya (Şekil 4), Yosun Tapınağı anlamına gelen bu tapınakta 12'den fazla yosun türü bulunmaktadır (www.japan-guide.com).



**Görsel 4. Kokedera (Kyoto/Japonya), Karayosunu bahçesi**

Şekil 5’de Japonya’nın batısındaki Ishikawa Eyaletindeki Hiyo köyünden bir yosun bahçesi görülmektedir. Japonya'nın uzun yağmurlu ve nemli iklimi karayosunları için mükemmel bir ortam oluşturur ve burada yaklaşık 1.800'den fazla karayosunu türü olduğu tahmin edilmektedir (www.kanpai-japan.com).




**Görsel 5. Ishikawa Yosun bahçesi**

Yosun bahçesi, karayosunlarıyla kaplı bir orman parçası anlamına gelir. Bu bahçelerdeki en önemli olaylardan birisi yeterli nemin sağlanmasıdır ve yosun ekiminde de doğru zaman belirlenmesi önemlidir. Yosun ekiminden de kastedilen bahçelere yosun taşınmasıdır. Giresun'da da nemli ikliminden dolayı bol miktarda karayosunu mevcuttur. Karayosunlarının taşınırken benzer özelliklere sahip yerlerin, benzer lokasyonlar, benzer iklimsel yapıların olmasına özen gösterilmelidir (Gardener, 2023). Ayrıca; Karayosunlarını taşıma harici vejetatif olarak ta üretmek mümkündür (The Spruce, 2023). Karayosunu bahçeleri kurulurken temiz toprak yüzeyleri tercih edilmeli, ekim yapılmadan önce toprak iyice sıkıştırılmalı ve diğer yabancı bitki ve tohumlardan arındırılmalıdır (Fine Gardening, 2023-a). Karayosunlarına bakım yapıldıkça güzel gelişim gösterirler (Fine Gardening, 2023-b). Karayosunlarının sulanması gelişimine olumlu katkı sağlar. Kireçli sular ise karayosunlarının gelişimine zarar vermektedir. Yukarıda verdiğimiz taksonlar peyzajda ve karayosunu bahçelerinde verimli bir şekilde kullanılabilecek taksonlardır.

Bryofitleri seçerken bahçede mevcut türlere yakın türlerin seçimi bahçedeki peyzajın başarı şansını arttıracaktır.

Doğu Karadeniz'deki Giresun'da yoğun bir şekilde görülen taaksonlardan bazısı *Didymodon acutus ve Didymodon rigidulus.* Bu türler, Dere kenarlarında, ormanlarda, kayaların üzerinde gibi birçok lokasyonda bulunmaktadırlar.

Bunlar süksesyonda da oldukça başarılılar ve uygun şartlarda, çıplaklaşmış bir alanı hızlı bir şekilde kapatırlar. Bu durum bize bitkinin çoğalmasının ve ortama uyumunun hızlı olduğunu göstermektedir.

*Didymodon acutus ve Didymodon rigidulus*, bu taksonlar pleurokarp (Halı şeklinde) türler olup, bulunduğu lokasyonun tabanını güzel bir şekilde kapatırlar.

Karadeniz bölgesi nemli ve yağışlı olduğundan karayosunları için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bundan dolayı, Karadenizdeki orman tabanları karayosunları ile kaplıdır. *Didymodon acutus ve Didymodon rigidulus* bu türlerin karadenizde oluşturulacak herhangi bir karayosunu bahçesi için oldukça uygun olduğu görülmektedir.



**Görsel 6. Dikey Yosun bahçesi örneği** (https://www.yosundikeybahce.com/)



**Görsel 7. Dikey Yosun bahçesi örneği** (https://www.yosundikeybahce.com/)

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkilerin en eski gruplarından biri olan karayosunları hakkında yapılan çalışmalar, bunların ekosistemin kilit organizmalarından birisi olduğunu göstermektedir. Son yıllarda Ülkemizde de yapılan çalışmalarda da görülmektedir ki karayosunlarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Karayosunu çalışmaları öncelikle sistematik alanında yoğunlaşırken, son yıllarda ağır metal analizleri, radyasyon analizleri, antimikrobiyal ve antioksidant gibi alanlarda da çalışmalar hız kazanmıştır. Karayosunlarının Peyzaj mimarisi alanında kullanımı çalışmaları oldukça yenidir ve bu tür işlerde profesyonel şirketlerde (Şekil 6, Şekil 7) karayosunlarını kullanmaktadır. Ülkemizde doğa koruma alanlarının artması karayosunlarının da korunmasının artması anlamına gelecektir. Gelişmiş bazı ülkelerde olduğu gibi karayosunlarının peyzaj mimarisinde daha fazla kullanılmasını talep etmekteyiz.

Karayosunu bahçeleri, hem yeşil alanlar oluşturup, hem de ortam neminin korunmasında görev alırlar. Bu bölgeler, diğer organizmalar içinde uygun habitatlar oluşturmaktadır. Bu bahçeler, karayosunları çeşitliliğinin korunmasına katkı sağlar ve bazı karayosunu bahçeleri de 100'den fazla tür içerir (Hasegawa, 2002; Oishi, 2015). Karayosunu bahçeleri çevrelerindeki şehirlerdeki epifitik bryofitlerin de çeşitliliğini arttırmaktadır (Oishi ve Hiura, 2017).

Karayosunları, 'eko şehir' oluşturmak amacıyla da kullanılmaktadır. Sonuçta binaların yeşil alanlar olarak oluşturulmasında kullanılırlar (Chiaffredom, 2004). Karayosunlarının kentlerdeki park ve bahçelerde kullanımı çok önemlidir. Karayosunlarının hızlı yayılmaları, kentlerdeki yüksek binaların gölgelinde yetiştirilmeleri sağlar (Schenk, 2007). Buralarda yetişen karayosunları, daha çok toprağa ihtiyaç duymayan kozmopolit türlerdir (Delgadillo ve Angeles, 2000).

Ülkemizde de son zamanlarda, karayosunları yatay dikey panolar halinde (Şekil 6, Şekil 7), peyzaj mimarlarının kullandığı suni duvarlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Fakat buralardaki karayosunları maalesef doğadan izinsiz olarak toplanmaktadır, bu durumda doğaya zarar vermektedir. Çünkü karayosunları, bulunduğu orman tabanında ağaçların tohumlarının çimlenmesi için uygun ortam ve nem oluşturmaktadır. Bundan dolayı karayosunu üretim çiftliklerinin kurulması son derece önemlidir. Karayosunları doğadan rastgele toplanmamalı bu konuda gerekli düzenlemeler yapılmalı ve vatandaşlarımız konu hakkında aydınlatılmalıdır.

**KAYNAKÇA**

Chiaffredom, M.K. When mosses recreate the landscape on the roof. MCK Environment & Bryotec Technology, Arzal, 2004.

Chmielewski, M.W. & Eppley, S.M. Forest passerines as a novel dispersal vector of viable bryophyte propagules. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 286(1897), 2018-2253. https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2253, 2019.

Crum, H. *Structural Diversity of Bryophytes*. Ann Arbor: University of Michigan Herbarium, 2001.

Delgadillo, C. & Ángeles, C.S. (2000). Urban mosses in Mexico City. Serie Botanica, 71(2), 63-72.

Fine Gardening (2023-a). Tips for Creating a Moss Garden, https://www.finegardening.com/article/tips-for-creating-a-moss-garden, (Erişim Tarihi: 30.10.2023)

Fine Gardening, (2023-b). Moss Makes a Lush Carpet, https://www.finegardening.com/article/moss-makes-a-lush-carpet, (Erişim Tarihi: 30.10.2023)

Gavini, S.S., Suárez, G.M., Ezcurra, C. & Aizen, M.A. Facilitation of vascular plants by cushion mosses in high-Andean communities. Alpine Botany, 129(2), 137–148. https://doi.org/10.1007/s00035-019-00222-6, 2019.

Gignac, L. D. Bryophytes as Indicators of Climate Change. *The Bryol.*, 104(3), 410-420, (2001).

Glime, J. M. *Gardening: Moss garden development and maintenance. Chapter 7-4.* In: Glime, J.M. (Ed.). Bryophyte Ecology, 5: 1-22, Houghton, 2017.

Hasegawa, J. Bryophyte flora in Saihoji Temple (Koke-dera). In: The red data book of Kyoto prefecture 2002. Vol. 2 Landforms, Geology, and Natural 376 Communities, Kyoto prefecture, Kyoto, pp. 292–297 (in Japanese), 2002.

Hirano, T., Segah, H., Kusin, K., Limin, S., Takahashi, H. & Osaki, M. Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biol.*, 18(11), 3410-3422. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02793.x, 2012.

https://www.britishbryologicalsociety.org.uk/ (Erişim tarihi: 08.09.2025)

https://www.japan-guide.com/e/e3937.html- (Erişim tarihi: 22 Mayıs 2025)

https://www.yosundikeybahce.com(Erişim tarihi: 04.06.2026)

https://www.kanpai-japan.com/hiyo-koke-no-sato (Erişim Tarihi: 26.05.2025)

Japan Endless Discovery (2023). https://www.japan.travel/en/blog/exploring-japan-s-magical-moss-gardens, (Erişim tarihi: 30.12.2023)

Joe Gardener (2023). https://joegardener.com/resources/, (Erişim Tarihi: 30.10.2023)

Kürschner, H. ve Erdağ, A. *Türkiye Karayosunları Florası - Bryophyte Flora of Türkiye*. İstanbul: Hiperlink Yayınları, 2023.

Martin, A. *The Magical World of Moss Gardening*. Timber Press, 2015.

Oishi, Y. Changes in epiphyte diversity in declining forests: implications for conservation and restoration. Landscape and Ecological Enginering, 11, 283–291, 2015.

Oishi. Y. & Hiura. T. Bryophytes as bioindicators of atmospheric environment in urban-forest landscapes. Landscape and Urban Planning, 167, 348–355, 2017.

Rakow, D. & Lee, S. *Public Garden Management: A Complete Guide to the Planning and Administration of Botanical Gardens and Arboreta*. John Wiley & Sons, 2011.

Schenk, G. *Moss Gardening*, Timber Press, Oregon, USA. 2007.

Schofield, W.B. Introduction to Bryology. New Jersey, USA., 1985.

Smith, A.J.E., The Moss Flora of Britain and Ireland, Cambridge Univ. Press, London, 2004.

Spangler, K. *Bryophyte Ecosystem Services: How Bryophytes Impact Ecosystem Processes and Their Use in Urban Systems,* University Honors Theses. Portland State University, Portland., 2021.

The Spruce, https://www.thespruce.com/how-to-grow-moss-1402369, Erişim Tarihi: 30.12.2023

Turetsky, M.R. The Role of Bryophytes in carbon and nitrogen cycling. The Bryology, 106(3), 395-409, 2003.

Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland — application to boreal and subarctic regions. Holocene, 12, 69–80, 2002.

# KARAYOSUNLARI (MUSCİ) VE VANADYUM(V) KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bahadır KOZ[1]

[1]Giresun Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Giresun, TÜRKİYE

bahadirkoz@yahoo.com, bahadir.koz@giresun.edu.tr

ORCID NO: 0000-0003-3264-0144

## ÖZET

Ağır metal kirliliğine bilim insanlarının ilgisi uzun zamandır vardır. Bundan dolayı araştırmalar atmosferik birikimin, hava, toprak ve suyun kimyasal yapısı üzerindeki etkilerinin ortaya çıkmasına yardımcı olmaktadır, fakat bununla birlikte ağır metallerin, canlılar üzerindeki etkileri hakkındaki bilgilerimiz oldukça eksiktir.

Karayosunları, ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör canlılar olarak kullanılmaktadır. Karayosunları, ağır metallerin önemli bir kısmını dokularında biriktirirler Karayosunlarının biyoindikatör organizmalar olarak kullanılmasının bazı sebepleri mevcuttur: Karayosunları, dünya üzerinde geniş bir dağılıma sahiptir. Yapraksı yapılarında kütikula ve epidermis olmadığı için hücre duvarları kolaylıkla metal iyonlarını soğururlar. Onların substrat'dan minerallerin alımı için organları kökleri yoktur, köksü yapıları vardır, bu yapılarla substrata sadece tutunurlar. Gerçek anlamda iletim demetlerine sahip olmadıklarından minerallerin taşınması oldukça zayıftır.

Bir metalin özkütlesi 5 gr/cm$^3$ ten büyükse ağır metal denilir ya da atom numarası 20'den büyük olan ve kirlilik yaratan zehirli maddeleri de ağır metal sınıfına dahil etmektedirler. Başka bir tanımda; Atomik ağırlığı 100'ün üzerinde olan metallere ağır metal denir. Ağır metaller, genellikle, toprağın üst katmanlarında birikme eğilimindedirler. Bu tanımlara göre; Vanadyum (V) Atom numarası 23 ve özkütlesi 6,1 gr/cm$^{3'}$tür, kirletici özelliğe sahiptir ve ağır metaldir. Bu çalışmada, karayosunlarının Vanadyum kirliliğinin belirlenmesindeki önemi değerlendirilecektir.

**Anahtar Kelime:** Karayosunu, Vanadyum(V), Ağır metal, Kirlilik

# ASSESSMENT OF MOSS (MUSCİ) AND VANADİUM (V) POLLUTİON

Bahadir KOZ[1]

1Giresun University, Department of Mathematics and Science Education, Giresun, TURKEY

bahadirkoz@yahoo.com, bahadir.koz@giresun.edu.tr

## ABSTRACT

Scientists have long been interested in heavy metal pollution. Therefore, research helps to reveal the effects of atmospheric accumulation on the chemical composition of air, soil, and water; however, our knowledge about the effects of heavy metals on living organisms is quite incomplete.

Mosses are used as bioindicator organisms in the determination of heavy metal pollution. Mosses accumulate a significant portion of heavy metals in their tissues. There are several reasons for using mosses as bioindicator organisms: Mosses have a wide distribution worldwide. Because their leaf-like structures lack cuticles and epidermis, their cell walls easily absorb metal ions. They do not have roots for the uptake of minerals from the substrate; they have root-like structures that only attach to the substrate. Since they do not have true vascular bundles, the transport of minerals is quite weak.

A metal is considered heavy if its density is greater than 5 g/cm³, or toxic substances with an atomic number greater than 20 that cause pollution are also classified as heavy metals. Another definition states that metals with an atomic weight above 100 are heavy metals. Heavy metals generally tend to accumulate in the upper layers of soil. According to these definitions, Vanadium (V) has an atomic number of 23 and a density of 6.1 g/cm³, is a polluting and heavy metal. This study will evaluate the importance of mosses in determining vanadium pollution.

**Keywords:** Moss, Vanadium (V), Heavy metal, Pollution

## 1. GİRİŞ

Atmosferik birikim, atmosferin, toprağın ve suyun kimyasal yapısı üzerine olan etkilerinin ortaya çıkmasında araştırmalar yardımcı olmaktadır. Vejetasyondaki değişimlerin çoğunun sebebi hala atmosferik birikime mal edilmesine rağmen, doz-etkisi hakkındaki bilgiler de hala çok azdır (Wolterbeek, 2002).

Ekosistemle ilgili çalışmaların çoğu insan sağlığı üzerine odaklanırken, epidemiyolojik çalışmalar hava kirliliğinin, solunum sağlığı üzerine olan etkileri ile ölüm oranları arasındaki ilişkiye yoğunlaşmaktadır (özellikle hava partikülleri, ozon, asit yağmurları, azot oksitler ve sülfür oksitler üzerine) (Castillejos vd., 2000). Bugün epidemiyolojik çalışmalar, partiküllerdeki elementel konsantrasyon ile bunun insan sağlığı üzerine olan etkilerini ortaya koymaya çalışmaktadır. Elementel biyomonitörleme verileriyle, hastalıklar arasındaki ilişki ilk kez Neisse (Almanya-Polonya-Çek Cumhuriyeti arasında) bölgesinde yapılan çalışma ile ortaya kondu. Bu da geleneksel hava kirleticilerinden (Sülfür oksit, Ozon, Nitrojen oksitler) ziyade atmosferik kirleticiler üzerine dikkatleri toplamaktadır. Örneğin; ağır metaller gibi kirleticiler birçok ülke de sağlık ve çevre üzerine olan planlamalarda, kara listede yer almaktadırlar (Laden vd., 2000).

Çevreye verilen ağır metaller akciğer dokularında zarara neden olduğu bulunmuştur (Dreher vd., 1997). Son yıllardaki sanayileşme ve hızlı şehirleşme sebebiyle, atmosferik kirlilik birçok ülkenin karasal çevresinde önemli bir kirliliğe neden oldu. Böylece, şehir çevresindeki hava kaynaklı metallerin monitörlenmesi, dünyanın çoğu kısmındaki kontrol programları ve çevre planlamalarının önemli bir parçası olmuştur. Biyomonitörleme sayesinde Biyosfer'in kantitatif özellikleri hakkında bilgi elde etmek amacıyla biyolojik materyaller ve organizmaların kullanılmaktadır Wolterbeek 2002). Karayosunları, atmosferin biyomonitörlenme çalışmalarında bol miktarda kullanılmaktadır. Yüksek bitkilerin aksine, Karayosunlarının gelişmiş bir kök sisteminin ve kütikula tabakasının olmaması nedeniyle mineral emilimini bütün yüzeyleriyle yapmalarından dolayı böyle çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Bu özellikleri dolayısıyla 50 yıldan daha fazla zamandan beri atmosferik ağır metal birikiminin belirlenmesinde karayosunları kullanılmaktadır (Zechmeister vd., 2003)

Karayosunları, ağır metallerin önemli bir kısmını dokularında biriktirirler (Grodzinska, 1982). Karayosunları indikatör organizmalar olarak bazı avantajlara sahiptirler: 1. Karayosunları dünyanın her tarafında bulunurlar, fakat endüstri ve şehir merkezlerinde temiz bölgeye nazaran daha azdırlar. 2. Kütikula ve epidermis tabakaları olmadığından hücre duvarları kolaylıkla metal iyonlarını soğurur. 3. Onların substrat'dan minerallerin alımı için gerçek manada bir kök sistemlerine sahip değillerdir, çökelme sonucunda mineralleri biriktirmektedirler 4. Organsı yapılar arasında minerallerin taşınması iletim demetleri olmadığından oldukça zayıftır 5. Karayosunlarında metal birikimi ve iyon değişimi pasif yolla olmaktadır, aktif taşıma yoktur. 6. Karayosunları atmosferik birikim miktarının bir fonksiyonu olarak çoğu metallerin fonksiyonunu gösterir (Rühling vd., 1998).

Özkütlesi 5 gr/cm$^3$ ten fazla olan metallere ağır metal denilmektedir. Başka bir tanımda ise atomik ağırlığı 100'ün üzerinde olan metallere ağır metal denir. Ağır metaller, genellikle, toprağın üst katmanında birikirler. Bunun nedeni, üst toprak maddesinin organik madde bakımından daha zengin olması ve organik maddelerin ağır metalleri tutucu özelliğe sahip olması ile açıklanır (Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ansiklopedik Çevre Sözlüğü, Ankara, 2001). V (Vanadyum), Atom numarası; 23 olan ve özkütlesi 6,1 gr/cm$^3$ olan kirletici, bir özelliğe sahiptir.

### 1.1. Karayosunları

Karayosunları, eğreltiotları, açık tohumlu bitkiler ve kapalı tohumlu bitkiler karada gelişmiştir. Bunun sonucu olarak ta kütikül (epiderma), stoma ve vasküler (iletim) dokuları gelişmiştir. Karasal ortamın önemi, bitkilerin yaşama ortamı olması yanında, evrimlerinde de etkili olması açısından önemlidir. Bütün kara bitkileri embriyo meydana getirmektedirler. Bunun için de *Embriyophyta* (embriyolu bitkiler) olarak ta adlandırılmaktadırlar. Kara bitkileri, ister suda yaşasınlar isterse karada yaşasınlar *Embriyophyta* adı altında sınıflandırılırlar.

Embriyofitler, klorofil a, b, karotinler ve birkaç ksantofil ile lutein içerirler. Kloroplastları her bir bantta 3-6 tilakoid lameline sahiptir ve fotosentez sırasında $O_2$ üretirler. (Smith, 1980).

Dünya üzerindeki yaşam tarihinin en önemli olaylarından biri, kökeni yeşil alglere dayanan karayosunlarının karaya çıkışıdır. Eğreltiotları, açık tohumlu bitkiler ve kapalı tohumlu bitkiler karada gelişmiştir. Karayosunları ise üremelerinin suya bağımlı olması fakat gelişmelerini farklı ortamlarda sürdürebilmelerinden dolayı bitkiler dünyasının amfibileri gibi görülmektedirler. Karayosunları *Thallophyta* dediğimiz algler, mantarlar ve likenlere göre daha gelişmiş yapıdadırlar. Özellikle bazı gelişmiş gruplarında gözlenen ve bir bakıma iletim demetli bitkilerin iletim demetlerini hatırlatan bazı özel hücrelerin (leptoidler ve hidroidler ) varlığı su ortamından kara ortamına geçişi göstermektedir (Smith, 1980).

Bryophitlerin, 23 bin kadar türü mevcuttur. Yeterli miktarda nemin var olduğu, tropikal bölgelerden subarktik bölgelere kadar, dünyanın bütün iklimlerinde geniş bir yayılışa sahiptir. (Nyholm, 1981).

Bryophyta (Karayosunları), ciğerotları, boynuzsuotlar ve yapraklı karayosunları (gerçek karayosunları, *Musci*) olmak üzere 3 kısma ayrılır. Hepsi küçük yapılı, yeşil renkli ve gerçek köksüzdür, çoğu epifitiktir. Kara ortamına uyum sağlamışlar, sadece küçük bir grubu ikincil olarak sucul ortamlara adapte olmuştur. Bütün karayosunları heteromorfik döl almaşı gösterir. Karayosunu fertleri tek başlarına olduklarında pek dikkat çekmezler ancak içiçe kümeler halinde olduklarında oldukça geniş alanlar kaplarlar. Haploid olan gametofit, yeşil renkli ve hayat devresinde bağımsız durumdadır. Sporofit bütün hayatı boyunca gametofite bağımlıdır. (Smith, 1980, Watson,1981, Schofield, 1985).

Bryofitlerin yaprak ve gövdeleri, vasküler bitkilerin yaprak ve gövdeleriyle benzer değildir. Vasküler bitkilerde gövdeler ve yapraklar sporofitin bir parçasıdır, gametofite ait değildir. Ayrıca vasküler bitkilerin yaprakları da tipik vasküler yapıya sahiptir. Bryofitlerin emici ve tutunucu organları (köksü yapıları-rizoidleri) tam bir köksü yapıda değildir, ancak tek hücreli veya çok hücreli yapıda saçsı şekilde rizoid adı verilen köksü yapılara sahiptirler, bu köksü

yapılar bitkinin sadece ortama tutunma işini görmektedir. Karayosunları dışındaki diğer bütün bitkilerin iletim dokuları, ksilem ve floem'den oluşmuş olması belki de karayosunlarıyla diğer bitkiler arasındaki en önemli farktır (Çetin, 1988).



**Görsel 1. Karayosunlarının doğal ortamda görünüşleri**



**Görsel 2. Karayosunu sporofit**

### 1.2. Numunelerin Teşhis Edilmesi

Araziden toplanan karayosunu örnekleri laboratuvarda makroskobik ve mikroskobik incelemelere tabi tutularak çeşitli flora eserleri yardımıyla teşhisleri gerçekleştirilir. Karayosunu örneklerinin teşhis edilmesinde, The Moss Flora of Britain and Ireland (Smith, 2004), British Mosses and Liverworts (Watson, 1981), Moss Flora of China (Chien, 1999), Die moss-und Farnpflanzen Europa (Frey ve Fram, 1995), Introduction to Bryology, Mosses (Schofield,1985) gibi flora eserlerinden faydalanılır.

### 1.3. **Vanadyum**

Vanadyum, doğada grimsi beyaz bir metal olarak bulunan bir bileşiktir; genellikle kristal formdadır. Saf vanadyum kokusuzdur. Genellikle oksijen, sodyum, kükürt veya klor gibi diğer elementlerle birleşir. Vanadyum ve vanadyum bileşikleri, Dünya'nın kabuğunda, kayalarda, demir cevherlerinde ve ham petrol yataklarında bulunur. Çevrede genellikle, oksijen, sülfür, sodyum veya klorla bileşik olarak bulunur. İnsan yapımı şekli vanadyum oksid, çelik sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Vanadyum, korozyona dayanıklı yüksek hız çeliği yaylarının ve aletlerinin üretiminde kullanılır. Vanadyum pentoksit seramiklerde, katalizör olarak ve süper iletken mıknatısların üretiminde kullanılır.

Vanadyum sülfat ve sodyum metavanadat, besin takviyesi olarak kullanılmıştır.

- Vanadyum, çevreye esas olarak doğal kaynaklardan ve petrol yakıtlarının yanmasından girer.
- Vanadyum suda çok iyi çözünmez.
- Vanadyum diğer elementler ve parçacıklarla birleşir.
- Vanadyum, toprak ve tortulara güçlü bir şekilde yapışır.
- Bitkilerde düşük seviyelerde vanadyum bulunmuştur, ancak hayvan dokularında birikmesi olası değildir.
- Vanadyum içeren yiyecekleri tüketerek; özellikle deniz ürünlerinde daha yüksek seviyelerde bulunur. Vanadyum ayrıca bazı besin takviyelerinde de bulunur.
- Petrol veya kömür kullanan bir sanayi tesisinin yakınındaki havayı solumak; bu endüstriler havaya vanadyum oksit salmaktadır.
- Vanadyum işleyen veya vanadyum içeren ürünler üreten sektörlerde çalışmak.
- Vanadyum içeren atık alanları veya çöplüklerin yakınında kirlenmiş havayı solumak veya kirlenmiş suyu içmek.
- Vanadyum vücut tarafından mide, bağırsaklar veya deri yoluyla çok kolay emilmez. (www.atsdr.cdc.gov)

Havadaki yüksek vanadyum seviyelerine maruz kalmak akciğerlere zarar verebilir. Çoğu insan, vanadyumun çok düşük dozlarını yiyeceklere, içme sularıyla veya havadan almaktadırlar. Nefes

yoluyla yüksek dozlarda vanadyum alınırsa bu durum öksürüğe ve boğazda tahrişe neden olabilir (www.atsdr.cdc.gov).

Vanadyum yutan kişilerde hafif ishal ve mide krampları görülmüştür. Vanadyum yutan hayvanlarda ise kırmızı kan hücre sayısında azalma, kan basıncında artış ve hafif nörolojik etkiler gibi çok sayıda etki tanımlanmıştır. Bu çalışmalarda hayvanlarda bu etkileri oluşturan vanadyum miktarları, çevrede oluşabilecek miktarlardan çok daha yüksektir.

Vanadyum, beyin hücre bariyerlerini ve kan damarlarını geçebilir. Özellikle solunum yoluyla alındıktan sonra ortaya çıkan toksisite belirtileri arasında yeşil dil, ishal ve kramplar bulunur (Mukherjee vd. 2004).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), vanadyuma maruz kalan farelerde akciğer kanseri bulgularına dayanarak vanadyum pentoksiti insanlar için muhtemelen kanserojen olarak sınıflandırmıştır. (www.atsdr.cdc.gov)

ABD Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı (DHHS), IARC ve EPA, vanadyumu insanlar için kanserojen olarak sınıflandırmamıştır.

Vanadyumun çocuklarda yaratacağı etkiler, vanadyuma maruz kalan yetişkinlerde gözlemlenenlere benzer olacaktır.

Hamile hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, vanadyumun doğum kusurlarına ve gelişimsel gecikmelere neden olabileceğini göstermiştir. Bu etkiler genellikle anneyi de etkileyen seviyelerde gözlemlenir. Ayrıca, anneyi etkilemeyen vanadyum dozlarında da etkiler gözlemlenmiştir (www.atsdr.cdc.gov).

Vanadyum bazı besin takviyelerinde bulunur. Vanadyum içeren takviyeleri almadan önce, sizin için uygun olup olmadığını belirlemek için doktorunuza danışılması gerekir. Takviyeler çocukların erişemeyeceği yerlerde saklanmalıdır.

Vanadyum, tütün dumanının bir bileşenidir. Çocukların ve diğer aile üyelerinin maruziyetini sınırlamak için evinizin içi veya arabanız gibi kapalı alanlarda sigara içmekten kaçınılmalıdır.

İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA), vanadyum pentoksit tozu için iş günü boyunca aşılmaması gereken 0,5 miligram/metreküp (0,5 mg/m$^{3)}$ maruz kalma limiti belirlemiştir. İşyeri havasındaki vanadyum pentoksit buharları için de 0,1 mg/m$^3$ limiti belirlenmiştir.

**Çizelge 1.** V (Vanadyum) kirliliği olan maden bölgelerinde yapılmış literatürdeki bazı çalışmalar (mg/kg).

| **Örnekleme Bölgesi** | **V (mg/kg)** | **Kaynaklar** |
|---|---|---|
| Gana, Takwa altın maden alanı | 9.89 | Boamponsen vd., 2010. |
| ABD'de çelik fabrikası emisyonları | 19.05 | Kousehlar vd.,2021 |
| Çelik Endüstri işlemlerinde elementel bileşim | 49.33 | Mao vd., 2022. |

## KAYNAKÇA

Boamponsen, L.K., Adam, J.I., Dampare, S.B., Nyarko, B.J.B., Essumang, D.K. Assessement of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold min-ing area of Ghana using epiphytic lichens. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms 268, 1492–1501, 2010.

Castillejos, M., Borja-Aburto, V.H., Dockery, D.W., Gold, D.R., Loomis, D. Airborne coarse particles and mortality. Inhalation toxicology, 12, 61-71, 2000.

Commission of the European communities (2001) Commission Regulation (EC) 221/2002 of 6 February 2002 amending regulation (EC) No. 466/2002 setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs. Official journal of the European Communities, Brussels, 6 February, 2002

Chien, G., Crosby M.R., *Moss Flora of China-English Version*, Beijing, 1999.

Çetin, B., Checklist of the Mosses of Turkey. Lindbergia, 14, 15-23, 1988.

Dreher,K.L., Jaskot, R. H., Lehmann, J. R. Richards,J.H., McGee, J.K., Ghio,A.J., Costa, D.L. Soluble transition metals mediate residual oil induced acute lung injury. Journal of Toxicology and Environmental Health, 50, 285-305, 1997.

Fleischer, A. D. *Die Musci der Flora von Buitenzorg*, Milano, 2001.

Frey, W., Fram, P.J. *De Moos-und Farnpflanzen Europas*, New York, 1995.

Grodzinska, K., Monitoring of air pollutants by mosses and tree bark. In: Steubing, L., Jager, H. Eds.), Monitoring of air pollutants by plants-methods and problems. Proceedings of the International Workshop, Osnabrück, 24-25. IX. 1981. Dr. W. Junk Publ, The Hague, pp. 33-42, 1982.

Jaradat, Q.M., Monami,K.A., Contamination of roadside soil, plants and air with heavy metal in Jordan, in comparative study. Turkish Journal of Chemistry, 23, 209-220, 1999.

Kousehlar, M., Widom,E., Kuentz, D. Osmium isotope geochemistry of steel plant emissions using tree bark biomonitoring. *Environmental Pollution*, 272, 115976, 2021.

Koz. B., Cevik, U., Ozdemir, T., Duran, C., Kaya, S., Gundogdu, A., Celik, N., Analysis of Mosses along Sarp-Samsun Highway in Turkey. Journal of Hazardous Materials, 153, 1-2, 646-654, 2008.

Laden, F., Neas, L.M., Dockery, D.W., Schwartz, J., Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. Environmental Health Perspectives, 108, 941-947, 2000.

Mao, H.T., Wang, X.M., Wu, N., Chen, L.X., Yuan, M., Hu,J.C., Chen, Y.E. Temporal and spatial biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using moss bags in Xichang. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239, 113688, 2022.

Masadeh, A.M.,Snook, R.D. Determination of Pb and Cd in road dusts over the period in which Pb was removed from petrol in the U.K. Journal of Environmental Monitoring, 4, 567-572, 2002.

Mukherjee, B., Patra, B., Mahapatra, S., Banerjee, P., Tiwari, A., Chatterjee, M. Vanadium-An elementof atypical biological significance. Toxicology Letters, 150; 135-143, 2004.

Nyholm, E. Illustrated Moss Flora of Fennoscandia, Swedish Naturel S.R.C. Fasc. 1-6, 1981.

Rühling,A., Steinness, E. Atmosferic heavy metal deposition in Europa 1995-1996. NORD, 15, 1-66, 1998.

Schofield, B.W. Introduction to Bryology, 1985.

Smith, A.J.E. The Moss Flora of Britain and Ireland, Cambridge Univ. Press, London, 1980.

Smith, A.J.E. The Moss Flora of Britain and Ireland, Cambridge Univ. Press, London, 2004.

Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ansiklopedik Çevre Sözlüğü, Ankara, 2001.

www.cevreorman.gov.tr/moz, 15. Şubat.2006

www.epa.gov./lead/learn-about-lead, 02.06.2026

www.traceminerals.com./humanhealth.html, 15 Mart 2004

www. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts58.html#bookmark1, 03.06.2026

Watson, E. V. British Mosses and Liverworts, Cambridge Univ. Press, London, 1981.

Wolterbeek, B. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. Environmental Pollution, 120, 11-21, 2002.

Zechmeister, H.G., Grodzinska, K., Szarek-Lukaszewska , G.,. Bryophytes, In : Markert, B.a., Breure, A.M., Zechmeister, H.G.(Eds.), Bioindicators/Biomonitors (Principles, Assessment, Concepts). Elsevier, Amsterdam, pp. 329-374, 2003.

# DOĞA-ÇOCUK İLİŞKİSİNDE PEYZAJ ALGISININ TESPİT EDİLMESİNE YÖNELİK BİR ATÖLYE ÇALIŞMASI

**Dr. Öğr. Üyesi Gizem CENGİZ GÖKÇE**

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü.

gizemgokce@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9888-8623

**Gülennur ŞANLI**

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü.

gulnennursanli@subu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-3646-1875

**Nihal SARISOY**

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı.

nihal.onerr@hotmail.com, https://orcid.org/0009-0004-3823-8206

## ÖZET

Doğa sevgisi erken yaşta ailede başlamakta ve yaşam boyu devam etmektedir. Bu noktada, çocuklara doğa sevgisinin aşılanmasında doğa ve peyzaj eğitimi önem taşımaktadır. Peyzaj; fiziksel, sosyo-kültürel ve ekonomik olmak üzere çok boyutlu ve dinamik bir yapıya sahiptir. Zamana göre de değişim göstermektedir. Bu çalışmada; peyzajın sahip olduğu dinamik yapıya dair çocuklarda oluşan peyzaj algısının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, "Avrupa Konseyi Peyzaj Sözleşmesi İlkokullar İçin Peyzaj Eğitimi Faaliyetleri Pedagojik Kitapçığı"nda yer alan faaliyetler esas alınarak bir atölye kurgulanmıştır. Atölye kapsamında, bu kitapçıkta yer alan 6, 8 ve 23 No'lu faaliyetler uygulanmıştır. İlk aşama, arazi çalışmalarının ağırlıklı olduğu veri toplama aşamasıdır. Arazi çalışmalarına, hâlihazırda kayıtlı oldukları yaz orman okulunda doğa eğitimi almakta olan 9 adet ilkokul öğrencisi katılmıştır. Ön arazi çalışmalarıyla, öğrencilerin orman okulundaki eğitimleri sırasında kullanmakta oldukları güzergâh üzerinde; doğal ve kültürel peyzaj özellikleri bakımından çeşitlilik gösteren 4 adet durak noktası belirlenmiştir. Öğrenciler bu durak noktalarında, kendilerine dağıtılan karton çerçeveler ile belirledikleri görünümlere ait skeçler çizmiştir. Daha sonra başlangıç noktasına dönerek, kendilerine dağıtılan şablon üzerinde yaptıkları çizimler ve aldıkları notlarla 23 No'lu faaliyet esasında birer peyzaj albümü oluşturmuşlardır. Çalışma kapsamında, bu albümler analiz edilerek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; çalışmada doğa temelli eğitimin yaygınlaştırılmasıyla peyzaj algısının artarak gelişeceği üzerinde durulmuştur. Bu husus, doğal ve kültürel kaynakların sürdürülebilirliği bağlamında farkındalığın oluşturulması için önem taşımaktadır. Çalışmada; doğa temelli eğitimin erken çocukluk döneminde başlayıp ilkokul ve

ileri yaşlarda devam ettirilmesinin, sürdürülebilir toplumların oluşturulması üzerindeki rolü ve önemine yönelik öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Peyzaj eğitimi, peyzaj algısı, sürdürülebilirlik, görsel peyzaj değeri.

## A WORKSHOP ON DETECTION OF LANDSCAPE PERCEPTION IN NATURE-CHILD RELATIONSHIP

## ABSTRACT

Love for nature begins in the family at an early age and continues throughout life. In this regard, nature and landscape education is crucial in instilling a love of nature in children. Landscape is a multi-dimensional and dynamic structure encompassing physical, socio-cultural, and economic aspects, and it also changes over time. This study aims to identify children's perceptions of landscapes, given its dynamic nature. To this end, a workshop was designed based on the activities outlined in the "Council of Europe Landscape Convention Pedagogical Booklet on Landscape Education Activities for Primary Schools." Activities 6, 8, and 23 from this booklet were implemented within the workshop. The first stage was the data collection phase, primarily focused on fieldwork. Nine primary school students currently enrolled in a summer forest school for nature education participated in the fieldwork. Through preliminary fieldwork, four stopping points were identified along the route used by the students during their forest school education, exhibiting diverse natural and cultural landscape characteristics. At these stopping points, students drew sketches of the landscapes they had identified using cardboard frames distributed to them. Then, returning to the starting point, they created landscape albums based on Activity No. 23, using drawings and notes made on the templates provided. These albums were analyzed and evaluated within the scope of the study. In conclusion, the study emphasizes that landscape perception will improve with the widespread adoption of nature-based education. This is important for raising awareness in the context of the sustainability of natural and cultural resources. The study also presents suggestions regarding the role and importance of nature-based education, starting in early childhood and continuing through primary school and later years, in creating sustainable societies.

**Keywords:** Landscape education, landscape perception, sustainability, visual landscape value.

## 1. GİRİŞ

Erken çocukluk dönemi doğumla başlayıp sekiz yaşa kadar süren, insan yaşamı boyunca gelişim ve öğrenmenin en hızlı olduğu dönem olarak tanımlanır (UNESCO, 2026). Bu dönem, insanın gelişimsel yolculuğunda adeta bir "hamur" evresi olarak nitelendirilebilir. Bu evrede çocuğun zihinsel, duygusal ve sosyal yapısına eklenen her bir etken, onun yetişkinlikteki karakterini ve yaşam tarzını belirleyen temelleri oluşturur. Okul öncesi ve ilkokul yıllarını kapsayan erken çocukluk dönemi, çocukların hayat boyu izleyeceği yolun rotasını çizeceği etkin bir dönemdir (Bredekamp, 2015).

Özelikle ilkokul çağını kapsayan 6-11 yaş aralığı, çocuğun hala somut nesneler ve doğrudan deneyimler üzerinden öğrenme gerçekleştirdiği bir süreçtir (Piaget, 1964). Bu dönemde çocuk, soyut kavramları anlamakta güçlük yaşar; bilgiyi içselleştirebilmesi için fiziksel bir etkileşime ve gözleme ihtiyaç duyar. Bu bağlamda doğa, çocuğun tüm duyularına hitap eden en iyi ve en doğru öğrenme laboratuvarıdır (Kuo, Browning ve Penner, 2018). Doğada aktif olarak zaman geçiren, toprağa, bitkiye ve ekosisteme temas eden çocuk; neden-sonuç ilişkilerini gözlem yoluyla öğrenmiş olur.

Doğa ile kurulan bu erken temas, bilişsel gelişimin bir sonraki aşaması olan soyut işlemler dönemi (11+ yaş) için sağlam bir zemin hazırlar. Küçük yaşlarda doğayı somut bir şekilde deneyimleyen birey, ergenlik dönemiyle birlikte kazandığı üst düzey düşünme becerileri sayesinde "ekolojik denge", "sürdürülebilirlik" ve "çevre etiği" gibi soyut kavramları anlamlandırabilir. Çocukluktaki fiziksel etkileşim, yetişkinlikteki entelektüel farkındalığa ve doğayı koruma bilincine dönüşür (Piaget, 1964).

Çocuğun potansiyelini gerçekleştirmesinde okul ortamı, sadece akademik bilginin yer aldığı değil, yaratıcılığın geliştiği bütüncül bir sistemdir. Günümüz eğitim yaklaşımları göstermektedir ki; çocuğun özgürce deneyimleyebildiği, merak duygusunun geliştiği ortamlar, yaratıcı düşünme becerilerini en üst seviyeye taşımaktadır. Bu bağlamda, eğitim ortamı ve sunulan imkânlar niteliği, çocuğun dünyayı algılama biçimini doğrudan etkilemektedir (Temiz ve Karaarslan Semiz, 2019).

Doğa ile bir arada yetişen çocuklar, kendilerini ifade etme ve olaylara yaklaşım konusunda farklı bir farkındalık sergilerler. Doğa temelli eğitim, çocuğa sadece çevre bilinci aşılamakla kalmaz; aynı zamanda: Sebep-sonuç ilişkisini gözlemleyerek sorun çözme kabiliyeti kazandırır. Doğal bir laboratuvar olan doğada estetik algısı gelişir ve entelektüel bakış açısı kazandırır. Duygularını ifade etme konusunda çocuğa yardımcı olur ve empati duygusunu geliştirir.

Dijital anlamda yoğun bir ortamda büyüyen günümüz çocukları için doğa, kritik bir denge unsuru haline gelmiştir. Erken yaşta doğa temelli eğitim yaklaşımıyla tanışan bireyler, ilgi alanları ve hobileri aracılığıyla yaşam standartlarını yükseltme potansiyeline sahiptirler. Ekran bağımlılığının getirdiği sınırlı bakışın aksine, kazandıkları geniş vizyon sayesinde akranlarından bir adım önde yer alırlar. Bu sebeple eğitim sistemlerinde güncellemeye gidilerek; dört duvar arasından çıkıp doğanın bizlere sunmuş olduğu geniş bakış açısıyla öğrenme sistemine gidilmesi gerekir.

Erken çocukluk dönemi sürdürülebilir bir yaşamı teşvik etmede psikolojik, duygusal, sosyal ve bilişsel olarak elverişli bir dönemdir (Samuelsson ve Kaga 2008).

Günümüz çocukları iklim değişikliğinin belirgin şekilde hissedildiği, yaşam standartlarında düşüşün olduğu, çevre kirliliğinin arttığı, flora ve founa türlerinin gün geçtikçe neslinin tükendiği bir dünyada yetişmektedir. Çocukları sürdürülebilir bir yaşam şeklini benimsemeleri için eğitim alanına doğa temelli yaklaşımı ekleyerek desteklememiz gerekmektedir. Bunun için oluşturulan Sürdürülebilir Kalkınma (SK) hareketi yol gösterici olacaktır (Hedefalk, Malmqvist & Östman, 2015).

Sürdürülebilir kalkınma, küresel ölçekte doğal kaynakların hızla tükenmesi ve iklim krizinin derinleşmesiyle birlikte, modern planlama disiplinlerinin merkezine yerleşmiş bütüncül bir harekettir (Yıkmaz, 2011). Bu yaklaşım; çevresel koruma, toplumsal adalet ve ekonomik verimliliği bir bütün olarak ele almaktadır. Özellikle ekosistem hizmetlerinin korunması ve kentsel dirençliliğin artırılması bağlamında sürdürülebilirlik, sadece bir çevre politikası değil, aynı zamanda gelecek nesillerin yaşam kalitesini güvence altına alan bir bakış açısına sahiptir (WCED, 1987).

Sürdürülebilir çevre bilinci; toplum, okul ve aile arasındaki güçlü işbirliğine dayanmaktadır. Çevre eğitimi, teorik bir veri aktarımının ötesinde; kişisel, ahlaki, etik ve ekonomik boyutları olan bütüncül bir süreci kapsamaktadır (Akbaş vd., 2021). İnsanın doğaya karşı içgüdüsel bir merakı bulunmasına rağmen, hızla artan kentleşme ve teknolojik gelişim bireyleri doğal ortamlardan uzaklaştırmaktadır. Çocukluk döneminde kazanılan doğa deneyimleri, yetişkinlik döneminde bilişsel ve duygusal olarak kalıcı hatıralar bırakmaktadır. Bu bağlamda doğa temelli öğrenme yaklaşımı, sadece bugünü değil, bireyin yetişkinlikteki bakış açısını ve çevresel tutumlarını da şekillendirmektedir (Wilson, 2008).

Doğada geçirilen vaktin çocuk gelişimi üzerindeki biyopsikososyal etkileri incelendiğinde, doğal ortamların hem bedensel bir rehabilitasyon alanı hem de güçlü bir psikolojik dengeleyici işlevi gördüğü gözlemlenmektedir. Kapalı mekânların kısıtlayıcı yapısından uzaklaşan çocukların, açık alanlarda fiziksel enerjilerini kontrollü bir biçimde boşaltmaları stres seviyelerini düşürmektedir. "Dikkat Yenileme Teorisi" çerçevesinde ele alınan doğa etkileşimi, zihinsel yorgunluğu azaltırken dikkat süresini artırmakta; bu durum ise dikkat eksikliği, anksiyete ve kaygı bozukluğu gibi sorunların hafiflemesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, doğanın sunduğu duyusal zenginlik ve serbest oyun imkânı, çocukların duygusal regülasyon becerilerini güçlendirerek daha dayanıklı ve odaklanmış bir ruhsal yapıya kavuşmalarına olanak tanımaktadır (Berman, Jonides ve Kaplan, 2008).

Doğa temelli eğitim yaklaşımı, çocukların çevrelerini yalnızca gözlemleyen bireyler olarak değil, doğrudan deneyimleyerek öğrenen aktif katılımcılar olarak gelişmelerini desteklemektedir. Bu nedenle araştırma kapsamında çalışma alanı olarak, çocukların düzenli olarak doğa ile etkileşim kurabildiği ve açık hava eğitim faaliyetlerinin yürütüldüğü bir yürüyüş güzergâhı tercih edilmiştir. Doğal ve kültürel peyzaj bileşenlerini bir arada barındıran bu alan, çocukların çevrelerini algılama biçimlerini ortaya koymak açısından uygun bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir yaşam anlayışının erken yaşlarda kazandırılmasının önemi giderek artarken, doğa temelli eğitim uygulamalarının çocukların çevresel

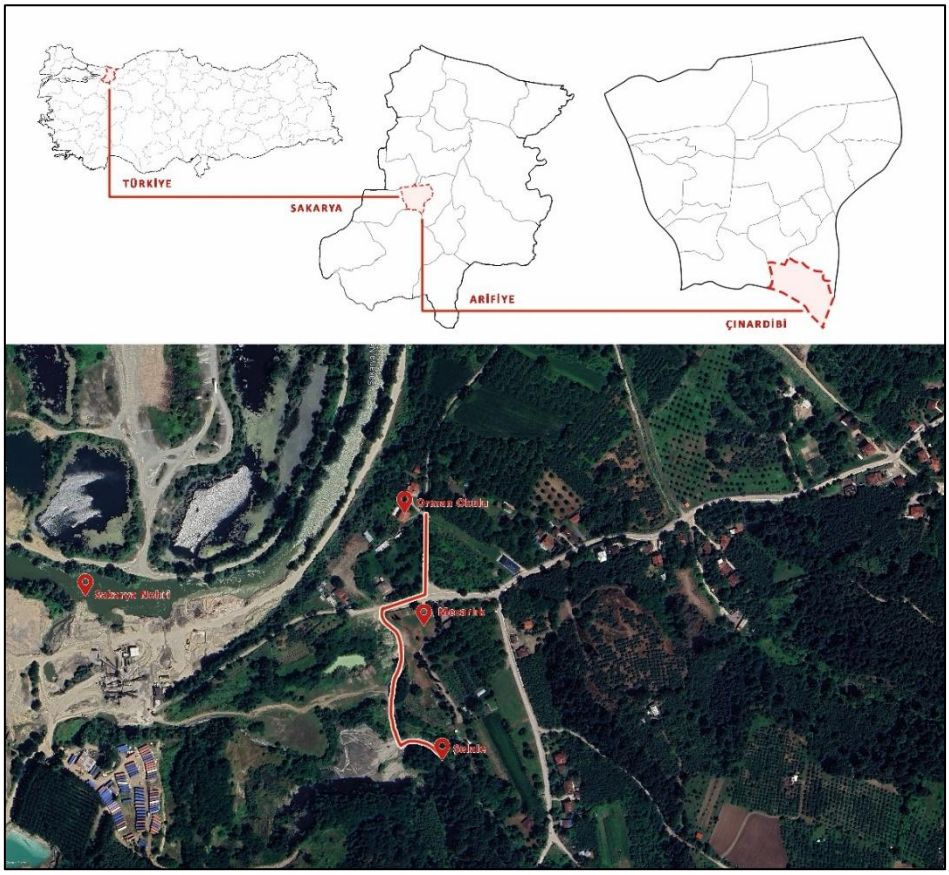
farkındalıklarının geliştirilmesindeki rolünün ortaya konulması da önem taşımaktadır. Bu çalışmada, peyzajın sahip olduğu dinamik yapıya ilişkin çocuklarda oluşan peyzaj algısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Avrupa Konseyi Peyzaj Sözleşmesi İlkokullar İçin Peyzaj Eğitimi Faaliyetleri Pedagojik Kitapçığı'nda yer alan etkinlikler temel alınarak bir atölye çalışması kurgulanmış ve çocukların doğrudan deneyimledikleri peyzajları nasıl algıladıkları, yorumladıkları ve temsil ettikleri değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, çocuklarda peyzaj farkındalığının geliştirilmesi ve doğa temelli öğrenme yaklaşımlarının desteklenmesi yoluyla Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle, Nitelikli Eğitim (SKA 4) kapsamında sürdürülebilir kalkınma için gerekli bilgi, beceri ve farkındalıkların kazandırılmasına katkı sağlamakta; İklim Eylemi (SKA 13) ve Karasal Yaşam (SKA 15) kapsamında ise çocukların doğal çevre ile bağ kurmalarını destekleyerek çevresel sorumluluk ve ekolojik bilinç geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca doğa temelli eğitim uygulamalarının çocukların fiziksel ve psikolojik iyi oluşlarına katkısı göz önünde bulundurulduğunda çalışma Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam (SKA 3) ile; çevresel farkındalığın sürdürülebilir toplulukların oluşumundaki rolü dikkate alındığında ise Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar (SKA 11) ile etkileşim içerisindedir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini; Sakarya ili Arifiye ilçesi Çınardibi mahallesinde yer alan, 370 m'lik yürüyüş güzergâhı oluşturmaktadır. Mahalle 40°39'35.3" Kuzey enlemi ile 30°22'55.2" Doğu boylamında olup ve yaklaşık 44.230 m²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Çalışma alanı; şehir merkezine 25 km, ilçe merkezine ve Yüksek Hızlı Tren (YHT) garına ise 16 km mesafede konumlanmaktadır. Havza özellikleri bakımından Sakarya Nehri'ne kıyısı bulunmaktadır. Çalışma alanı ve yürüyüş rotasının ülke, il, ilçe ve mahalle sınırları içindeki konumu Görsel 1'de verilmiştir.

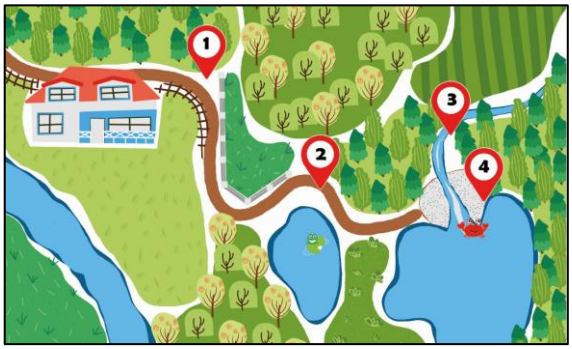



**Görsel 1. Çalışma Alanı ve Yürüyüş Rotasının Ülke, İl, İlçe ve Mahalle Sınırları İçindeki Konumu, 2026**

### 2.2. Yöntem

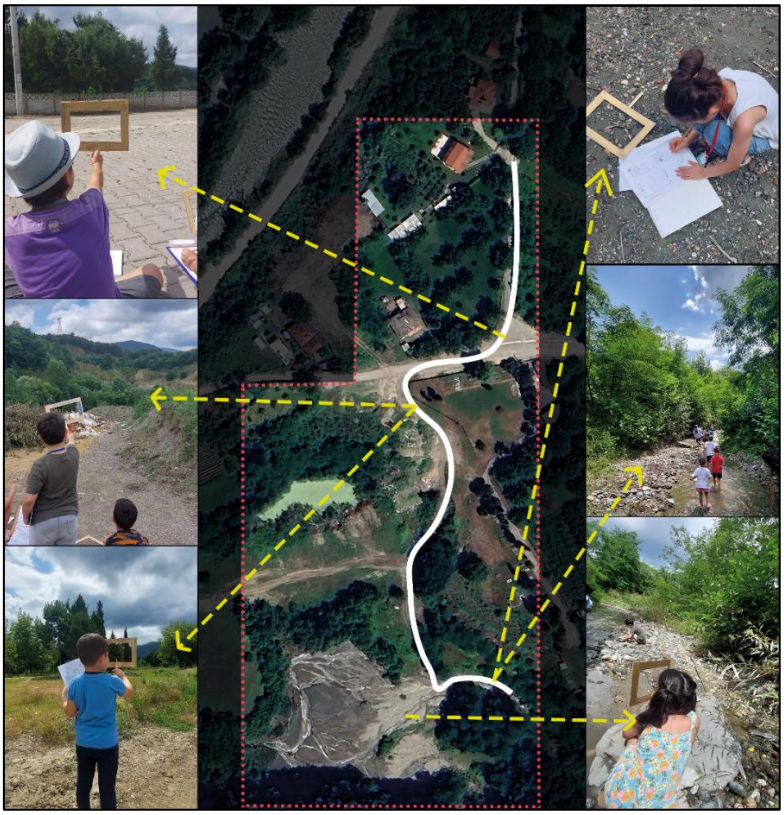
Bu çalışmanın yöntemi, Avrupa Konseyi Peyzaj Sözleşmesi İlkokullar İçin Peyzaj Eğitimi Faaliyetleri Pedagojik Kitapçığı (Avrupa Konseyi, 2021) esas alınarak oluşturmuştur. Buna göre; Sakarya-Arifiye ilçesi Çınardibi mahallesinde bulunan bir Orman Okulu'nun yaz programına kayıtlı 9 adet ilkokul öğrencisinin katılımıyla bir atölye kurgulanmıştır. Kitapçıkta yer alan 6 No'lu "Peyzajı hissetmek" faaliyeti ile 8 No'lu "Göründüğü gibi midir?" faaliyeti entegre edilmiştir. Arazi çalışmaları; öğrencilerin hali hazırda doğa eğitimi aldıkları, Orman Okulu Orman Pedagojisi eğitmeni tarafından belirlenen ve kontrolü sağlanan güzergâh üzerinde yapılmıştır. Bu güzergâh doğal ve kültürel peyzaj özellikleri bakımından da çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik de göz önünde bulundurularak güzergâh üzerinde 4 adet durak noktası belirlenmiştir.

Öğrencilerin ilgisini çekecek ve kolaylıkla anlayabilecekleri şekilde alanın krokisi hazırlanmış; seçilen durak noktaları kroki üzerine işlenmiştir. Bu kroki, öğrenciler için yönlendirici bir harita niteliği taşımaktadır. Çalışma alanına ait kroki ve durak noktaları Görsel 2'de verilmiştir.




**Görsel 2. Çalışma Alanına Ait Kroki ve Durak Noktaları.**

Öğrencilere araziye çıkmadan önce çalışmaya ilişkin bilgilendirme yapılmış ve peyzaj kavramını kendi bakış açılarıyla tanımlayabilmeleri amacıyla birer karton çerçeve ile çizim yapacakları skeç şablonları dağıtılmıştır. Öncelikle, her bir durak noktasında öğrencilere alan ile ilgili bilgi verilmiştir. Durak noktalarında öğrencilerden, çerçeveyi kullanarak kendi belirledikleri ve gördükleri peyzajı/manzarayı değerlendirme kâğıtlarında yer alan ilgili kare boşluklara gördükleri ve algıladıkları kadarıyla çizmeleri istenmiştir. Görsel 3'te yürüyüş güzergâhı ve durak noktalarında çizim yapan öğrencilerden görünümler verilmiştir.

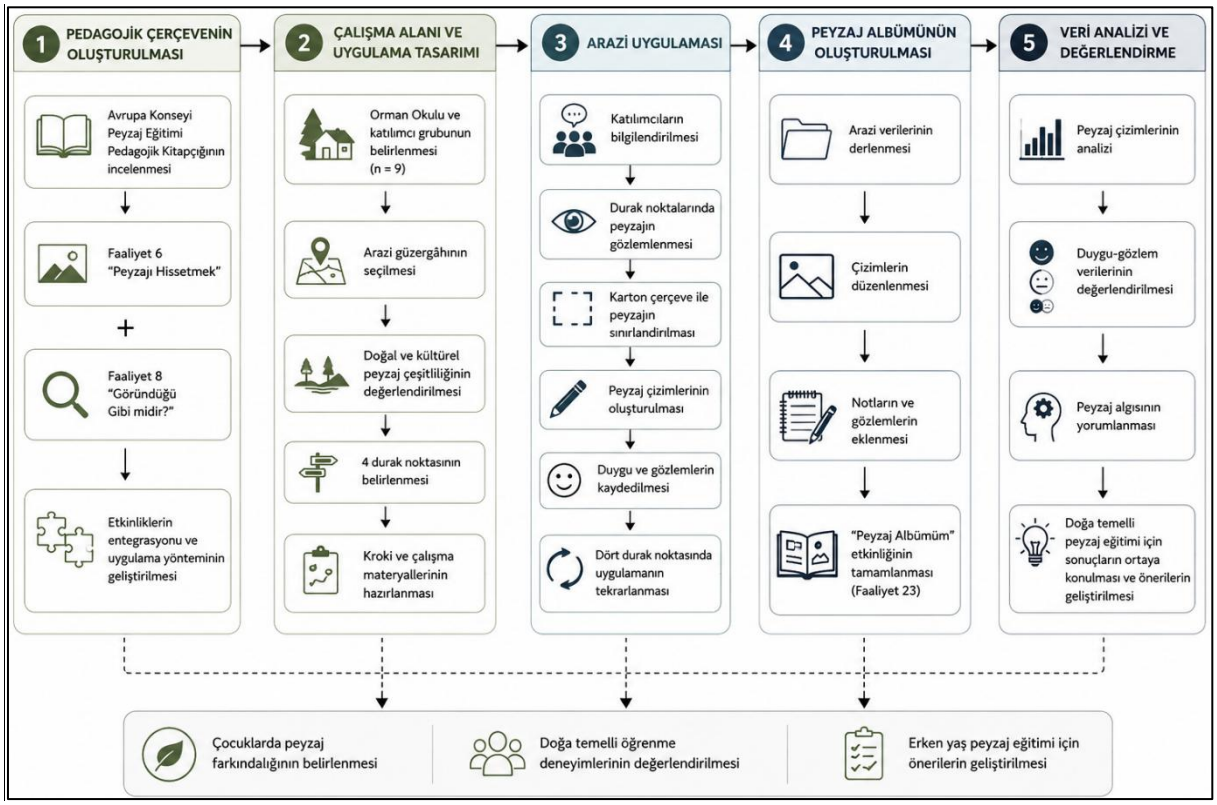


**Görsel 3. Yürüyüş Güzergâhı ve Durak Noktalarında Çizim Yapan Öğrencilerden Görünümler, 2026**

Öğrencilerden aynı zamanda, her bir durak noktasına ilişkin gözlem ve hislerini çizim şablonunda yer alan "duygu-gözlem bölmesi" üzerinde işaretlemeleri istenmiştir. Bu, öğrencilerin mekânsal deneyimlerinden doğan duygu durumlarını görselleştiren bir duygu

durum grafiği oluşturmak amacıyla analiz edilmiştir. Bu uygulama güzergâh üzerinde belirlenen 4 durak noktası için de tekrarlanmıştır.

Arazi çalışması tamamlandıktan sonra başlangıç noktasına geri dönülerek, yapmış oldukları çizimler ve aldıkları notlarla, Avrupa Konseyi Peyzaj Sözleşmesi İlkokullar İçin Peyzaj Eğitimi Faaliyetleri Pedagojik Kitapçığı'nda yer alan 23 No.lu "Peyzaj albümüm" faaliyetine uygun olarak birer peyzaj albümü oluşturmaları istenmiştir. Çalışmada izlenen yol ve yönteme ilişkin akış şeması Görsel 4'te verilmiştir. Arazi çalışmalarında elde edilen tüm veriler ve bu sonuç ürünler analiz edilip değerlendirilerek doğa temelli eğitimin erken yaşlarda başlatılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.




**Görsel 4. Çalışmanın Yöntemine İlişkin Akış Şeması.**

## 3. BULGULAR

Çalışma alanı olan Çınardibi Mahallesi; geçmişte köy statüsünde olup 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle mahalle statüsüne geçmiştir. Yoğun kentleşme baskısından uzak, doğal karakterini koruyan çalışma alanı; Sakarya Nehri ile olan kıyı sınırı nedeniyle özgün bir ekosisteme sahiptir. Bu bağlamda alanın; nehir kıyısına özgü taşlık yapısı ve suya dayanıklı bitki vejetasyonu bulunmaktadır. Peyzaj özellikleri bakımından çeşitlilik gösteren çalışma alanında bulunan yürüyüş güzergâhı üzerinde belirlenen durak noktalarına ait panoramik görüntüler ve bu durak noktalarında yapılan çizimler sırasıyla Çizelge 1, 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

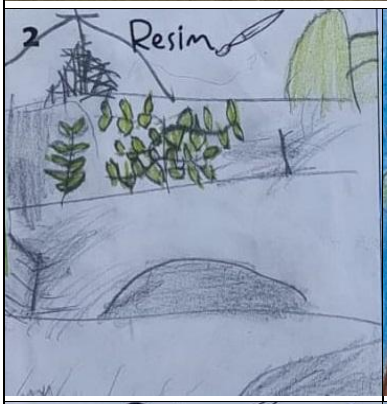
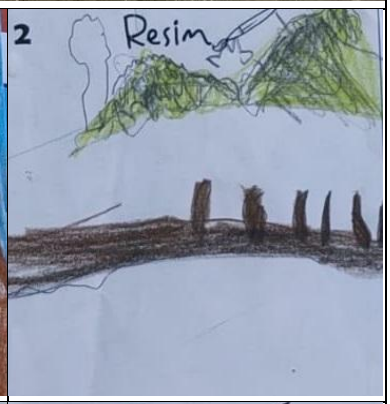
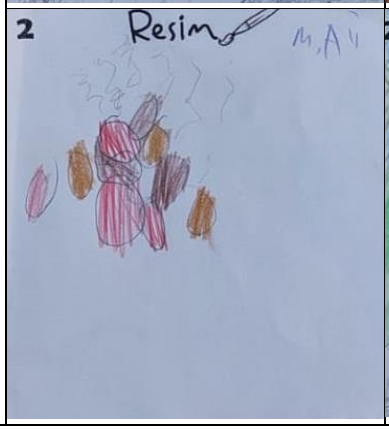
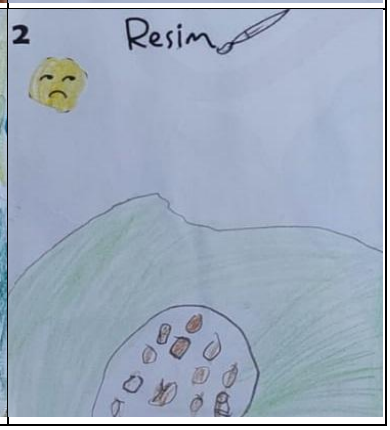
**Çizelge 1. 1 No'lu durak noktasının panoramik görüntüsü ve o noktada yapılan çizimler.**

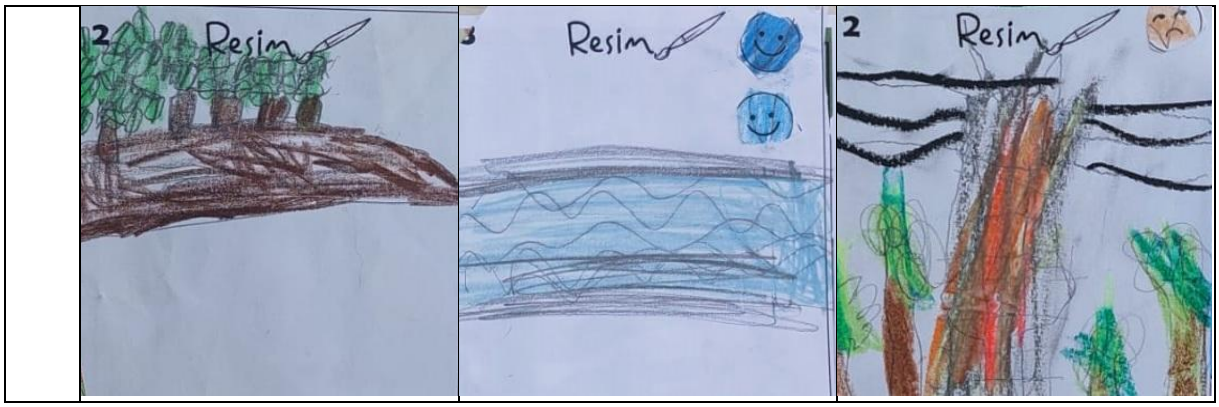
| | |
|---|---|
| **DURAK 1** |   |

1 No'lu durak noktası, düz bir topoğrafya üzerinde iki sokağın kesişiminde yer almaktadır. Yürüyüş güzergâhı üzerindeki ilk yol ayrımını oluşturması nedeniyle geniş bir görüş açısına sahiptir. Durak noktasının yakın çevresinde mezarlık ve tarım arazileri bulunmaktadır. Bu durum, alanın hem doğal hem de kültürel peyzaj ögelerini bir arada barındırmasına olanak

sağlamaktadır. Öğrencilerin karton çerçeveler aracılığıyla belirlediği manzaralar/görünümler farklılık gösterdiğinden elde edilen çizimler ve içerdikleri peyzaj ögeleri de farklılık göstermiştir. Çizelge 1'de verilen çizimlerin çoğunluğu 1 No'lu durak noktasında yer alan vejetasyonu içermektedir. Kimi öğrenci çiziminde yerleşim yerleri, yollar ve sınır elemanları gibi kültürel peyzaj ögelerine yer verirken kimisinin çizimi yalnızca doğal peyzaj ögelerinden oluşmaktadır. Bu doğa algısının kişiden kişiye değişiklik gösterebileceğinin göstergesidir.

**Çizelge 2. 2 No'lu durak noktasının panoramik görüntüsü ve o noktada yapılan çizimler.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DURAK 2** |  | | |
| |  |  |  |
| |  |  |  |



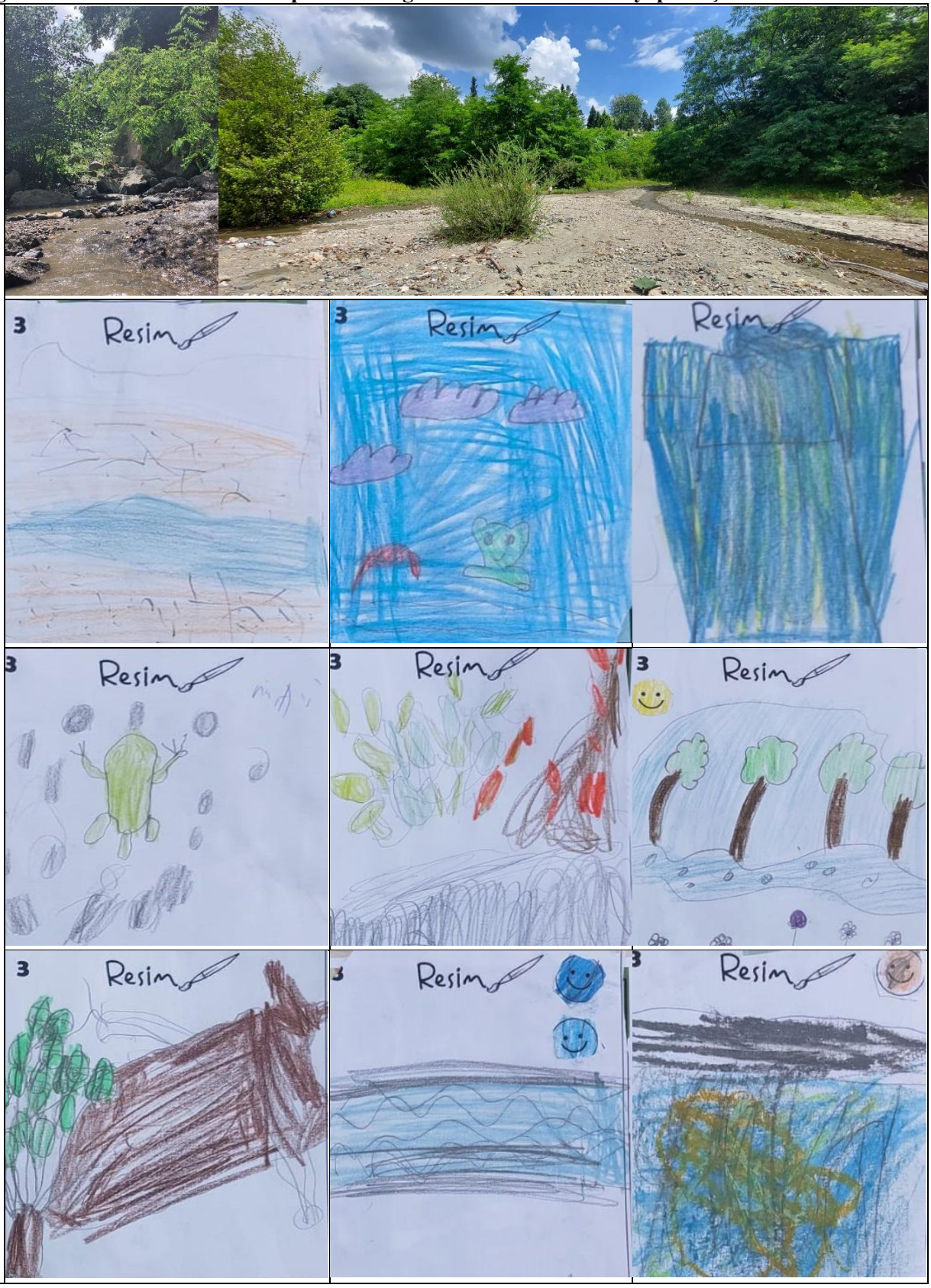

2 No'lu durak noktası, yürüyüş güzergâhının bütüncül olarak algılanabildiği, geniş görüş açısına sahip bir konumda yer almaktadır. Durak noktasının doğusunda kontrolsüz depolama faaliyetlerine bağlı olarak oluşmuş hafriyat ve evsel atık alanları bulunurken, batısında daha düşük kotta yer alan bir su birikintisi dikkat çekmektedir. Toprak zemin karakterine sahip olan alan, alan, farklı vejetasyon katmanlarının ve doğal çevre unsurlarının algılanabildiği açık bir peyzaj karakteri sunmaktadır. Çizelge 2'de yer alan ikinci durak noktasına ait çizimler, ilk durak noktasına göre daha belirgin bir şekilde arazinin topoğrafik yapısı, açık alan karakteri ve mekânsal derinliği üzerine odaklanıldığını göstermektedir. Panoramik görüntü incelendiğinde durak noktasının geniş görüş açısına sahip olduğu, vejetasyonla çevrili açık bir alan niteliği taşıdığı ve belirgin yükselti farklılıkları içerdiği görülmektedir. Öğrenci çizimlerinde de bu durumun yansıması olarak tepe formu, eğimli arazi, ufuk çizgisi ve bitki örtüsü sıklıkla temsil edilmiştir. Çizimlerin bir kısmında gökyüzü, bulutlar ve arazi yüzeyi gibi temel peyzaj bileşenleri öne çıkarken, bazı öğrenciler belirli bitki gruplarını veya alanın belirgin doğal karakterini detaylandırmayı tercih etmiştir.

Çizimler arasında dikkat çeken bir diğer unsur, öğrencilerin aynı manzaraya bakmalarına rağmen farklı peyzaj ögelerini ön plana çıkarmış olmalarıdır. Bazı öğrenciler vejetasyon dokusunu ayrıntılı biçimde betimlerken, bazıları topoğrafyayı temsil eden eğimli yüzeyleri veya alan içerisindeki belirgin sınır çizgilerini öne çıkarmıştır. Bir öğrencinin çiziminde su ögesine yer vermesi, bir diğerinin ise yalnızca bitki örtüsünü ve renk geçişlerini yansıtması, peyzaj algısının bireysel deneyim ve dikkat düzeyine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Özellikle çizimlerde kültürel peyzaj ögelerinin oldukça sınırlı yer alması, öğrencilerin bu durak noktasını ağırlıklı olarak doğal karakteriyle algıladıklarına işaret etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 2 No'lu durak noktasında yapılan çizimler öğrencilerin peyzajı yalnızca fiziksel bir görünüm olarak değil, farklı bileşenlerden oluşan bütüncül bir çevre olarak algıladıklarını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte çizimlerde doğal peyzaj unsurlarının baskın olması, doğa temelli eğitim ortamlarının çocukların çevresel farkındalıklarını geliştirmede etkili olduğunu ve özellikle vejetasyon, topoğrafya ve açık alan karakteri gibi peyzaj bileşenlerinin çocukların zihinsel temsillerinde güçlü bir yer edindiğini göstermektedir.

Son olarak, ilk durak noktasında öğrenciler daha çok tekil nesneleri (ağaç, ev, yol vb.) çizerken, burada bazı öğrencilerin mekânın genel formunu (tepe, arazi eğimi, ufuk çizgisi, bitki dokusu) çizmeye başlaması, peyzajı parçalar halinde değil bir bütün olarak algılamaya başladıklarının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

**Çizelge 3. 3 No'lu durak noktasının panoramik görüntüsü ve o noktada yapılan çizimler.**

| | |
|---|---|
| **DURAK 3** |   |

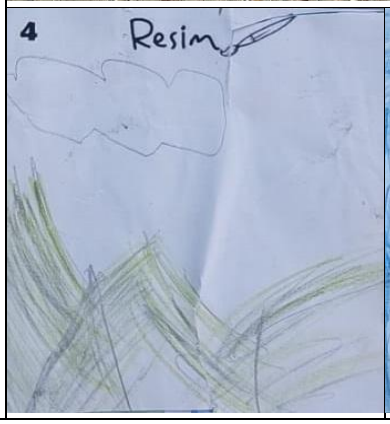
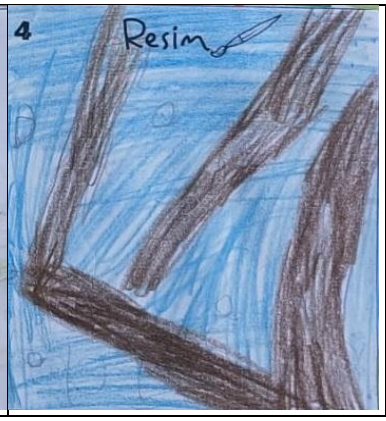
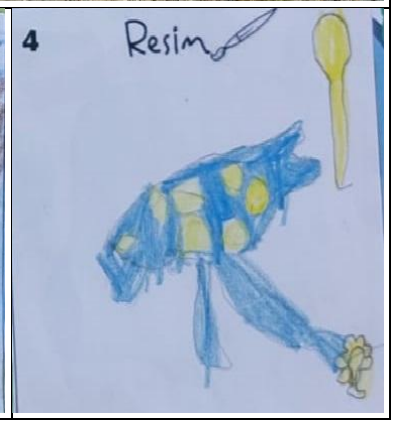
3 No'lu durak noktası, taşlık zemin yapısına sahip doğal bir su yatağı içerisinde yer almaktadır. Yoğun vejetasyonla çevrili alan kapalı bir mekânsal karakter sergilemektedir. Bu nedenle görüş

mesafesi ve gökyüzü algısı önemli ölçüde sınırlanmaktadır. Su yatağının orman dokusu içerisinde devam eden bölümlerinde küçük bir şelale oluşumu gözlemlenmektedir. Çizelge 3'te yer alan öğrenci çizimleri incelendiğinde, 3 No'lu durak noktasında baskın olarak doğal peyzaj ögelerinin algılandığı görülmektedir. Alanın yoğun vejetasyon dokusuna sahip olması nedeniyle öğrencilerin büyük çoğunluğu çizimlerinde ağaç, çalı, yaprak, çiçek, gökyüzü ve su gibi doğal unsurlara yer vermiştir. Bazı çizimlerde belirli bir peyzaj elemanının ayrıntılı biçimde betimlendiği, bazılarında ise genel peyzaj kompozisyonunun çizildiği görülmektedir. Özellikle yaprak, ağaç ve su yüzeyi gibi ögelerin tekrar eden biçimde temsil edilmesi, bu unsurların çocukların dikkatini çeken baskın peyzaj bileşenleri olduğunu göstermektedir.

Çizimlerde kültürel peyzaj ögelerine çok sınırlı düzeyde rastlanmış, öğrencilerin büyük çoğunluğu çevreyi doğal karakteriyle algılamış ve yansıtmıştır. Bununla birlikte aynı mekânda bulunmalarına rağmen öğrencilerin bazıları geniş peyzaj görünümünü çizerken bazıları belirli canlılara, bitkilere veya renk unsurlarına odaklanmıştır. Bu durum çocukların çevreyi algılama süreçlerinde seçici dikkat mekanizmasının etkili olduğunu ve peyzaj algısının bireysel deneyimler, ilgi alanları ve gözlem tercihleri doğrultusunda farklılaşabildiğini göstermektedir.

Ayrıca bazı çizimlerde peyzajın mekânsal bütünlüğünden ziyade tekil doğal ögelerin ön plana çıkarılması, çocukların doğayla kurdukları ilişkinin yalnızca mekânsal değil aynı zamanda nesne ve canlı odaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, doğal karakteri yüksek alanlarda çocukların peyzajı öncelikle biyotik unsurlar üzerinden tanımlama eğiliminde olduklarını göstermektedir.

**Çizelge 4. 4 No'lu durak noktasının panoramik görüntüsü ve o noktada yapılan çizimler.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DURAK 4** |  | | |
| |  |  |  |




4 No'lu durak noktası dere yatağı içerisinde yer alan kumlu-çakıllı bir zemin üzerindedir. yürüyüş rotasının ilk iki durağına kıyasla alt kotta yer alan düze yakın bir topoğrafyaya sahiptir. Dört tarafında vejetasyonla kaplı yamaçlar bulunur. Dördüncü durak noktasına ait çizelge 4'te yer alan çizimler incelendiğinde, çocukların peyzajı algılayış biçimlerinin önceki duraklara kıyasla daha seçici ve odaklanmış olduğu görülmektedir. Durak alanının geniş bir dere yatağı, çakıl zeminli açık alanlar, yoğun bitki örtüsü ve su ögelerini bir arada içermesi, çocukların çizimlerinde belirli doğal ögelerin öne çıkmasına neden olmuştur.

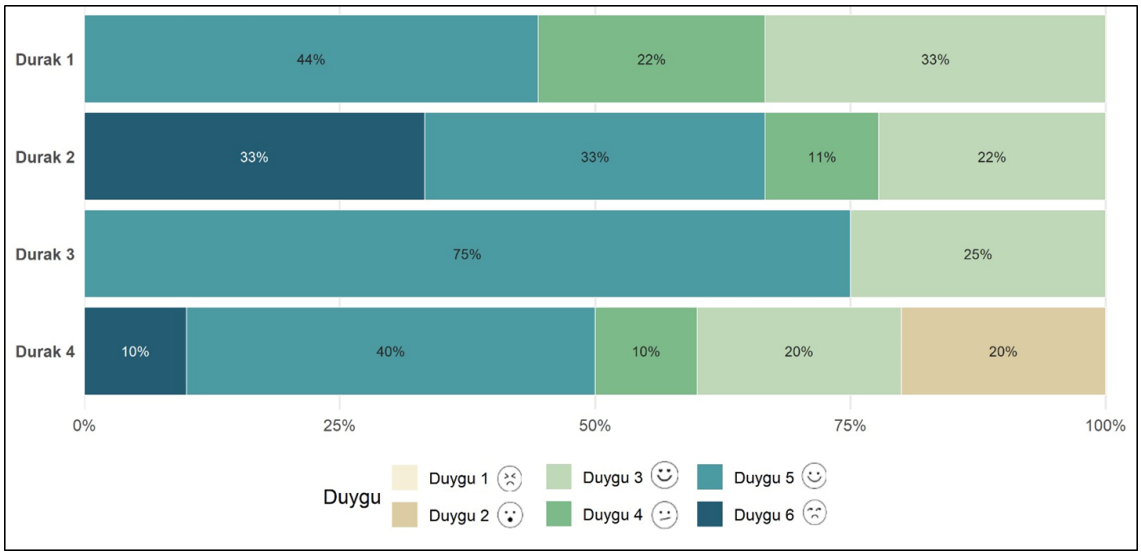
Bu durakta yapılan çizimlerde en sık tekrar eden unsurların bitkiler (Ağaç/ağaççık), su yüzeyi, zemin malzemesi (Taş/toprak) ve gökyüzü olduğu görülmektedir. Bazı çocukların çizimleri; içinde bulundukları peyzajın tamamını temsil etmek yerine tek bir bitkiyi, su kıyısını veya belirli tek bir doğal nesneyi merkeze almıştır. Bu durum, çocukların çevreyi bütüncül bir manzara olarak algılamaktan çok, dikkatlerini çeken belirgin ögeler üzerinden okuyup anlamlandırdıklarını göstermektedir.

Çizimlerde mavi ve yeşil renklerin yoğun kullanımı, çocukların mekânı öncelikle doğal ve ekolojik özellikleriyle algıladıklarına işaret etmektedir. Özellikle suyun dalgalı çizgilerle ve geniş alanlar kaplayacak şekilde çizilmesi, dere unsurunun mekânsal deneyimde baskın bir rol oynadığını düşündürmektedir. Benzer şekilde bitkilerin (Ağaç/ağaççık) büyük ölçekli ve merkezi konumlarda çizilmesi, bitkisel elemanların çocukların dikkatinde güçlü bir yer tuttuğunu göstermektedir.

İnsan figürlerinin sınırlı düzeyde yer alması ise çocukların bu durakta sosyal unsurlardan çok ekolojik ve doğal peyzaj bileşenlerine odaklandıklarını düşündürmektedir. Genel olarak

çizimler, çocukların bu mekânı doğal çevre özellikleriyle hatırladıklarını ve peyzaj algılarında su–bitki örtüsü ilişkisinin baskın bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Katılımcı öğrencilerin peyzaj durak noktalarında hissettiklerini belirttikleri duygu ifadelerine göre bir duygu-durum grafiği oluşturulmuştur. Durak noktalarına göre oluşturulan duygusal algı dağılımı grafiği Görsel 5'te verilmiştir. Verilen yanıtlara göre oluşturulan grafik analiz edildiğinde, öğrencilerin mekânla kurdukları duyusal bağın niteliği görülmektedir. Uygulama sürecinde öğrencilerin alandaki peyzaj ögelerini ayırt etme, anlamlandırma ve yorumlama becerilerinin geliştiği; bu durumun doğaya yönelik farkındalık ve çevresel perspektif üzerinde olumlu bir değişim yarattığı gözlemlenmiştir. Alandaki ögelerin fark edilmesi ve yorumlanması aracılığıyla üretilen bu görsel çıktılar, öğrencilerin doğaya yönelik bakış açılarının gelişimine ve mekânsal bilinç kazanmalarına katkı sağlamıştır.




**Görsel 5. Durak Noktalarına Göre Duygusal Algı Dağılımı**

Duygu durum grafiği verilerine göre; *Durak 1* ve *Durak 3*, çocukların mekânsal deneyiminde mutluluk ve ilgi odaklı noktalar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Durak 3'te çocukların su ögesiyle doğrudan etkileşime geçmeleri, su içerisinde yürümeleri ve akan suyun fiziksel etkilerini deneyimlemeleri, alanın olumlu duygularla ilişkilendirilmesinde etkili olmuştur. Doğal peyzaj unsurlarıyla kurulan bu çok duyulu etkileşim, çocukların mekânı olumlu algılamalarına ve çevresel deneyimlerinin güçlenmesine katkı sağlamıştır. Çocuk gözünde "dikkat çekici" olarak kodlanan bu alanlara karşın, *Durak 4* barındırdığı tezat uyaranlar nedeniyle hem tedirgin edici hem de iyi hissettiren çelişkili bir duygu oluşturmaktadır. *Durak 2* noktasında gözlemlenen duygusal çeşitlilik ise, mekânın çocuk kullanıcılar tarafından net bir çerçeveye oturtulamadığını ve karmaşık hissettirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, duygu durum grafiği genel olarak değerlendirildiğinde olumsuz duygu ifadelerinin sınırlı düzeyde kaldığı görülmektedir. Rahatsız/huzurluk duygusu ise hiçbir durak noktasında hissedilmemiştir. Bu bulgu, farklı peyzaj karakterlerine sahip durak noktalarının çocuklar tarafından genel olarak güvenli, keşfedilebilir ve olumlu deneyim alanları olarak algılandığını göstermektedir. Arazi çalışması sonrasında öğrenciler her bir durak için yaptıkları çizimi peyzaj albümüne (Görsel 6) aktarmıştır.



**Görsel 6. Peyzaj Albümü Oluşturulmasına İlişkin Görünümler**

Aynı yürüyüş güzergâhını takip eden öğrencilerin doğal ve kültürel peyzaj ögelerini farklı biçimlerde algıladıkları ve kendi peyzaj anlatılarını oluşturdukları görülmüştür. Duygu ve gözlem verileri bir araya getirildiğinde aynı peyzaj ögelerinin farklı duyularla ilişkilendirilmesi peyzaj algısının bireysel deneyimlere dayalı öznel bir süreç olduğunu ortaya koymuştur. Durak noktalarında elde edilen çizimler çocukların anlık mekânsal algılarını ortaya koyarken, peyzaj albümleri güzergâh boyunca oluşan bütüncül peyzaj algısının değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen doğa temelli eğitim etkinlikleri sonucunda, çocukların aynı peyzaj içerisinde bulunmalarına rağmen çevrelerini farklı biçimlerde algıladıkları ve yorumladıkları belirlenmiştir. Öğrenciler tarafından oluşturulan çizimler incelendiğinde, bazı çocukların doğal peyzaj ögelerini ön plana çıkardığı, bazılarının ise kültürel peyzaj unsurlarına odaklandığı görülmüştür. Bununla birlikte öğrencilerin gözlemledikleri peyzajları kendi deneyimleri, ilgi alanları ve dikkat düzeyleri doğrultusunda seçici bir şekilde algıladıkları anlaşılmıştır.

Durak noktalarında gerçekleştirilen çizim çalışmaları birlikte değerlendirildiğinde, çocukların peyzajı algılama ve temsil etme biçimlerinin mekânsal özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmektedir. İlk durak noktasında öğrenciler ağırlıklı olarak vejetasyon, yol, yerleşim ve sınır elemanları gibi tekil doğal ve kültürel peyzaj unsurlarını ön plana çıkarırken, ikinci durak noktasında topoğrafik yapı, açık alan karakteri ve mekânsal derinlik gibi daha bütüncül peyzaj özelliklerine odaklanmışlardır. Üçüncü ve dördüncü durak noktalarında ise doğal karakterin baskın hâle gelmesiyle birlikte öğrencilerin dikkatlerinin özellikle biyotik unsurlar üzerinde yoğunlaştığı, ağaçlar, yapraklar, çiçekler ve su ögelerinin çizimlerde tekrar eden temel bileşenler hâline geldiği belirlenmiştir. Bu durum, çocukların peyzajı yalnızca fiziksel bir görünüm olarak değil, farklı bileşenlerden oluşan dinamik bir çevre sistemi olarak algılamaya başladıklarını göstermektedir.

Çizimler arasındaki farklılıklar, aynı mekânı deneyimleyen çocukların çevresel uyaranları seçici biçimde algıladıklarını ve peyzajı bireysel deneyimleri doğrultusunda yorumladıklarını ortaya koymaktadır. Bazı öğrenciler geniş manzara kompozisyonlarını çizmeyi tercih ederken, bazıları dikkatlerini çeken belirli bir bitki, topoğrafik unsur veya su ögesine odaklanmıştır. Bu durum, çocukluk döneminde peyzaj algısının standart bir biçimde oluşmadığını; ilgi alanları, duyusal deneyimler ve gözlem tercihleri doğrultusunda şekillendiğini göstermektedir. Özellikle uygulamanın ilerleyen aşamalarında öğrencilerin tekil nesnelerden mekânsal ilişkileri ve çevresel bütünlüğü yansıtan çizimlere yönelmeleri, doğrudan deneyime dayalı öğrenmenin peyzaj okuryazarlığının gelişimine katkı sağladığını düşündürmektedir.

Duygu-durum grafiği ile çizimlerden elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde ise öğrencilerin mekânla kurdukları duygusal bağın güçlendiği ve doğaya yönelik olumlu algılar geliştirdikleri görülmektedir. Peyzaj ögelerinin gözlemlenmesi, çizim yoluyla yeniden yorumlanması ve bireysel deneyimlerin ifade edilmesi süreci; öğrencilerin çevresel farkındalıklarının artmasına, mekânsal bilinç geliştirmelerine ve doğal çevreyi daha dikkatli okumalarına katkı sağlamıştır. Bu sonuçlar, doğa temelli eğitim uygulamalarının çocukların yalnızca çevreyi tanımasına değil, aynı zamanda içinde bulundukları peyzajla anlamlı ve kalıcı ilişkiler kurmasına olanak sağladığını ortaya koymaktadır.

Günümüzde okul öncesi dönemde doğa ile etkileşimi temel alan çeşitli eğitim uygulamalarına rastlanmakla birlikte, ilkokul dönemine geçişle birlikte eğitim süreçlerinin büyük ölçüde sınıf ortamına taşındığı ve doğa temelli öğrenme deneyimlerinin azaldığı görülmektedir. Oysa çocukların çevre bilinci, doğa sevgisi ve sürdürülebilir yaşam anlayışı geliştirebilmeleri için doğa ile kurdukları ilişkinin yalnızca erken çocukluk döneminde değil, ilkokul yıllarında da devam ettirilmesi gerekmektedir. Bu durum, sürdürülebilir toplumların oluşturulması açısından da önem taşımaktadır.

Araştırma sonuçları doğrultusunda, doğa temelli eğitim uygulamalarının örgün eğitim sistemi içerisinde daha fazla yer bulması ve ilkokul müfredatlarıyla bütünleştirilmesi önerilmektedir. Bu kapsamda, mevcut eğitim kurumlarının yanı sıra doğa temelli öğrenme yaklaşımını benimseyen özel orman okulları ve benzeri kuruluşlarla iş birliği mekanizmalarının geliştirilmesi faydalı olacaktır. Bununla birlikte, doğa eğitimi faaliyetlerinin etkili ve güvenli biçimde yürütülebilmesi için uygulamaların doğa eğitimi konusunda eğitim almış ve sertifika sahibi eğitmenler tarafından gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır.

Doğa temelli eğitim etkinliklerinde güvenlik unsuru da göz ardı edilmemelidir. Eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirileceği güzergâhların önceden değerlendirilmesi, risk analizlerinin yapılması ve parkur güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca çocukların hava koşullarına ve doğal çevre şartlarına uygun kıyafet ve ekipmanlarla etkinliklere katılmaları teşvik edilmelidir. Bu tür önlemler, çocukların doğayla güvenli bir şekilde etkileşim kurmalarına ve öğrenme süreçlerinin kesintisiz devam etmesine katkı sağlayacaktır.

Öte yandan, Türkiye'de son yıllarda sayıları giderek artan orman okullarına ilişkin yasal ve yönetsel çerçevenin henüz yeterince net olmadığı görülmektedir. Doğa temelli eğitim uygulamalarının yaygınlaştırılabilmesi ve belirli standartlar çerçevesinde sürdürülebilir biçimde yürütülebilmesi için orman okullarının işleyişine yönelik mevzuat çalışmalarının

geliştirilmesi, eğitim içerikleri, güvenlik kriterleri ve eğitmen yeterlilikleri konusunda standartların belirlenmesi önerilmektedir. Bu doğrultuda, ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından Orman Okulları Yönetmeliği'nin çıkartılması önem taşımaktadır. Böylece doğa temelli eğitim uygulamalarının daha geniş kitlelere ulaşması ve sürdürülebilir çevre bilincinin erken yaşlardan itibaren toplum genelinde güçlendirilmesi mümkün olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma için etik onay, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Karar No: [E-26428519-050.99-92543], Tarih: [04.08.2023]).

## KAYNAKÇA

Akbaş, B., Ahi, B., Çabuk, B., Kahriman Pamuk, D., Güngör, H., Cevher Kalburan, N. ve Temiz, Z., *Erken Çocukluk Döneminde Çevre Eğitimi ve Sürdürülebilirlik*, Ed. Deniz Kahriman Pamuk, Anı Yayıncılık, Ankara, 2021.

Avrupa Konseyi*, Avrupa Konseyi Peyzaj Sözleşmesi İlkokullar İçin Peyzaj Eğitimi Faaliyetleri Pedagojik Kitapçık*, Avrupa Konseyi Yayınları, Strasbourg, 2021.

Berman, M.G., Jonides, J. ve Kaplan, S., Doğayla Etkileşimin Bilişsel Faydaları, Psikolojik Bilim, 19, 1207–1212, 2008.

Bredekamp, S., *Erken Çocukluk Eğitiminde Etkili Uygulamalar,* Çev. Hatice Zeynep İnan ve Taşkın İnan, Nobel Yayıncılık, Ankara, 343–345, 2015.

Hedefalk, M., Almqvist, J. ve Östman, L. Education for Sustainable Development in Early Childhood Education: A Review of the Research Literature, Environmental Education Research, 21(7), 975–990, 2015.

Kuo, M., Browning, M.H.E.M. ve Penner, M.L. Do Lessons in Nature Boost Subsequent Classroom Engagement? Refueling Students in Flight, Frontiers in Psychology, 8, 2253, 2018.

Piaget, J., Development and Learning, Journal of Research in Science Teaching, 2, 176–186, 1964.

Samuelsson, I.P. ve Kaga, Y., *The Contribution of Early Childhood Education to a Sustainable Society*, UNESCO, Paris, 2008.

Temiz, Z. ve Karaarslan Semiz, G., En İyi Öğretmenim Doğa: Okul Öncesinde Doğa Temelli Eğitim Uygulamaları Projesi Kapsamında Hazırlanan Öğretmen Etkinlikleri, İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 8(1), 314–331, 2019.

UNESCO, Early Childhood Care and Education, https://www.unesco.org/en/early-childhood-education (Erişim tarihi: 12.06.2026).

Wilson, R.A., *Nature and Young Children: Encouraging Creative Play and Learning in Natural Environments*, Routledge, London, 2008.

World Commission on Environment and Development (WCED), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, 1987.

Yıkmaz, R.F., *Sürdürülebilir Kalkınmanın Ölçülmesi ve Türkiye İçin Yöntem Geliştirilmesi*, Uzmanlık Tezi, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 2011.

# VANİSHİNG AND RECONSTRUCTED LANDSCAPES İN URBAN TRANSFORMATİON PROCESSES: AN EVALUATİON FROM THE PERSPECTİVE OF COLLECTİVE MEMORY

**Arş.Gör.Nida KURAK SEZGİN**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı,

nidakurakk@gmail.com - 0000-0001-9825-1913

**Prof.Dr.Elif Merve ALPAK**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı,

elifmervealpak@gmail.com - 0000-0002-2306-4299

**Prof.Dr.Tuğba DÜZENLİ**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı,

tugbaduzenli@gmail.com - 0000-0001-6957-3921

## ABSTRACT

Cities are multi-layered structures where social experiences and cultural values converge. Landscape is one of the key components of this structure. Landscape consists not only of the elements that make up the physical environment but also of spaces of memory that influence the daily practices and spatial experiences of city dwellers. For this reason, public open spaces such as squares, waterfronts, streets, and parks play a crucial role in shaping urban identity and ensuring the continuity of collective memory. Today, rapidly increasing urban renewal projects are causing changes in the physical structure of cities and simultaneously leading to the transformation or loss of many landscape elements. This change also affects the relationship between city dwellers and the past, their sense of belonging, and their memory. In particular, the transformation of landscapes carrying cultural significance brings significant debates regarding the preservation of urban memory and its transmission to future generations. This study evaluates how landscape memory is preserved or reproduced during urban transformation processes from the perspective of collective memory. Based on the premise that landscape is not merely a physical environment but also a carrier of past experiences and cultural meanings, the study discusses the effects of transformation processes on urban memory. In this context, the study aims to highlight the role of landscape design and urban transformation practices in the sustainability of collective memory.

**Keywords:** Landscape memory, Urban identity, Urban renewal

## 1. INTRODUCTION

Cities are dynamic structures that have evolved over time through cultural, social and spatial accumulations. In this process, cities have gained significance not only as part of the physical environment but also as spaces where social memory is produced and transmitted. In particular, landscape areas are significant spaces that harbour shared experiential spaces for users and contribute to the formation and development of urban identity (Lynch, 1964; Rossi, 1984). In this respect, the landscape is not merely a physical environment composed of natural and man-made elements, but is regarded as a carrier of past experiences, cultural meanings and, at the same time, social memory (Schama, 1995). Under the influence of globalisation and rapid urbanisation, cities have undergone significant changes in recent years. The most visible of these changes are urban regeneration schemes. These interventions are predominantly carried out with the aim of regenerating the physical environment, stimulating economic revitalisation and improving quality of life. However, this process does not merely alter the built environment; it also transforms the historical, cultural and emotional relationships that city dwellers have established with these spaces. In particular, the transformation of open spaces—which hold a significant place in urban life—is leading to a shift in, or even the complete disappearance of, the spatial references of collective memory. The concept of collective memory posits that individuals' experiences of the past are shaped by social frameworks and has secured a prominent place within the social sciences literature.

According to Halbwachs (1992), individual memory cannot be conceived of independently of social relations, and memory of the past is largely shaped by the social environment. In this regard, places—as physical environments in which social experiences take concrete form—play a significant role in the formation and continuity of collective memory. Squares, coastlines and parks are not merely spaces of use but also memory spaces where memories and experiences are formed (Halbwachs, 1992; Aşur et al., 2022). One of the most important approaches defining the relationship between place and memory is Nora's (1989) definition of memory places. With the process of modernisation, the transmission of social memory has changed, and memory has become concentrated in specific places. Consequently, areas of historical and cultural significance have transformed into symbolic spaces that establish a link between the past and the present. Public spaces and urban landscapes are also important examples of these memory spaces (Nora, 1989).

The relationship between landscape and memory has been extensively studied in the literature on landscape architecture in recent years. In particular, the cultural landscape approach demonstrates that the landscape is not merely the product of natural processes, but also of everyday experiences and historical processes (Antrop, 2005). In this context, every landscape we see around us actually bears traces of ways of life and social experiences passed down from the past to the present. Schama (1995) notes that landscapes are not merely the environments we see, but also carry the memory and cultural narratives of societies. Similarly, Hussein, Nassar and Elshater (2020) argue that cultural landscapes play a significant role in the formation of a sense of place and collective memory. Consequently, changes occurring in landscapes lead not only to transformations in the physical environment but also to the reshaping of cultural memory.

Whilst urban regeneration can, in some cases, lead to the loss of landscapes, in others it enables spatial traces of the past to be preserved and reinterpreted through new functions. In this context, memory is not merely a static element to be preserved, but also a dynamic process that can be re-signified (Butler, 2019). Urban regeneration projects carried out in recent years, in particular, have attracted significant attention for their approach to preserving spatial references to the past and adapting them to contemporary urban life (Mansour, 2025).

This study aims to assess how memory is preserved or reinterpreted during regeneration processes from the perspective of collective memory. Drawing on international case studies representing different approaches to regeneration, the study discusses the relationships between landscape, memory and urban identity; it evaluates not only the impacts of regeneration processes on the physical environment, but also their implications for the cultural memory of cities. In this context, the research is expected to contribute to theoretical debates on the relationship between urban regeneration and landscape memory, and to highlight the importance of memory-focused landscape approaches.

## 2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

### 2.1. Collective Memory and Space

The concept of collective memory suggests that users construct their experiences of the past within social frameworks. According to Halbwachs (1992), memory is not merely an individual process, but a social construct shaped by social relationships and environmental experiences. In this context, memories of the past are reproduced through references to specific social groups and places. Spaces play a significant role both in the initial formation and subsequent transmission of collective memory. Within the scope of this study, collective memory is assessed through the visibility of spatial references to the past, the ways in which space is used, and the symbolic values within urban life. The aim is thus to reveal the spatial correspondences in collective memory of the changes in a space before and after its transformation.

### 2.2. Landscape Memory

Landscape memory refers to the preservation, continuity and reinterpretation of the traces of natural and cultural landscapes formed in the past. Landscapes are not merely components of the physical environment, but also spatial structures in which past experiences and cultural meanings are stored (Antrop, 2005; Schama, 1995). Landscape memory is a concept that has gained increasing importance in the context of rapid urbanisation and urban regeneration processes. This is because such projects can, in some cases, lead to the loss of a landscape's character, whilst in others they enable the preservation and reinterpretation of traces of the past. In this context, landscape memory is not merely a historical value but also a process that is reproduced within the context of changing societal needs (Butler, 2019). Landscape memory is assessed through the lens of physical landscape continuity, historical landscape character, cultural traces and the level of spatial transformation.

Physical continuity is one of the key indicators in interpreting the landscape's memory. Elements such as topography, vegetation, historical structures, transport networks and public spaces play a significant role in conveying spatial traces of the past into the present. Furthermore, experiences, usage patterns and cultural meanings associated with specific areas are also key components of landscape memory (Hussein, Nassar & Elshater, 2020).

### 2.3. Place Identity and Spatial Continuity

Place identity arises from the meanings individuals ascribe to specific places and their relationships with those spaces. The landscape elements that shape the character of cities directly influence users' perceptions of the space (Relph, 1976).In this context, spatial continuity is defined as the preservation of physical and cultural elements passed down from the past to the present. The preservation of landscape elements that constitute a city's unique character is important both for ensuring the continuity of place identity and for the sustainability of collective memory.

### 2.4. Urban Regeneration and the Reconstruction of Landscape Memory

Nowadays, urban regeneration projects are viewed not merely as processes of physical renewal, but also in terms of the preservation and reinterpretation of spatial values from the past. This demonstrates that landscape memory is not merely a lost element, but a dynamic process that can be reproduced through appropriate design approaches (Butler, 2019). Within the scope of this study, the reproduction of landscape memory is examined in the context of preserving historical traces, making spatial references from the past visible once more, and integrating them with new functions. The aim is to compare the effects of different regeneration approaches implemented in the study areas on collective memory and landscape memory.

## 3. METHOD

This study was conducted using a qualitative research methodology to examine the effects of the urban regeneration process on landscape memory. Within the scope of the research, the Cheonggyecheon Restoration Project in Seoul, South Korea, and the High Line Project in New York City, United States—which represent different approaches to regeneration—were selected as case studies. The primary data sources for the study consist of historical and contemporary photographs of these areas, as well as the existing literature. Using photographic document analysis, the pre- and post-regeneration processes were compared; the spatial changes occurring in the areas were evaluated in terms of physical landscape continuity, historical landscape character, cultural traces, forms of public use, and place identity.

## 4. FINDINGS AND DISCUSSION

Although the primary aim of urban regeneration processes is usually the renewal of the physical environment, the impact of these processes on collective memory is becoming increasingly significant today (Butler, 2019). In this study, the Cheonggyecheon Restoration Project in Seoul, South Korea, and the High Line Project in New York City, United States—which represent different examples of the preservation or reproduction of landscape memory in urban regeneration processes—have been evaluated. Both projects are regarded as successful transformations at an international level and have developed different strategies regarding the preservation and evaluation of traces of the past.

Cheonggyecheon is a historic stream corridor approximately 11 km long that runs through the centre of Seoul. As a result of rapid urbanisation and industrialisation, the stream bed was gradually covered over, and in the 1970s, an elevated motorway was constructed above it. With the construction of the motorway, the area's natural character was largely lost and its connection to urban life significantly diminished (Figure 1). As part of the restoration works that began in

2003, the motorway was removed, the stream was re-established, and the surrounding area was redeveloped as an urban open space (Figure 2). Today, Cheonggyecheon is recognised as one of the most significant examples of ecological restoration and urban regeneration (Cho, 2010).



**Figure 1.** View of the Cheonggyecheon area before its regeneration (URL 1)



**Figure 2.** Post-renovation view of the Cheonggyecheon area (URL 2)

A comparison of images of the Cheonggyecheon area reveals that, whereas the area was dominated by dense transport infrastructure prior to the transformation, it has since been transformed into a public landscape centred around water. This change signifies not only a physical transformation but also the re-emergence of the natural landscape character that had been lost in the past. The re-establishment of the watercourse system has enabled the city's historical spatial values to reconnect with contemporary users and has strengthened collective memory (Cho, 2010).

The High Line Park, meanwhile, is an elevated railway line located in Manhattan, New York, which was built in the 1930s for freight transport (Figure 3). As industrial activity declined, the line fell into disuse. In the 2000s, it was decided to preserve the line rather than demolish it, and through regeneration works, it was transformed into a public park. As part of the project, significant sections of the old railway line were preserved, and traces of the industrial heritage were integrated into the landscape design. In this respect, the High Line Park is one of the best-known examples of the adaptive reuse approach (Loughran, 2014).




**Figure 3.** View of the High Line area prior to its transformation (URL 3)



**Figure 4.** Post-renovation view of the High Line area (URL 4)

An examination of the images from the High Line Project reveals that this area is characterised by a different approach to regeneration compared to the Cheonggyecheon example. Rather than the restoration of a lost landscape, the approach adopted here involves the preservation of the existing industrial heritage and its reinterpretation through new functions. By preserving certain sections of the old railway line, the area's historical character is ensured to remain palpable in the present day. In this way, physical traces of the past integrate with new forms of use, thereby contributing to the landscape's memory (Lindner & Rosa, 2017).

When the two case studies are considered together, it is evident that different strategies have been applied to the preservation and reproduction of landscape memory. Whilst the Cheonggyecheon Project represents the revitalisation of a lost natural landscape, the High Line Project represents the transformation of an existing industrial landscape into a new public space whilst preserving it. Whilst a restoration approach is adopted in the first example, an adaptive reuse approach is prominent in the second. Nevertheless, in both projects, the visibility of spatial references to the past and the preservation of urban memory stand out as common objectives.

**Table 1.** A comparison of the Cheonggyecheon and High Line projects in terms of landscape memory

| Evaluation Criteria | Cheonggyecheon | High Line |
|---|---|---|
| **Transformation Pre-transformation state** | Covered stream and motorway | Disused elevated railway |
| **Landscape Type** | Natural landscape | Industrial landscape |
| **The Transformation Approach** | Restoration | Adaptive reuse |
| **Protected Elements** | Historical water corridor | Railway line and track system |
| **Recreated Value** | Natural landscape memory | Industrial landscape memory |
| **A Contribution to Collective Memory** | Re-establishing the visibility of the historical water system | Preserving and keeping industrial heritage alive |
| **Place Its Impact on Identity** | It has enhanced its historical and natural character | It has ensured the continuity of its industrial character |

An examination of Table 1 reveals that both regeneration projects have developed different methods for preserving the landscape memory. The findings suggest that successful urban regeneration initiatives can be based on approaches that do not entirely erase the past, but rather make the spatial traces of the past visible and reinterpret them. In this context, landscape memory should be regarded as a key tool for the sustainability of urban identity and collective memory.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The Cheonggyecheon Restoration Project and the High Line Project, examined in this study, have demonstrated that landscape memory can be preserved and re-created through different approaches in urban regeneration processes. The findings of the study show that landscape memory is not a phenomenon that can be sustained solely through the preservation of physical elements from the past.

- In the case of Cheonggyecheon, historical spatial references have been made visible and collective memory has been strengthened by restoring the natural landscape that had previously been obscured from the city skyline.
- In the case of the High Line, disused industrial infrastructure was preserved and repurposed, thereby allowing physical elements of the past to take on new functions within urban life. This demonstrates that landscape memory can be reimagined through different design and planning approaches.

In both areas examined in this study, the preservation of spatial references to the past during urban regeneration processes is crucial for the sustainability of urban identity and a sense of place. In regeneration projects, it is vital and essential to consider not only economic and physical objectives but also the historical, cultural and social values of the areas. If these values are not taken into account, the landscape elements that constitute the unique character of cities are lost, collective memory is weakened, and this may negatively affect the sense of belonging that users establish with the space.

In conclusion, landscapes are not merely components of the physical environment, but also spaces of memory that carry the cultural memory of cities. For this reason, it is important to develop approaches aimed at preserving, making visible and reproducing landscape memory in urban regeneration projects. It is anticipated that this study will contribute to future research on

the relationship between urban regeneration and landscape memory, whilst highlighting the importance of design approaches focused on landscape and urban memory.

## REFERENCES

Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. Landscape and urban planning, 70(1-2), 21-34.

Aşur, F., Akpinar Kulekci, E., & Perihan, M. (2022). The role of urban landscapes in the formation of urban identity and urban memory relations: the case of Van/Turkey. Planning Perspectives, 37(4), 841-857.

Butler, A. (2019). Changing landscape identity: Practice, plurality and power. Landscape Research, 44(4), 423–435.

Cho, M. R. (2010). The politics of urban nature restoration: The case of Cheonggyecheon restoration in Seoul, Korea. *International development planning review*, *32*(2), 145-165.

Halbwachs, M. (1992). On Collective Memory. University of Chicago Press.

Lindner, C., & Rosa, B. (Eds.). (2017). *Deconstructing the High Line: Postindustrial urbanism and the rise of the elevated park*. Rutgers University Press.

Loughran, K. (2014). Parks for profit: The high line, growth machines, and the uneven development of urban public spaces. City & Community, 13(1), 49-68.

Lynch, K. (1964). The image of the city. MIT press.

Mansour, E. A., Elazab, E. M., & Sheta, S. A. (2025). Reviewing frameworks for identifying the memory of the city in historical urban landscape. Journal of Housing and the Built Environment, 1-25.

Nora, P. (1989). Between memory and history: Les lieux de mémoire. *representations*, 7-24.

Schama, S., & Porter, R. (1995). Landscape and memory.

Relph, E. (1976). *Place and Placelessness*. London: Pion.

Rossi, A. (1982). The Architecture of the City. MIT Press.

URL 1. https://udcsa.gsd.harvard.edu/projects/

URL 2. https://udcsa.gsd.harvard.edu/projects/9

URL 3. https://placesjournal.org/article/above-grade-on-the-high-line/

URL 4. https://lobsintl.com/project/the-high-line/

# TERRAIN AS SHELTER: INTEGRATING ANIMAL WELFARE AND TOPOGRAPHIC DESIGN IN A BOUTIQUE HOTEL LANDSCAPE

**Prof. Dr. Elif Merve ALPAK**
Karadeniz Technical University, Landscape Architecture
elifmervealpak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6957-3921
**Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ**
Karadeniz Technical University, Landscape Architecture
tugbaduzenli@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2306-4299
**Arş. Gör. Nida KURAK SEZGİN**
Karadeniz Technical University, Landscape Architecture
tugbaduzenli@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9825-1913

## ABSTRACT

In recent years, the recognition of pets as family members has significantly increased the demand for pet-friendly facilities in the tourism and hospitality sector. However, most existing practices continue to regard animals not as active users within the design process, but rather as secondary elements accompanying human users. In this context, hotel projects that embrace animal welfare principles have emerged as an important area requiring further consideration and development. Within the scope of the Environmental Design Project III course (2025–2026) offered by the Department of Landscape Architecture at Karadeniz Technical University, the design of a boutique hotel and its surrounding landscape was selected as the studio project topic. Due to the absence of a pet-friendly hotel in the city of Trabzon and the growing need for such facilities, a student project adopting a pet-friendly hotel concept was examined in this study. The project was developed on a site characterized by a four-meter elevation difference and was evaluated in terms of its integration of animal welfare principles with a topography-based landscape design approach. Rather than being perceived as a physical constraint that should be eliminated through conventional design practices, the site's slope was treated as a fundamental design input that guided the formation of animal habitats, social spaces, and open-space systems. In line with this approach, semi-buried living units were developed to provide spatial solutions that support the behavioral and psychological needs of animals while simultaneously contributing to the preservation of the natural character and sustainability of the landscape. The findings of the study demonstrate that topography should not be regarded solely as a physical site condition, but also as an active design component capable of supporting multidimensional living environments and enhancing habitat quality.

**Keywords:** Pet-friendly design, topography-based landscape design, ecological sustainability,

## 1. Introduction

The transformation in the relationship between humans and companion animals in recent years has led to the emergence of new requirements in spatial design practices. In particular, the increasing integration of dogs and cats into family life has made it essential to consider animals as users in various design contexts, ranging from residential environments and public open spaces to the tourism sector. As pet ownership continues to rise worldwide, travelers are increasingly choosing to bring their companion animals with them, resulting in a growing demand for pet-friendly accommodation facilities. However, many facilities currently described as "pet-friendly" merely permit the presence of animals rather than providing environments specifically designed to meet their needs. The spaces allocated for animals in these facilities are often limited, functional, and based on temporary solutions. Behavioral needs, freedom of movement, environmental enrichment, and psychological well-being are frequently overlooked during the spatial design process. Consequently, animals are treated not as active users of the designed environment but rather as secondary elements accompanying human users. This situation has contributed to the growing importance of emerging approaches in architecture and landscape architecture, such as multispecies design, more-than-human design, and animal-centered design. These approaches advocate that design should be shaped not only by human needs but also by the requirements of other living species. Accordingly, animals are no longer regarded as passive occupants of space but as active stakeholders whose needs influence design decisions. The discipline of landscape architecture possesses significant potential for creating environments in which different species can coexist. In particular, landscape components such as topography, vegetation, and open space systems serve as important design tools that can enhance habitat quality for both human and animal users. Nevertheless, studies that integrate topography with animal welfare in the context of tourism and hospitality facilities remain limited. This study aims to address this gap by examining the landscape design of a pet-friendly boutique hotel proposed for a site characterized by an elevation difference of approximately four meters. It argues that topography should be understood not merely as a physical site condition but also as a design component capable of supporting multispecies living and generating habitats that promote the well-being of both humans and companion animals.

### 1.1. Research Aim and Questions

The primary aim of this study is to explore the potential of topography to function as a spatial infrastructure that supports animal welfare within the landscape design of pet-friendly boutique hotels. Specifically, the research investigates how topographical features can be utilized not only as physical site conditions but also as active design elements that enhance habitat quality and foster multispecies coexistence. To achieve this objective, the study seeks to answer the following research questions:

1. How can topography be utilized to create and enhance habitats in pet-friendly accommodation facilities?
2. How can animal welfare principles be effectively integrated into the landscape design process?

3. How can shared experiential spaces be designed to promote interaction and coexistence between human and animal users?
4. In what ways does a topography-based design approach contribute to sustainability and spatial integration?

### 1.2. The Relationship Between Topography, Habitat Creation, and Ecological Sustainability

In landscape architecture, topography is not merely an element that defines the physical form of the land but also a fundamental design component that regulates ecological processes and plays a decisive role in the formation of biodiversity. Slope gradients, elevation differences, natural drainage systems, and micro-topographic features directly influence numerous ecological mechanisms, including water movement, vegetation distribution, microclimatic conditions, and habitat diversity (Forman, 2014). Consequently, contemporary landscape planning approaches regard topography not as a passive surface upon which development takes place, but as a dynamic infrastructure that generates ecosystem services. In particular, extensive grading and earthwork operations reduce soil permeability, hinder the natural infiltration of rainwater, and increase surface runoff, thereby elevating the risk of flooding. Furthermore, the destruction of natural vegetation contributes to habitat fragmentation and the decline of biodiversity (Ahern, 2013). From the perspective of ecological sustainability, preserving topography and adapting design interventions to the existing landform offer significant advantages in reducing the carbon footprint. Maintaining the natural soil profile also ensures the continuity of carbon storage capacity and supports the long-term provision of ecosystem services (Corner, 2006). One of the most significant relationships between topography and ecological sustainability lies in its capacity to generate habitats. Variations in elevation, slope, and surface orientation create diverse microclimatic conditions that provide suitable living environments for different plant and animal species. This spatial heterogeneity enhances the ecological resilience of the landscape and strengthens its adaptive capacity in response to climate change. Accordingly, this study conceptualizes topography not merely as a physical site characteristic but as an active landscape component that directly contributes to habitat creation and enhances the ecological resilience of the landscape.

### 1.3. How Can Animal Welfare Principles Be Integrated into the Landscape Design Process?

Landscape design is increasingly understood not only as a discipline that provides aesthetic and recreational functions but also as an ecological system that produces healthy habitats in which multiple species can coexist (Wolch & Owens, 2017). The integration of animal welfare principles into landscape design is not limited to the provision of spaces where animals can merely be accommodated physically. Rather, it requires the creation of holistic living environments in which species can express their natural behaviors, be protected from environmental stressors, develop a sense of security, and maintain balanced interactions with humans. This approach is grounded in “animal-centered design,” which moves beyond

anthropocentric planning paradigms and recognizes animals as active users of design processes (Mancini, 2015).

### 1.4. Translation of Behavioral Requirements into Design Decisions

One of the fundamental components of animal welfare is the provision of environments in which species can freely express their natural behaviors. For dogs, behaviors such as exploration, olfaction, running, observation, resting, and social interaction constitute essential aspects of daily life. Restriction of these behaviors may lead to increased stress levels, behavioral disorders, and a decline in overall welfare (Mellor et al., 2020). In landscape design, addressing these requirements necessitates the integration of open grassed areas, circulation routes, varied surface textures, naturalized planting zones, and environmental enrichment elements. In particular, instead of linear pathways, organically structured circulation systems that encourage exploration enhance interaction with the environment and support behavioral diversity. Additionally, observation points and controlled viewing areas created at different elevations can be considered important spatial elements that support dogs' instinctive need to monitor their surroundings. In this way, the landscape is transformed from a merely traversable surface into an active living environment that responds to behavioral needs.

### 1.5. The Five Domains Model and Spatial Design

One of the most comprehensive frameworks for assessing animal welfare in contemporary literature is the Five Domains Model. Developed by Mellor et al. (2020), this model evaluates welfare through five interrelated domains: nutrition, physical environment, health, behavior, and mental state. Landscape design has a direct influence particularly on the physical environment and behavioral domains. The creation of natural shaded areas, wind-protected zones, micro-spaces with varying thermal conditions, and safe resting areas significantly enhances the quality of the physical environment. From a behavioral perspective, free movement areas, play spaces, olfactory enrichment zones, water features, and exploratory routes support the natural behavioral repertoire of animals. Such spatial configurations not only improve physical health conditions but also positively contribute to animals' mental well-being and environmental adaptation

### 1.6. The Contribution of Topography to Animal Welfare

Topography is an often overlooked yet highly significant landscape component in supporting animal welfare. In natural environments, many mammalian species utilize sloped surfaces, depressions, and semi-enclosed spaces for protection, resting, and observation. Considering these biologically rooted behaviors, the active integration of topography into the design process contributes to the creation of spaces in which animals feel safer and more secure. In particular, semi-buried habitats benefit from the thermal buffering capacity of natural soil masses, providing cooler conditions in summer and more thermally stable environments in winter. In addition, the reduction of visual and auditory stimuli from the external environment helps to decrease stress levels. Consequently, topography becomes a critical design input not only in aesthetic or engineering terms but also in relation to behavioral welfare.

### 1.7. The Balanced Structuring of Human–Animal Interaction

One of the key principles in pet-friendly landscape design is the controlled organization of human–animal interaction. Completely segregated spaces may reduce opportunities for animal socialization, whereas excessively intensive shared-use areas can lead to stress and behavioral conflicts. For this reason, transition zones, buffer areas, and semi-public open spaces constitute essential components of the design framework. Shared walking paths, play areas, and resting terraces both enrich user experience and enable controlled forms of interaction between humans and animals. At the same time, the provision of quiet and protected areas to which animals can retreat, when necessary, enhances their sense of environmental control and thereby supports psychological well-being.

## 2. Method

The material of this research consists of a pet-friendly boutique hotel landscape project developed within the scope of the course Environmental Design Project III (2025–2026) in the Department of Landscape Architecture, Karadeniz Technical University. The project is situated on a site characterized by an elevation difference of approximately four meters. The study was conducted in four stages (Table 1).

**Table 1.** Evaluation criteria used in the analysis process.

| Evaluation Criteria | Explanation |
|---|---|
| Topographic Adaptation | Degree of preservation of the natural slope of the site |
| Animal Welfare | Safety, freedom of movement, and resting areas |
| Human–Animal Interaction | Quality of shared-use spaces |
| Sustainability | Reduction of cut-and-fill operations, landscape integration |
| Spatial Integration | Relationship between building and landscape |

## 3. Findings

### Design Concept

The core concept of the project is based on the approach of “Living with Topography.” While in many landscape practices topographical differences are often eliminated through cut-and-fill operations, in this project the existing landform has been preserved and positioned as the primary determinant of the design. The approximately four-meter elevation difference on the site has enabled the creation of semi-buried accommodation units for animals.

### 3.1. Topographic Adaptation (Degree of Preservation of Natural Slope)

In the examined project (Figure 1), the approximately four-meter elevation difference has not been eliminated through retaining walls or intensive cut-and-fill operations, as is common in conventional approaches; instead, it has been adopted as a fundamental design generator. Semi-buried animal living units developed along the natural slope have both preserved the original landform and allowed topography to function as an active design component.




**Figure 1.** Circulation system and spatial hierarchy formed through topographic layers.

One of the most distinctive features of the project is that the building is not placed on top of the site but rather integrated into the terrain itself. In this way, a spatial organization is achieved in which artificial interventions are minimized, the natural landscape character is largely preserved, and landscape walls simultaneously function as retaining elements that stabilize the soil.

**Strengths**

Minimal requirement for excavation and earthworks
High legibility of the natural slope
Continuity of the organic landscape structure
Transformation of elevation differences into user experience elements

Within this context, the project demonstrates high performance in terms of topographic adaptation and adopts an approach that does not transform the site, but rather positions its inherent potential at the core of the design strategy.

### 3.2. Animal Welfare (Safety, Freedom of Movement, and Resting Areas)

Within the scope of the proposed “Terrain as Shelter” approach, the approximately four-meter elevation difference has been transformed into a natural shelter system in which animal living spaces are embedded within the landscape (Figure 2). The semi-buried “Warm Home” units integrated into the sloping terrain enhance the sense of natural protection, thereby supporting animals’ need for security and reducing environmental stressors. In this respect, topography is no longer treated as a passive site condition but rather as an active spatial component that directly contributes to animal welfare.




**Figure 2**. Design proposal supporting animal welfare.

These soil-integrated spaces mitigate extreme temperature fluctuations, filter external noise, and help reduce stress levels in animals. In particular, the spatial quality resembling natural burrows corresponds to instinctively preferred safe resting environments for dogs.In terms of movement freedom, the project extends beyond the conventional concept of enclosed shelters. Animal living areas are directly connected to open green spaces, enabling unrestricted behaviors such as running, exploring, playing, and observing the environment. Organic circulation routes and varying elevation levels enhance environmental enrichment and eliminate monotonous spatial experiences. For resting areas, shaded zones, vegetated buffers, and semi-enclosed open spaces are integrated. In this way, alternative spatial conditions are created, allowing animals to withdraw from social interaction when necessary and to be protected from excessive environmental stimuli.

### 3.3. Human–Animal Interaction (Quality of Shared Use Areas)

In the project, human and animal users are not completely segregated; instead, a controlled intersecting circulation system is established (Figure 3). Walking paths, resting terraces, open lawn areas, and recreational zones are designed to be jointly used by hotel guests and companion animals. This spatial configuration allows users to experience natural and everyday encounters with animals while simultaneously incorporating buffer zones that prevent excessively intense interactions. Through the use of vegetated boundaries and topographical variations, visual and physical separation can be achieved when necessary, thereby maintaining both user comfort and controlled levels of animal stress. In particular, viewing terraces and elevated platforms formed through topographical manipulation enable users to observe animal living areas from a distance, ensuring that interaction occurs in a controlled manner. This can be regarded as a successful example of the “coexistence” principle emphasized in contemporary multispecies design approaches.




**Figure 3.** Human–animal shared use areas and recreational landscape systems

**Shared use areas**
Open café terraces
Walking paths
Pool surroundings
Resting pockets
Garden seating areas enable humans and animals to spend time together.
**Social interaction**
Increase visual communication
Encourage encounters
Enable controllable social contact

In particular, small courtyards are designed at a scale suitable for one-to-one interaction between users and companion animals.
**Psychological impact**
Open spaces integrated with nature create a stress-reducing environment for both humans and animals.
Potential improvements
Species-specific play areas
Quiet retreat zones
Isolated resting spaces for elderly or timid animals can be added

### 3.4. Sustainability

The sustainability approach of the project is based on the preservation of the natural topography. By avoiding artificial modification of the site slope, large-scale cut-and-fill operations have been minimized, thereby significantly reducing energy consumption and carbon emissions associated with the construction process. The use of semi-buried structures enables the utilization of the natural soil's thermal mass. This condition provides cooler indoor environments in summer and more thermally stable conditions in winter, thereby reducing the

need for mechanical climate control systems. As a result, overall energy consumption decreases and the environmental performance of the building improves throughout its life cycle.

From a landscape integration perspective, embedding the structures within the terrain contributes to the preservation of the natural silhouette (Figure 4). The reduction of visual impact supports the continuity of the natural landscape character and enables a more coherent relationship between the built environment and its surroundings. Through vegetated corridors, permeable surfaces, and the conservation of existing green infrastructure, ecological connectivity is maintained. This supports habitat continuity for small mammals, birds, and insects. Consequently, the project demonstrates a sustainability approach that is not only user-oriented but also ecosystem-oriented.



**Figure 4.** Integration of buildings within the terrain and recreational landscape systems.

### 3.5. Spatial Integration (Building–Landscape Relationship)

In the examined project, this integration is clearly observable. The embedding of animal living units within the topography ensures that the built forms are perceived not as foreign masses imposed on the site, but rather as a continuation of the natural landscape (Figure 2). The integration of roof surfaces with the surrounding landscape and the gradual dissolution of built volumes into the terrain enhance visual continuity (Figure 1).

The circulation system is also designed to reinforce this integration. Human walking routes and animal movement paths form a complementary spatial framework, while ramps and terraces enabling continuous transitions between different elevation levels enrich the user experience. Through this approach, the project dissolves the conventional boundaries between architecture and landscape, offering a holistic spatial organization in which topography functions as a shared medium of both architectural and landscape design production.

## 4. Discussion and Conclusions

In contemporary landscape architecture approaches, the preservation of natural topography is regarded not merely as an aesthetic preference but as a critical design strategy in terms of ecological continuity, energy efficiency, and sustainable land use (Steiner, 2011). Spatial integration refers to the conception of architectural structures and landscape as an interdependent and holistic system rather than as independent components. Current landscape architecture paradigms increasingly advocate for the integration of buildings into the landform, rather than their dominance over it (Corner, 2006). The findings of this study indicate that the Animal-Aided Design (AAD) approach can be applied not only in urban green spaces but also in tourism and hospitality environments. In the proposed project, animal requirements were considered at the earliest stages of the design process, and the spatial organization was structured accordingly. This aligns with the Animal-Aided Design framework proposed by Weisser and Hauck (2025).

When the five identified criteria are evaluated collectively, it can be concluded that the case project treats topography not merely as a natural site condition to be preserved, but as an active design component that supports animal welfare, enhances sustainability, and establishes integrated relationships between building and landscape. In particular, the transformation of a four-meter elevation difference into semi-buried living units presents an innovative solution that reconciles the principle of minimal site intervention with the behavioral needs of animals. In this context, the project can be considered a landscape model that demonstrates high performance across all five criteria—topographic adaptation, animal welfare, human–animal interaction, sustainability, and spatial integration—and that effectively materializes a multispecies design approach.

**References**

Ahern, Jack. "Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design." Landscape ecology 28.6 (2013): 1203-1212.

Forman, Richard TT. Urban ecology: science of cities. Cambridge University Press, 2014.

Mellor, D. J., Beausoleil, N. J., Littlewood, K. E., McLean, A. N., McGreevy, P. D., Jones, B., & Wilkins, C. (2020). The 2020 five domains model: Including human–animal interactions in assessments of animal welfare. Animals, 10(10), 1870.

Metcalfe, D. J. (2015). Multispecies design (Doctoral dissertation, University of the Arts London and Falmouth University).

Steiner, F. (2011). Landscape ecological urbanism: Origins and trajectories. Landscape and urban planning, 100(4), 333-337.

Waldheim, C. (Ed.). (2012). The landscape urbanism reader. Chronicle books.

Weisser, W. W., & Hauck, T. E. (2025). Animal-Aided Design–planning for biodiversity in the built environment by embedding a species' life-cycle into landscape architectural and urban design processes. Landscape Research, 50(1), 146-167.

Wolch, J., & Owens, M. (2017). Animals in contemporary architecture and design. Humanimalia, 8(2), 1-26.

# KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞI SENDROMUNA YÖNELİK HEMŞİRELİK BAKIMI

**Yüksek Lisans Öğrencisi Mehtap DAL**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
mehtapp.dal@gmail.com- ORCID ID: 0009-0005-1720-5808

**Prof. Dr. Şenay ARLI**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi,Sağlık Bilimleri Fakültesi,Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği Ana Bilim Dalı
senay1981@yahoo.com

## ÖZET
Beyin dokusu, kan ve beyin omurilik sıvısının (BOS) oluşturduğu basınca kafa içi basınç veya intrakraniyal basınç adı verilmektedir. Kafa içi basıncını oluşturan bu bileşenlerden herhangi birinin çeşitli etiyolojik nedenlere bağlı olarak hacminin artması sonucu dengenin bozulması sonucu kafa içi basınç artışı sendromu (KİBAS) meydana gelmektedir. Beyin tümörleri, kafa travmaları, hidrosefali, intrakraniyal kanamalar ve enfeksiyon gibi nedenlere bağlı olarak gelişebilmektedir. Mortalite ve morbitide oranı yüksektir. Erken dönemde tespit ve tedavisi önem kazanmaktadır. Erken dönemde tespit edilmez ve müdahale edilmezse; serebral perfüzyonun bozulmasına, beyin herniasyonuna, kalıcı hasara hatta ölüme neden olabilmektedir. Bu nedenle KİBAS'ın yönetilmesi nöroşirürji ve yoğun bakım hemşirelerinin önemli rolü bulunmaktadır. Nörolojik izlem, solunum yönetimi, hemodinamik izlem, pozisyonlandırma, vücut sıcaklığının kontrolü, elektrolit takibi, komplikasyonların erken tespit edilmesi ve önlenmesi gibi birden çok alanda hemşireler aktif rol almaktadır. Bu derleme makalede KİBAS'ın ne olduğu, neden kaynaklı meydana geldiği, nasıl tedavi edildiği ve hemşirelik yaklaşımının neler olduğuna değinilmiştir.
**Anahtar Kelimeler:** Kafa İçi Basınç Artışı, Hemşirelik, Nörokritik Bakım, Nöroşirürji

## ABSTRACT
Intracranial pressure (ICP) refers to the pressure exerted by brain tissue, cerebral blood volume, and cerebrospinal fluid (CSF) within the cranial cavity. Increased intracranial pressure syndrome (IICP) occurs when the volume of one or more of these components increases, disrupting intracranial homeostasis. IICP may develop secondary to various conditions, including brain tumors, traumatic brain injury, hydrocephalus, intracranial hemorrhage, and central nervous system infections. It is associated with high rates of morbidity and mortality and requires prompt diagnosis and management. If left untreated, increased intracranial pressure may lead to impaired cerebral perfusion, brain herniation, permanent neurological damage, and death. Therefore, effective management of IICP requires a multidisciplinary approach in which neurosurgeons and intensive care nurses play critical roles. Nurses are actively involved in neurological assessment, respiratory management, hemodynamic monitoring, patient positioning, temperature regulation, electrolyte balance monitoring, and the

early detection and prevention of complications. This review aims to discuss the pathophysiology, causes, clinical management, and nursing approaches related to increased intracranial pressure syndrome.
**Keywords:** Increased Intracranial Pressure, Nursing, Neurocritical Care, Neurosurgery

## 1. GİRİŞ

Beyin dokusu, kan ve beyin omurilik sıvısının (BOS) kafatasına yaptığı basınca kafa içi basınç (KİB) denilmektedir. Kafatası içindeki basını oluşturan bu üç temel bileşen sabit bir basınca sahiptir (Turan,2020). Bu basınç değeri yaklaşık olarak 5-15 mmHg değerindedir. Bileşenlerden birinin hacminde artış olduğunda basıncın korunması için kompanzasyon mekanizması devreye girer ve bu kompanzasyon mekanizmasına Monro-Kellie Doktrini adı verilmektedir (Alakaya,2022). Kompanzasyon mekanizmasının sınırları aşıldığında kafa iç basınçta ani ve ciddi yükselme meydana gelmektedir. Kafa içi basınç arttıkça serebral perfüzyon basıncı (CPP) azalmaktadır (Hawryluk et al., 2022). CPP azaldıkça serebral kan akımı bozulur ve serebral iskemi oluşmaktadır. İskemi, sitotoksik ödeme yol açarak basıncın daha da yükselmesine neden olmaktadır (Hawryluk et al.,2022). KİB artışının seviyesi arttıkça ciddi kalıcı hasara hatta ölüme neden olabilmektedir. Bu nedenle erken dönemde tanılama ve erken müdahale hayati önem kazanmaktadır (Kareemi et al.,2023).

## 2. KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞI SENDROMU (KİBAS)

Kompanzasyon mekanizmanın yetersiz kalmasıyla sabit tutulmaya çalışılan basınç dengesi bozulmakta ve bunun sonucunda KİBAS gelişmektedir (Turan,2020). KİB değeri 5-15mmHg arasında değişiklik göstermektedir . Ancak 20mmHg ve üzerine çıktığında nörolojik belirti ve bulgular görülebilmektedir (Pinto & Adeyinka,2025). Etiyolojisini travmatik veya travmatik olmayan nedenler oluşturmaktadır. Travmatik beyin yaralanmaları, diffüz aksonal yaralanmalar travmatik nedenleri oluşturmaktadır. Hidrosefali, intrakraniyal kanamalar, beyin tümörleri, menenjit gibi enfeksiyonlar, BOS üretiminde veya emiliminde bozulmalar travmatik olmayan nedenleri oluşturmaktadır (Pinto & Adeyinka,2025).

### 2.1. KİBAS Klinik Bulguları

KİBAS klinik bulguları erken dönem ve geç dönem olarak sınıflandırılabilmektedir. Baş ağrısı, bulantı-kusma (özellikle fışkırır tarzda kusma), huzursuzluk, bilinç düzeyinde değişiklik erken dönem bulgularındandır. Erken müdahale edilmediğinde KİBAS şiddeti artarak beyin herniasyonuna neden olabilmekte ve buna bağlı olarak geç dönem bulguları görülebilmektedir (Pinto & Adeyinka,2025). Geç dönem bulgularında cushing üçlüsü beyin sapı herniasyonunu göstermekte ve hipertansiyon, solunum düzensizliği ve bradikardi şeklinde kendini göstermektedir (Tripathy & Ahmad,2019). Buna ek olarak pupil değişiklikleri (örneğin anizokori), VI. Kraniyal sinir paralizisine bağlı diplopi (çift görme), basıncın daha da artması sonucu bilinç kaybı, koma geç dönem belirtilerindendir (Tripathy & Ahmad,2019).

### 2.2. KİBAS Tanılama

KİBAS'ın değerlendirilmesi ve tanılanmasında kapsamlı nörolojik ve fizik muayene, tıbbi öyküye ek olarak yardımcı tetkiklerden yararlanılmaktadır (Pinto & Adeyinka,2025). Erken

tanılama ve erken müdahale, KİBAS'ın kalıcı hasara veya ölüme neden olmasını engelleyeceğinden büyük önem taşımaktadır (Kareemi et al.,2023). Nörolojik değerlendirme klinik bulguların olup olmadığının değerlendirilmesiyle başlamaktadır. Çeşitli araçlar kullanılarak (örneğin glaskow koma skalası ölçeği) bilinç durumu değerlendirilmektedir. Pupil değerlendirmesi yapılır ve pupiller büyüklük, simetri, ışık refleksi açısından değerlendirilmektedir. Cushing üçlüsü açısından vital bulguların takibi yapılması gerekmektedir. Motor güç kaybının olup olmadığını tespit etmek için nörolojik defisit muayenesi yapılması gerekmektedir (Kareemi et al.,2023). Bir diğer tanılama yöntemini görüntüleme yöntemleri oluşturmaktadır. Bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), optik sinir kılıfı çapı ultrasonu, transkraniyal doppler ultrasonografi kullanılan görüntüleme yöntemlerini oluşturmaktadır. Genellikle en sık BT ile görüntüleme yöntemi kullanılmaktadır. BT ile kafa içi basıncın artmasına neden olan etken de saptanabilmektedir (Pinto & Adeyinka,2025). Bu yöntemlere ek olarak invaziv yöntemler de kullanılmaktadır. İnvaziv intrakraniyal izleme altın standart olarak kabul gören ve intrakraniyal basıncın değerinin doğrudan sayısal olarak veren yöntemdir (Kareemi et al.,2023). Eksternal ventriküler drenaj (EVD) veya intrakraniyal basınç (İKB) monitörleri ile ölçülebilmektedir. İKB monitörlerinde beyin parankimine yerleştirilen fiberoptik katater aracılığıyla beyin dokusundan iletilen basıncın ölçülmesini sağlamaktadır (Pinto & Adeyinka,2025). EVD de ise beyin ventrikülüne yerleştirilen kataterle ölçüm gerçekleştirilmektedir. Ayrıca BOS drenajının sağlanmasıyla basıncın düşürülmesine de olanak sağlamaktadır. Ancak enfeksiyon riski daha yüksektir (Kareemi et al.,2023).

### 2.3. KİBAS Tedavi Yöntemleri

KİBAS tedavisinde asıl amaç kafa içi basıncın düşürülmesi, serebral perfüzyonun sürdürülmesi, beyin hasarının önlenmesi ve nedenin tespit edilip ortadan kaldırılmasını içermektedir (Tripathy & Ahmad,2019). Erken tedavi olası komplikasyonların gelişmemesi ve klinik seyrin kötüleşmemesi açısından önemlidir. Bu nedenle hastaların bakım ve tedavisinde aktif rol oynayan hemşirelerin KİBAS belirti ve bulgularını iyi gözlemlemesi ve süreci iyi değerlendirmesi kritik önem taşımaktadır (Kareemi et al.,2023). Genel tedavi yaklaşımları arasında solunumun ve dolaşımın kontrolü, hemodinamik stabilitenin sağlanması, farmakolojik uygulamalar, invaziv ve cerrahi müdahaleler yer almaktadır (Pinto & Adeyinka,2025).

Havayolunun stabilizasyonu, yeterli oksijenasyonun sağlanması, dolaşımın sürdürülmesi bakımın temel amaçlarındandır ve hayati önem taşımaktadır (Viarasilpa,2025). Hipoksi, hiperkapni gibi durumlar serebral vazodilatasyona neden olmakta ve kafa içi basıncı arttırmaktadır (Tripathy & Ahmad,2019). Bilinç düzeyinde değişiklik yaşayan hastanın solunum fonksiyonlarında bozulma görülebileceğinden entübasyona erken hazırlık yapılması gerekmektedir. Öksürme, ağrı, ajitasyon gibi durumlar KİB arttırabileceğinden entübasyon öncesi hasta tepkisiz dahi olsa işlem öncesi sedatif ajanların uygulanması gerekmektedir (Kareemi et al.,2023).

Hemodinamik stabilitenin sağlanmasının en önemli hedefi serebral perfüzyonun sürdürülmesi ve serebral perfüzyon basıncının korunmasıdır (Viarasilpa,2025). Normovoleminin sürdürülmesi, hipotansiyondan kaçınılması, ortalama arter basıncının korunması, sıvı dengesinin sağlanması gibi uygulamaları içermektedir (Karadağ &

Bulut,2022). Hipotansiyon perfüzyonu doğrudan etkilediğinden yeterli intravasküler volümün sağlanması kritik öneme sahiptir. Hipotansiyonu önlemek için normovolemi sağlanmalı, sıvı takviyesi ile desteklenmesi gerekmektedir. Sıvı tedavisinde sıklıklı izotonik kristalloidler kullanılmaktadır ve serebral ödemi arttıracağı için hipotonik sıvılardan kaçınılması gerekmektedir (Viarasilpa,2025). Sıvı yüklemesinin yeterli gelmediği durumlarda vasopressör ajanların kullanılması gerekmektedir. Nörepinefrin en sık kullanılan vasopressörlerden biridir (Karadağ & Bulut,2022). Serebral perfüzyon basıncının korunması için kompanzasyon mekanizmasının veya fazla sıvı yüklemesinin sonucu olarak hipertansiyon görülebilmektedir. Bu durumda tansiyonun hızlı ve aniden düşürülmemesi gerekmektedir. Sıklıkla sedasyonla veya beta-blokerler aracılığıyla hipertansiyona müdahale edilmektedir (Tripathy & Ahmad,2019).

Hiperventilasyon, hipokapni sağlayarak serebral arter vazokonstrüksiyonu yoluyla kan hacminin azaltılması ve bu sayede kafa içi basıncın azaltılmasına dayanmaktadır (Kareemi et al.,2023). Kandaki karbondioksit artarsa vazodilatasyon, azalırsa vazokonstrüksiyon görülmektedir. Hiperventilasyonla kanda karbondioksit azalmaktadır. Damarların vazokonstrüksiyona uğraması kan akımını düşürerek beyin kan hacminin azalmasını sağlamaktadır. Kan hacminin azalması da kafa içi basıncın azalmasını sağlamaktadır (Karadağ & Bulut,2022). Kan akımının azaltılması iskemi riski taşıdığı için uzun süreli tedavi olarak uygulanamamaktadır. Diğer tedavilere yanıt alınamadığı durumlarda, geçici tedavi olarak uygulanması gerekmektedir (Kareemi et al.,2023).

Steroidler, serebral ödemi kontrol altına almada kullanılan ancak kullanımı sınırlı olan tedavi yöntemidir. Beyin tümörü kaynaklı KİBA durumunda etkili olmasına rağmen kafa yaralanması olan hastalarda mortaliteyi arttırdığı gerekçesiyle rutin kullanımı önerilmemektedir (Pinto & Adeyinka,2025).

Sedasyon ve analjezi serebral metabolizmayı azaltır ve KİBA ‘yı düşürmektedir (Karadağ & Bulut,2022). Çünkü sedasyon ve analjezi, bireyin ağrı, ajitasyon, öksürme, öğürme vb. durumları yaşamasını dolayısıyla KİBA’ya neden olabilecek olası durumları engellemektedir (Tripathy & Ahmad,2019).

Ozmotik ajanlar, beyin dokusunda dehidratasyon sağlayarak serebral ödemi azaltır ve kafa içi basıncı düşürmektedir (Karadağ & Bulut,2022). Ozmotik diüretik olarak en sık mannitol kullanılmaktadır. Bir diğer medikal ajan hipertonik salin (HTS)’dir (Tripathy & Ahmad,2019). Mannitol plazmanın genişlemesine neden olmakta ve kısa sürede (1-5 dakika) etkisini göstermektedir. Hipertonik salinler, mannitolle hemen hemen aynı işlevde olmasına rağmen bazı farklara sahiptir. Diüretik etkisi mannitole göre daha az olduğundan kritik hastalarda hemodinamik stabilitenin korunması açısından avantaj sağlamaktadır (Viarasilpa,2025).

Alanazi ve arkadaşları (2026) tarafından, HTS ve mannitolün etkinliğinin karşılaştırılması amacıyla yürütülen çalışma sonucunda her iki ajanında KİBA’da etkili olduğu ancak HTS’nin bazı üstünlükleri olduğu bulunmuştur. Daha yüksek serebral perfüzyon basıncı, daha iyi serebral oksijenasyon, daha düşük tedavi başarısızlığı, kritik hastalarda daha güvenli tedavi gibi avantajları olduğu görülmüştür. Genel olarak çalışma sonucunda ise mevcut kanıtlara bakıldığında bu avantajların mortalite ve nörolojik iyileşme açısından kesin üstünlük oluşturmadığı saptanmıştır.

Hemmati ve arkadaşları (2025) tarafından, aynı amaçla yürütülen başka bir çalışmada HTS'nin KİBA'da etkinlik açısından mannitolle çok benzer olduğu ve bazı komplikasyon riskleri açısından daha güvenilir olduğu görülmüştür. Mannitol kullanılan hastalarda hiponatremi, hipotansiyon, akut böbrek hasarı ve hemodinamik instabilite gibi komplikasyonlar görülmüştür. Çalışma sonucunda var olan kanıtların geçerliliğinin yüksek olmadığı gerekçesiyle tedavi seçiminin hastaya özgü klinik özelliklere (böbrek fonksiyonları, kardiyovasküler durum, nörolojik durum, yaş, hemodinamik durum...) göre planlanması gerektiği vurgulanmıştır.

KİBAS'ta bir diğer tedavi seçeneği BOS'un kontrollü şekilde drenajının sağlanması yöntemidir. BOS drenajı basıncın düşürülmesinde hızlı ve etkili girişimsel bir işlemdir (Karadağ & Bulut,2022). Eksternal ventriküler drenaj (EVD) altın standart olarak uygulanan drenaj yöntemidir. EVD kontrollü drenaj imkanı sunarken aynı zamandan basıncın izlenmesini sağlayarak aynı zamanda tanılamada da kullanılmaktadır (Pinto & Adeyinka,2025).

Lele (2024) tarafından, hastane içi taşımalarda EVD'li hastalarda oluşabilecek riskleri değerlendirmek amacıyla yazılan derlemede; EVD'nin taşıma sırasında kapatıldığı ve basıncın değerlendirilemediği durumlar üzerine tartışılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda taşıma sırasına intrakraniyal basınçta artma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum da sekonder beyin hasarı riskini arttırmaktadır. Bu nedenle intrakraniyal basınç monitörizasyonunun, hasta taşınması sırasında standart uygulanması gerekmektedir (Lele, 2024).

### 2.4. KİBAS Komplikasyonları

KİBAS, erken dönemde müdahale edilmediğinde hızlı bir şekilde ilerleyen, kalıcı beyin hasarı hatta ölüme neden olabilmektedir (Karadağ & Bulut,2022). Aşırı KİBA nedeniyle beyin dokusu yer değiştirir ve buna beyin herniasyonu adı verilmektedir. Beyin sapındaki hayati organların sıkışması sonucunda bilinç kaybı, solunum bozukluğu gibi yaşamı tehdit edici durumlar gelişebilmektedir (Karadağ & Bulut,2022). Herniasyon komplikasyonunu saptayabilmek için cushing üçlüsü bulgularını gözlemlemek gerekmektedir. Ayrıca papilödem, nöbet, görme kayıpları, koma ve ölüm sık karşılaşılan komplikasyonlardandır (Pinto & Adeyinka,2025).

Serebral perfüzyon basıncının bozulmasına bağlı olarak beyin dokusunda iskemi görülebilmektedir. İskemi sonucunda nörolojik bozukluklar, motor fonksiyon bozuklukları gelişebilmektedir. İskeminin şiddetine göre KİB normale dönse bile fonksiyon kayıpları normale dönmeyebilir ve kalıcı hasar meydana gelebilmektedir (Pinto & Adeyinka,2025).

KİBA'ya bağlı olabileceği gibi uygulanan tedaviye yönelik de ikincil komplikasyonlar görülebilmektedir. Örneğin ozmotik tedavi sonrası elektrolit bozuklukları, sıvı volüm dengesizlikleri, böbrek hasarı gibi komplikasyonlar gelişebilmektedir. Ayrıca EVD, LD gibi invaziv işlemler enfeksiyon riski taşımaktadır (Tripathy & Ahmad,2019).

### 2.5. KİBAS ve Hemşirelik Bakımı

Hemşirelik bakımında; nörolojik fonksiyonların korunması, KİBA semptomlarının ve komplikasyonlarının önlenmesi, serebral perfüzyonun sürdürülmesi ve olası beyin hasarının önlenmesi temel hedeftir (Pinto & Adeyinka,2025).

Nörolojik durumun sık sık değerlendirilmesi öncelikli hemşirelik girişimlerini oluşturmaktadır. Bilinç düzeyinin ve pupillerin değerlendirilmesi, intrakraniyal basıncın izlenmesi, serebral perfüzyon basıncının sürdürülmesi, hemodinamik stabilitenin sağlanması girişimleri nörokritik hastalarda uygulanması gereken önemli hemşirelik girişimlerini oluşturmaktadır (Karadağ & Bulut,2022).

Basıncı düşürmede noninvaziv yöntemlerden biri venöz drenajın kolaylaştırılması için yatak başının pozisyonlandırılmasıdır. Yatak başı 30-45° yükseltilmesi önerilmektedir (Kareemi et al.,2023). Hipoksi ve hiperkapniyi önlemek amacıyla kan gazı ve ventilatör takibi önem kazanmaktadır. Ayrıca endikasyon dışı aspirasyon uygulamasından kaçınılması gerekmektedir (Livesay,2024).

EVD uygulanan hastalarda EVD bakımı ve takibi konusunda hasta ve hasta yakınlarının bilgilendirilmesi önemlidir. EVD 'nin seviyesinin korunması drenaj miktarı açısından önem taşımaktadır (Koçaşlı et al.,2025). Drenaj seviyesi pupil hizasında olmalıdır. Pupil seviyesinden yukarıda olması drenajın azalmasına, pupil seviyesinden aşağıda olması ise fazla drenaja neden olabilmektedir. Ayrıca pozisyon değiştirirken EVD sisteminin klemplenmesi gerektiği, kabloların bükülmemesi ve sıkıştırılmaması gerektiği, drenaj kataterinin yerinden çıkmaması konusunda dikkatl olunması gerektiği hasta ve yakınlarına anlatılması olası komplikasyonları önlemek açısından önem kazanmaktadır (Koçaşlı et al.,2025). Hemşireler drenaj bakımı ve takibi sırasında enfeksiyon riskini önlemek için aseptik teknikleri gözetmesi gerekmektedir.

Ajitasyon KİB artışına neden olabilecek önemli bir faktördür. Ajitasyonun önlenmesi basıncın artmasını engellemek açısından önemlidir. Hastayla açık ve etkili iletişim kurulması, kaygılarının dinlenmesi (eğer bilinci açık, iletişim için engel yoksa), bilgi eksikliğinin giderilmesi, ışık, gürültü gibi çevresel uyaranların azaltılması, uykusuzluğun önlenmesi gibi hemşirelik girişimlerinin uygulanması gerekmektedir (Livesay,2024).

Hastanede yatış, uygulanan bakım, tedavi ve girişimler, tıbbi sürece yönelik bilinmezlik gibi durumlar hasta ve hasta yakınlarına anksiyeteye sebep olabilmektedir. Bu süreçte hemşireler bakıma hasta ve yakınlarının psikolojik süreçlerini de dahil etmeli ve psikososyal destek vermesi gerekmektedir (Livesay,2024).

Yoğun bakımda tedavi gören kritik hastalarda intrakraniyal basınç (ICP) monitörizasyonu sırasında hemşirelik bakımın önemini literatüre dayanarak tartışmak amacıyla yazılan bir derlemede; ICP monitörizasyonunda hemşirelerin doğrudan rol aldığı gözlemlenmiştir. Hemşirelik uygulamalarında kanıta dayalı ve sistematik hemşirelik uygulamalarının, serebral perfüzyonu koruduğuna, olası komplikasyonları önlediğine ve sekonder beyin hasarını önlediğine değinilmiştir (Cruz & Guimarães, 2023).

Nöroşirurji yoğun bakım ünitesinde beyin hasarı olan hastalarda intrakraniyal hipertansiyonun yönetiminde kanıta dayalı uygulamaların kullanıldığı ve bu uygulamaların hasta sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Kanıta dayalı uygulamaların hastaların klinik sonuçlarını iyileştirdiği, hemşirelerin farkındalık düzeyinde artış olduğu, değerlendirme ve yönetim konusunda hemşirelerin etkinliklerinin arttığı gözlemlenmiştir (Cheng et al.,2026).

## 3. SONUÇ

KİBAS, akut gelişen, hızlı bir şekilde ilerleyen ve erken müdahalenin hayati öneme sahip olduğu klinik bir durumdur. Bu süreçte hemşirelik yaklaşımı; yalnızca tedavi ve bakımların

yapılmasını değil, aynı zamanda hasta ve hasta yakınlarına bütüncül bir hemşirelik yaklaşımı ile yaklaşılmasını içermektedir. Bu yaklaşım hastaların bakım ve tedavisinde büyük bir rolü olan hemşirelerin, olası komplikasyonları erkenden tespit edebilmesine yardımcı olmakta ve mortalite oranlarını etkilemektedir. Özetle, multidisipliner ekip ile kanıta dayalı ve sistematik bir şekilde yürütülen hemşirelik bakımı olgumuzda da görüldüğü gibi hastanın klinik iyileşmesini hızlandırır, olası komplikasyonları önler, hayati fonksiyonların sürdürülmesini sağlayarak sağ kalım oranını etkilemektedir.

## 4. ÖNERİLER

KİBAS'lı hastalarda bakım kalitesini arttırmak ve klinik iyileşmenin sağlanabilmesi için kanıta dayalı ve sistematik hemşirelik bakımı standartize etmek için kılavuzlar, rehberler oluşturulmalıdır. Hastaların klinik değerlendirmelerinde hata payını azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla objektif ölçüm araçları (Glaskow Koma Skalası, Richmond Ajitasyon Ağrı Skalası ...) kullanımının sağlanması gerekmektedir. Ayrıca klinik araştırmaların artırılması ve bu çalışmalar sonucu elde edile verilerin klinik hemşirelik uygulamalarına entegre edilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

**1.** Alakaya, M. (2022). Çocuklarda kafa içi basınç artışı sendromu ve tedavisi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 15*(Özel Sayı-1, Mersin Pediatri Günleri Bildiri Kitabı), 57–62.

**2.** Alanazi, M. M., Gassem, J. S., & Alharthi, A. A. (2026). Acil serviste travmatik beyin hasarının akut yönetiminde hipertonik salin ve mannitolün etkinliği ve güvenliği: Sistematik bir inceleme. *Tazeez Halk Sağlığı Dergisi, 3*(3).

**3.** Carney, N., Totten, A. M., O'Reilly, C., Ullman, J. S., Hawryluk, G. W. J., Bell, M. J., Bratton, S. L., Chesnut, R., Harris, O. A., Kissoon, N., Rubiano, A. M., Shutter, L., Tasker, R. C., Vavilala, M. S., Wilberger, J., Wright, D. W., & Ghajar, J. (2017). Guidelines for the management of severe traumatic brain injury (4th ed.). Neurosurgery, 80(1), 6–15. https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001432

**4.** Cheng, Y.-H., Pan, J.-D., Xu, C.-H., Mou, D., Guo, H.-L., Yan, H.-B., Chen, Q.-L., Li, W.-J., Huang, F.-A., Zhang, B.-X., Qiu, X.-Y., Lei, Q.-M., & Ling, D.-L. (2026). *Nursing management of intracranial hypertension in adults with severe brain injury in a neurosurgery intensive care unit: A best practice implementation project*. *JBI Evidence Implementation, 24*(1), 4–22. https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000452

**5.** Cruz, I. F., & Guimarães, M. A. P. (2023). *The importance of nursing care in monitoring intracranial pressure of critically ill patients*. *Journal of Specialized Nursing Care, 15*(1).

**6.** Eti Aslan, F. (Ed.). (2024). *Kanıt temelli cerrahi bakım: Vaka analizleri ile birlikte* (3. baskı). Akademisyen Kitabevi.

**7.** Hemmati, M., Abbasi, H., Bahri, A., Fallah, M., Sharifzadeh, S., Oveisi, S., Oraee Yazdani, S., Zali, A., Shojaei, S., & Fahim, F. (2025). Evaluation of complications associated with hypertonic saline versus mannitol in the management of intracranial hypertension and their mitigation strategies: A systematic review. medRxiv. https://doi.org/10.1101/2025.04.25.25326424

**8.** Karadağ, M., & Bulut, H. (Eds.). (2022). Cerrahi hemşireliği 2: Kavram haritası ve akış şemalı. Vize Yayıncılık.

**9.** Kareemi, H., Pratte, M., English, S., & Hendin, A. (2023). Initial diagnosis and management of acutely elevated intracranial pressure. Journal of Intensive Care Medicine, 38(7), 643–650. https://doi.org/10.1177/08850666231156589.

**10.** Koçaşlı, S., Kayış, C. N., & Gökdemir, Ş. (2025). Yoğun bakım hemşirelerinin eksternal ventriküler drenaj bakımına ilişkin bilgi düzeyleri: Yarı deneysel bir çalışma. Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi, 29(1), 33–44.

**11.** Lele, A. V. (2024). *Intrahospital transport of patients with EVDs: Monitor ICP and prepare to treat intracranial hypertension*. *ASA Monitor, 88*(11), 36. https://doi.org/10.1097/01.ASM.0001081596.36803.c8

**12.** Livesay, S. L. (2024). Nursing interventions in neurocritical care. Seminars in Neurology, 44(3), 357–361. https://doi.org/10.1055/s-0044-1787048.

**13.** Pinto, V. L., & Adeyinka, A. (2025). Increased intracranial pressure. In StatPearls. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482119/

**14.** Tripathy, S., & Ahmad, S. R. (2019). Raised intracranial pressure syndrome: A stepwise approach. Indian Journal of Critical Care Medicine, 23(Suppl. 2), S129–S135. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23190

**15.** Turan, U. D. C. (2020). Kafa içi basınç artışı ve acil yaklaşım. İzmir Çocuk Acil Tıp ve Hemşirelik Günleri.

**16.** Viarasilpa, T. (2025). Managing intracranial pressure crisis. Current Neurology and Neuroscience Reports, 25, 12. https://doi.org/10.1007/s11910-024-01392-5

# ÜÇLÜ NEGATİF MEME KANSERİNDE DROXİNOSTAT TEMELLİ EPİGENETİK–KEMOTERAPİ KOMBİNASYONUNUN FONKSİYONEL VE TRANSKRİPTOMİK ETKİLERİ

Dr. Ecz. Fazilet Esra İNCEDERE DÜZDAĞ
Ege Ünivetsitesi Tıp fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
İzmir Şehir Hastanesi
esrainc@hotmail.com 0000-0002-2111-1418

Prof. Dr. Burçin TEZCANLI KAYMAZ
Ege Ünivetsitesi Tıp fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
burcin.tezcanli@ege.edu.tr 0000-0003-1832-1454

Üçlü negatif meme kanseri (ÜNMK), hedefe yönelik tedavi seçeneklerinin azlığı ve sık gelişen kemoterapi direnci nedeniyle agresif seyirli bir alt tiptir. Epigenetik yeniden programlama yoluyla histon deasetilaz (HDAC) inhibisyonu, tümör hücrelerini kemoterapi ve immünoterapiye yeniden duyarlılaştırabilecek bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, HDAC inhibitörü Droxinostat'ın ÜNMK hücrelerinde Nab-paklitaksele duyarlılığı artırma potansiyeli ve Atezolizumab ile kombinasyonunun biyolojik ve transkriptomik etkileri araştırıldı.

MDA-MB-231 ve MCF-10A hücreleri Droxinostat, Nab-paklitaksel ve Atezolizumab ile tekli ve kombine biçimde tedavi edildi. Sitotoksisite ve kombinasyon indeksi hesaplandı; apoptoz ve hücre döngüsü akım sitometrisi ile, DNA hasarı comet ve mikronükleus testleri ile değerlendirildi. Oksidatif stres SOD aktivitesi ve GSH düzeyleri üzerinden, toplam HDAC aktivitesi enzimatik yöntemle ölçüldü. Droxinostat monoterapisi ve kombinasyon tedavilerine ait gen imzaları RNA-seq tabanlı diferansiyel gen ekspresyon analizi ile tanımlandı.

Droxinostat, ÜNMK hücrelerinde normal hücrelere kıyasla daha belirgin sitotoksisite ve apoptoz oluşturdu. Nab-paklitaksel ile kombinasyonu, orta düzey sinerjiyle birlikte apoptozu artırdı, S/G2-M ve M faz birikimini güçlendirdi ve oksidatif DNA hasarını anlamlı düzeyde yükseltti. RNA-seq analizi, Droxinostat'ın CASP7/CASP9 ve BAK1 artışı ile BCL2L1 ve FAS azalmasına yol açarak apoptozu desteklediğini ve HDAC ailesi genlerinde izoform-spesifik değişiklikler oluşturduğunu gösterdi. Kombinasyon tedavisi, inflamatuvar ve hasar yanıtı ile ilişkili kemokin, sitokin ve kompleman genlerini yukarı, EMT ve invazyonla ilişkili genleri aşağı regüle eden belirgin bir transkriptomik imza oluşturdu. Atezolizumab tek başına sınırlı sitotoksisite gösterdi; kombinasyon tedavilerinde gözlenen artmış apoptoz, DNA hasarı ve transkriptomik yeniden programlama esas olarak Droxinostat ve Nab-paklitaksel bileşenleri ile ilişkiliydi.

Droxinostat temelli tedavi, özellikle Nab-paklitaksel ile kombinasyon halinde, ÜNMK hücrelerini epigenetik ve transkriptomik düzeyde yeniden programlayarak daha kemoterapiye duyarlı ve daha az invazif bir fenotipe dönüştürmektedir. Elde edilen veriler, ÜNMK'de HDAC inhibisyonuna dayalı epigenetik–kemoterapi kombinasyonlarının tedavi direncini aşmaya yönelik translasyonel yaklaşım olabileceğini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Histon deasetilaz inhibisyonu, Üçlü Negatif Meme Kanseri, Kemoterapi

# TRIPLE-NEGATIVE BREAST CANCER: FUNCTIONAL AND TRANSCRIPTOMIC EFFECTS OF A DROXINOSTAT-BASED EPIGENETIC–CHEMOTHERAPY COMBINATION

Triple-negative breast cancer (TNBC) is an aggressive subtype characterized by limited targeted treatment options and frequent development of chemoresistance. Epigenetic reprogramming through histone deacetylase (HDAC) inhibition has emerged as a potential strategy to resensitize tumor cells to chemotherapy and immunotherapy. In this study, we investigated the ability of the HDAC inhibitor Droxinostat to enhance sensitivity to nab-paclitaxel in TNBC cells and evaluated the biological and transcriptomic effects of its combination with atezolizumab.

MDA-MB-231 and MCF-10A cells were treated with Droxinostat, nab-paclitaxel and atezolizumab as single agents and in combinations. Cytotoxicity and combination index were determined; apoptosis and cell cycle were analyzed by flow cytometry, and DNA damage was assessed using comet and micronucleus assays. Oxidative stress was evaluated by measuring SOD activity and GSH levels, and total HDAC activity was quantified enzymatically. RNA-seq–based differential gene expression analysis was used to define gene signatures associated with Droxinostat monotherapy and combination treatments.

Droxinostat induced more pronounced cytotoxicity and apoptosis in TNBC cells than in normal cells. Its combination with nab-paclitaxel produced moderate synergy, increased apoptosis, reinforced S/G2-M and M-phase accumulation, and significantly elevated oxidative DNA damage. RNA-seq analysis showed that Droxinostat supports apoptosis by increasing CASP7, CASP9 and BAK1 while decreasing BCL2L1 and FAS, and induces isoform-specific changes in HDAC family genes. The combination treatment generated a distinct transcriptomic signature characterized by upregulation of chemokines, cytokines and complement genes involved in inflammatory and damage responses, and downregulation of integrins, EMT- and invasion-related genes. Atezolizumab alone exhibited limited cytotoxicity; the enhanced apoptosis, DNA damage and transcriptomic reprogramming observed in combination regimens were mainly attributable to Droxinostat and nab-paclitaxel.

Droxinostat-based treatment, particularly in combination with nab-paclitaxel, reprograms TNBC cells at the epigenetic and transcriptomic levels toward a more chemosensitive and less invasive phenotype. These findings support HDAC inhibition–based epigenetic–chemotherapy combinations as a promising translational strategy to overcome treatment resistance in TNBC.

**Keywords:** Histone deacetylase inhibition, Triple-negative breast cancer, Chemotherapy

# STAT5 HEDEFLENMESİNİN İMATİNİB DİRENCİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN MOLEKÜLER ANALİZİ

**Dr. İlayda ALÇITEPE**
Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji ABD,
ilaydaalcitepe@gmail.com – 0000-0002-7548-9248

**Prof. Dr. Burçin KAYMAZ**
Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji ABD,
burcin.tezcanli@ege.edu.tr-0000-0003-1832-1454

## ÖZET

BCR::ABL1 füzyon proteininin oluşturduğu sürekli tirozin kinaz aktivitesi sonucu ortaya çıkan ve lösemik hücrelerin proliferasyonunu destekleyen bir hematolojik malignite olan kronik myeloid lösemi (KML) tedavisinde, tirozin kinaz inhibitörleri (TKİ) ile elde edilen klinik başarıya rağmen tedavi direnci, hastalık seyrinde önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle direnç mekanizmalarında rol alan alternatif sinyal yolaklarının hedeflenmesi, yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Pimozid'in BCR::ABL1 tirozin kinaz bölgesine bağlanma potansiyeli moleküler yerleşim analizleri ile gösterilmiştir. İmatinib ve pimozid'in mono ve kombine uygulamalarının K562, imatinibe dirençli K562, sağlıklı B-lenfoblast NCIBL2171 ve hematopoetik kök hücreler (HSC) üzerindeki sitotoksik, apoptotik, hücre döngüsü progresyonu üzerindeki etkileri ve moleküler süreçle ilişkili genlerdeki ekspresyon değişimleri hücresel düzeyde analiz edilmiştir. Kombinasyon tedavisi K562 hücrelerinde sinerjistik etki oluşturmuş ve dirençli hücrelerde biyolojik aktivitesini sürdürdüğü görülmüştür. Apoptoz analizleri, kombinasyon etkisinin monoterapilere kıyasla daha güçlü apoptotik yanıt oluşturduğunu göstermiştir. Hücre döngüsü analizlerinde, proliferasyonun baskılandığı ve hücrelerin G0/G1 fazında arresti belirlenmiştir. Gen ekspresyon analizleri, JAK/STAT sinyal yolunun baskılandığını, proapoptotik genlerin arttığını ve antiapoptotik genlerin azaldığını ortaya koymuştur. Protein-protein etkileşim ağı analizlerinde ise *STAT3, MYC, AKT1* ve *BCL2* merkezi düzenleyici düğümler olarak tanımlanmıştır.

Sonuç olarak, STAT5 inhibisyonunun imatinib'in antitümör etkisini artırdığı ve TKI direnciyle ilişkili sinyal yolaklarını baskıladığı gösterilmiştir. Pimozide–imatinib kombinasyonu, KML'de proliferasyonu azaltırken apoptotik yanıtı artıran potansiyel bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Ayrıca STAT5 eksenine bağlı gen ağlarının ortaya konması, direnç mekanizmalarının hedeflenmesine yönelik yeni terapötik stratejilere ışık tutmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İmatinib Direnci; STAT5; Kombinasyon tedavisi

# Elde Nadir Görülen Kondrosarkom Olgusunda PET-BT ile Saptanan İnsidental Düşük Dereceli Villöz Adenom: Olgu Sunumu

**Uzman Doktor Fatih TAHAK**

Karapınar Devlet Hastanesi,

dr.fth.th@gmail.com - ORCID ID: 0009-0005-3684-7953

## ÖZET

**Giriş:**
Kondrosarkom, kıkırdak dokudan köken alan malign bir kemik tümörü olup sıklıkla pelvis, proksimal femur, proksimal humerus ve kostalarda görülür. El yerleşimli kondrosarkomlar nadir olmakla birlikte elin en sık görülen malign kemik tümörüdür. Kesin tanı biyopsi ile konulurken, görüntüleme yöntemleri tanı, evreleme ve takipte kullanılmaktadır. 18F-FDG PET/BT, kondrosarkomun değerlendirilmesinde yüksek doğruluk sağlamasının yanı sıra klinik açıdan anlamlı insidental lezyonların saptanmasına da olanak tanımaktadır.

**Olgu Sunumu:**
Altmış altı yaşında kadın hasta, sağ el ikinci parmak distal interfalangeal eklem düzeyinde üçüncü kez nüks eden kitle nedeniyle başvurdu. Hastanın aynı bölgeden 8 ve 2 yıl önce eksizyon öyküsü bulunmakta olup önceki örneklerde patolojik inceleme yapılmamıştı. Ultrasonografide benign özellikler izlenmesi üzerine eksizyonel biyopsi gerçekleştirildi ve patoloji sonucu grade 2 kondrosarkom olarak raporlandı. Bunun üzerine proksimal interfalangeal eklem seviyesinden amputasyon uygulandı. Amputat incelemesinde grade 2 kondrosarkom doğrulandı; kemik invazyonu, nekroz ve cerrahi sınır pozitifliği saptanmadı. Metastaz taraması amacıyla yapılan PET-BT'de amputasyon bölgesi dahil ek patoloji izlenmezken, sigmoid kolon lokalizasyonunda SUVmax 23,82 olan hipermetabolik yumuşak doku lezyonu tespit edildi. Kolonoskopide sigmoid kolon yerleşimli polipoid lezyon saptandı ve histopatolojik inceleme düşük dereceli displazili villöz adenom ile uyumlu bulundu. Hastaya transanal minimal invaziv cerrahi (TAMIS) uygulandı. Altı aylık takip süresince nüks veya ek patoloji izlenmedi, adjuvan tedavi gereksinimi olmadı.

**Sonuç:**
PET-BT, kondrosarkomun evrelenmesi ve metastaz araştırılmasının yanı sıra klinik açıdan önemli insidental lezyonların saptanmasında da değerli bir yöntemdir. Bu olguda PET-BT sayesinde premalign özellik taşıyan villöz adenom erken dönemde tanınmış ve tedavi edilmiştir. Kondrosarkom hastalarının değerlendirilmesinde PET-BT bulgularının dikkatle incelenmesi ek patolojilerin erken tanısına katkı sağlayabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kondrosarkom, el tümörleri, PET-BT, villöz adenom, insidental bulgu.

# MCF-7 VE MDA-MB-231 HÜCRELERİNDE JUGLONUN PROOKSİDAN ETKİSİ: ARTMIŞ OKSİDATİF STRES VE KANSER HÜCRE ÖLÜMÜ

**Doç. Dr. Özgen KILIÇ ERKEK**
Pamukkale Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Fizyoloji Anabilim Dalı
E-posta: oerkek@pau.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8037-099X

**Dr. Öğr. Üyesi Buket ER URGANCI**
Pamukkale Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı
E-posta : aber@pau.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-5339-3835

## ÖZET

Meme kanseri, tümör içi moleküler heterojenite ve tedaviye direnç gelişimi nedeniyle günümüzde önemli bir klinik sorun olmaya devam etmektedir. Doğal bir naftokinon türevi olan juglon (5-hidroksi-1,4-naftokinon), hücresel redoks homeostazisini bozarak oksidatif stres aracılı sitotoksik etkiler oluşturabilen potansiyel bir antikanser ajandır. Bu çalışmada juglonun hormon reseptörü pozitif MCF-7 ile triple-negatif MDA-MB-231 meme kanseri hücrelerinde oksidatif hasarın kantitatif olarak değerlendirilmesi ve kombinasyon tedavi stratejilerinde juglonun olası terapötik katkısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda ER+/PR+/HER2− özellikte invaziv duktal karsinom hücre hattı olan MCF-7 ile triple-negatif meme kanseri hücre hattı olan MDA-MB-231 kullanılmıştır. Hücreler %10 fetal bovin serum ve %1 penisilin/streptomisin içeren RPMI-1640 besiyerinde kültüre edilerek 37°C'de inkübe edilmiştir. Juglon her iki hücre hattında da $IC_{50}$ değerlerinin altında kalan subtoksik konsantrasyonda uygulanmıştır. Hücreler juglon ile 48 saat inkübe edildikten sonra hücre lizatları toplanmıştır. Total oksidan/antioksidan seviyeleri (TOS/TAS) kolorimetrik yöntemle ölçülmüş ve oksidatif stres indeksi (OSİ) hesaplanmıştır. Tek yönlü ANOVA ile post hoc Tukey testi yapılmış ve $p < 0,05$ anlamlı kabul edilmiştir. MCF-7 hücrelerinde juglon tedavisi sonrasında TAS istatiksel olarak anlamlı düzeyde azalmış ve TOS ile OSİ ise artmıştır ($p<0,001$). Benzer şekilde MDA-MB-231 hücrelerinde istatiksel olarak anlamlı düzeyde TAS azalmış ve TOS ile OSİ ise artmıştır ($p<0,001$). OSİ değeri MCF-7 hücrelerinde 6,7 kat, MDA-MB-231 hücrelerinde ise 11,9 kat artmıştır. Elde edilen veriler juglonun meme kanseri hücrelerinde redoks homeostazisini bozarak oksidatif stres yanıtını artırdığını ve bu etkinin MDA-MB-231 hücrelerinde daha belirgin olduğunu göstermektedir. Sonuçlarımız özellikle tedaviye dirençli meme kanseri alt tiplerinde potansiyel kullanım alanlarının değerlendirilmesine katkı sağlamakta olup, juglonun hücresel stres yanıtları üzerindeki

etkilerinin aydınlatılması ve kombine tedavi stratejileri için deneysel bir temel oluşturulması önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Meme kanseri, juglon, oksidatif stres

# PSİKOSOSYAL FAKTÖRLERİN DOĞUM EYLEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: GÜNCEL BİR DERLEME

**Arş. Gör. Gülnaz ERDİ**
Çukurova Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/Ebelik Anabilim Dalı,
gerdi@cu.edu.tr - 0000-0002-9371-6571

**Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ**
Çukurova Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi/Ebelik Bölümü,
gokyildizsule@gmail.com - 0000-0002-0088-4219

## ÖZET

Doğum eylemi; doğum kanalı, fetüs, itici güçler ve annenin psikososyal durumundan oluşan dört temel faktörün dinamik ve uyumlu etkileşimiyle gerçekleşen fizyolojik bir süreçtir. Geleneksel yaklaşımlar daha çok eylemin biyolojik boyutuna odaklansa da son yıllarda doğum sonuçlarının yalnızca biyolojik faktörlerle değil, kadının psikososyal iyilik haliyle de yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu derlemenin amacı, psikososyal faktörlerin doğum eylemi üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemektir. Literatür, gebelik döneminde yaşanan psikososyal sorunların doğum sürecini çeşitli mekanizmalar aracılığıyla etkilediğini göstermektedir. Yüksek düzeydeki maternal stres ve anksiyetenin nöroendokrin sistemi uyararak katekolamin salınımını artırdığı; bunun sonucunda ise uterin kontraksiyonları olumsuz etkileyerek doğum süresinin uzamasına ve fetal iyilik halinin bozulmasına yol açabildiği bildirilmektedir. Benzer şekilde tokofobinin (doğum korkusu); doğum ağrısının daha yoğun algılanması, müdahaleli doğum ve sezaryen oranlarının artması ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Buna karşılık; yeterli ailevi ve toplumsal destek, olumlu eş birlikteliği, sürekli ebe desteği ile doğuma hazırlık eğitimleri gibi koruyucu psikososyal faktörlerin gebelikte psikolojik uyumu güçlendirdiği, doğum korkusunu azalttığı ve olumlu doğum deneyimini desteklediği saptanmıştır. Sonuç olarak psikososyal durum, doğum eyleminin yönetiminde en az fiziksel faktörler kadar etkilidir. Doğum öncesi bakımlarda psikososyal risk taramalarının yapılması, doğuma hazırlık eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve ebelerin kanıta dayalı destekleyici yaklaşımı, olumlu anne ve yenidoğan sonuçlarının geliştirilmesi açısından kritiktir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğum Eylemi, Psikososyal Sağlık, Ebelik Bakımı.

# EFFECTS OF PSYCHOSOCIAL FACTORS ON LABOR: A CURRENT REVIEW

**Res. Asst. Gülnaz ERDİ**
Çukurova University/ Institute of Health Sciences/ Department of Midwifery,
gerdi@cu.edu.tr - 0000-0002-9371-6571

**Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ**
Çukurova University/ Faculty of Health Sciences/ Department of Midwifery,
gokyildizsule@gmail.com - 0000-0002-0088-4219

## ABSTRACT

Labor is a physiological process that occurs through the dynamic and harmonious interaction of four fundamental factors: the birth canal, the fetus, the driving forces, and the mother's psychosocial status. While traditional approaches have focused primarily on the biological dimension of labor, recent years have shown that birth outcomes are closely related not only to biological factors but also to the woman's psychosocial well-being. The aim of this review is to examine the effects of psychosocial factors on labor in light of current literature. The literature indicates that psychosocial problems experienced during pregnancy affect the birth process through various mechanisms. High levels of maternal stress and anxiety are reported to stimulate the neuroendocrine system, increasing catecholamine release; consequently, this can negatively affect uterine contractions, leading to prolonged labor and impaired fetal well-being. Similarly, tokophobia (fear of childbirth) is associated with a more intense perception of labor pain, increased rates of interventional delivery, and cesarean section. Conversely, adequate family and social support, positive spousal co-existence, continuous midwifery support, and childbirth preparation education are found to strengthen psychological adjustment during pregnancy, reduce fear of childbirth, and support a positive birth experience. In conclusion, psychosocial status is at least as influential as physical factors in managing labor. Conducting psychosocial risk screenings in prenatal care, expanding childbirth preparation education, and midwives' evidence-based supportive approach are critical for improving positive maternal and newborn outcomes.

**Keywords:** Labor, Psychosocial Health, Midwifery Care.

# DOĞUM SÜRECİNDE MATERNAL POZİSYONUN ÖNEMİ VE KLİNİK SONUÇLARA ETKİSİ: DERLEME ÇALIŞMASI

**Arş. Gör. Gülnaz ERDİ**
Çukurova Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/Ebelik Anabilim Dalı,
gerdi@cu.edu.tr - 0000-0002-9371-6571

**Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ**
Çukurova Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi/Ebelik Bölümü,
gokyildizsule@gmail.com - 0000-0002-0088-4219

## ÖZET

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), doğum sürecinde kadınların hareket özgürlüğünün desteklenmesini ve kendilerini rahat hissettikleri pozisyonları tercih edebilmelerini önermektedir. Bu derlemenin amacı, doğum eyleminin birinci ve ikinci evrelerinde kullanılan farklı maternal pozisyonlar ile güncel uygulamaların doğum süreci ve obstetrik sonuçlar üzerindeki etkilerini literatür ışığında incelemektir. Literatür bulguları, doğumun aktif fazında mobilize olan kadınlarda doğum süresinin yatak istirahatindeki kadınlara kıyasla daha kısa olduğunu göstermektedir. Ayakta durma, yürüme, çömelme ve dik pozisyonlar yerçekiminin etkisinden yararlanarak uterin kontraksiyonların etkinliğini artırmakta, fetal inişi kolaylaştırmakta ve doğum ağrısının şiddetli algılanmasını azaltmaktadır. Ayrıca bu pozisyonların pelvik çapları genişleterek vajinal doğumu desteklediği ve epizyotomi ile perineal travma oranlarını azaltabildiği bildirilmektedir. El-diz ve yan yatış pozisyonlarının vena cava inferior üzerindeki baskıyı azaltarak uteroplasental perfüzyonu ve fetal oksijenasyonu iyileştirdiği, sırt ağrısını hafiflettiği ve fetal malpozisyonların düzelmesine katkı sağladığı belirlenmiştir. Buna karşılık litotomi pozisyonunun pelvik hareketliliği sınırlandırdığı ve fizyolojik doğum mekanizmasını olumsuz etkileyebildiği belirtilmektedir. Sonuç olarak, doğum eyleminde kullanılabilecek aktif pozisyonlar doğumun fizyolojik ilerleyişi desteklemekte ve obstetrik sonuçları olumlu etkilemektedir. Ebeler, düşük riskli gebeleri serbestçe hareket etmeleri ve kendileri için en konforlu pozisyonu seçmeleri konusunda desteklemelidir.

**Anahtar Kelimeler :** Doğum Eylemi, Maternal Pozisyon, Ebelik Bakımı.

# THE IMPORTANCE OF MATERNAL POSITION DURING CHILDBIRTH AND ITS EFFECT ON CLINICAL OUTCOMES: A REVIEW STUDY

**Res. Asst. Gülnaz ERDİ**
Çukurova University/ Institute of Health Sciences/ Department of Midwifery,
gerdi@cu.edu.tr - 0000-0002-9371-6571

**Prof. Dr. Şule GÖKYILDIZ SÜRÜCÜ**
Çukurova University/ Faculty of Health Sciences/ Department of Midwifery,
gokyildizsule@gmail.com - 0000-0002-0088-4219

## ABSTRACT

The World Health Organization (WHO) recommends that women's freedom of movement be supported during childbirth and that they be able to choose positions in which they feel comfortable. The aim of this review is to examine, in light of the literature, the effects of different maternal positions used during the first and second stages of labor and current practices on the labor process and obstetric outcomes. Literature findings indicate that labor duration is shorter in women who mobilize during the active phase compared to those who remain at bed rest. Standing, walking, squatting, and upright positions utilize the effect of gravity to increase the effectiveness of uterine contractions, facilitate fetal descent, and reduce the perception of severe labor pain. Furthermore, it is reported that these positions support vaginal delivery by widening the pelvic diameters and can reduce the rates of episiotomy and perineal trauma. Hand-knee and lateral positioning have been found to improve uteroplacental perfusion and fetal oxygenation by reducing pressure on the inferior vena cava, alleviate back pain, and contribute to the correction of fetal malpositions. In contrast, the lithotomy position is reported to limit pelvic mobility and negatively affect the physiological mechanism of childbirth. Consequently, active positions that can be used during labor support the physiological progression of labor and positively influence obstetric outcomes. Midwives should support low-risk pregnancies in moving freely and choosing the most comfortable position for themselves.

**Keywords:** Labor, Maternal Position, Midwifery Care.

# NEEDLESTICK INJURIES AND BLOOD-BORNE PATHOGEN IMMUNITY IN TERTIARY HEALTHCARE WORKERS

**Ela Ali[1] MD, PhD, Prof. Shpëtim Qyra[2], Prof. Asoc. Erjona Abazaj[3], Dr. Brunilda Hysaj[4] PhD, Anja Beqaj[5] MD**

1. Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0000-0001-8509-4891
2. Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0009-0000-2963-1699
3. Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0000-0003-2386-4605
4. Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0009-0009-4085-5285
5. University of Medicine Tirana, Albania, 0009-0008-0140-8792

## ABSTRACT

Needlestick injuries (NSIs) are a critical occupational threat to healthcare workers (HCWs), facilitating the transmission of serious bloodborne pathogens such as hepatitis B (HBV), hepatitis C (HCV), and HIV. Although preventive protocols are established, NSIs persist as a frequent occurrence in tertiary settings, disproportionately affecting frontline nursing staff. This study examined the occupational characteristics and immune status of healthcare workers reporting needlestick injuries at a tertiary hospital in Tirana, Albania, focusing on bloodborne pathogen transmission risks. This descriptive study surveyed healthcare personnel seeking clinical consultation after occupational percutaneous injuries, capturing their demographics, professional roles, career longevity, and exposure etiology. Blood samples were screened for HBsAg, anti-HCV, and anti-HIV-1/2. HBV seroprotection defined as anti-HBs titers ≥10 mIU/mL. The cohort comprised 20 healthcare workers, predominantly female (75.0%) and nurses (75.0%), with a mean age of 36.2 years and 13 years of tenure. Hand injuries prevailed; nurses were mostly injured during injections, while sanitary staff were exposed during waste handling. All participants were seronegative for HBsAg, anti-HCV, and anti-HIV-1/2, though only 55% had protective anti-HBs titers (≥10 mIU/mL). Nurses remain the primary group at risk for percutaneous exposure, often during routine clinical procedures. Although no active viral infection were identified, the identified gaps in HBV immunity necessitate a reinforcement of post-exposure protocols and universal vaccination strategies to mitigate occupational health risks.

**Keywords:** bloodborne pathogens, healthcare workers, investigation, needlestick injuries

## 1. INTRODUCTION

Healthcare workers (HCWs) play a vital role in the delivery of medical care, however, they are frequently exposed to numerous occupational hazards. Needlestick injuries (NSIs) represent a significant occupational hazard for healthcare professionals worldwide. According to the World Health Organization (WHO), more than two million cases of occupational exposure to sharp injuries occur annually among 35 million healthcare workers (HCWs) (1).

More than 20 blood-borne infections may be transmitted by NSI. In the most severe cases, the transmission of human immunodeficiency virus (HIV), hepatitis B virus (HBV), and hepatitis C virus (HCV) may severely impair quality of life and reduce life expectancy, while incurring substantial costs, especially in the long term (2). The risk of infection after exposure to infected blood varies by bloodborne pathogen. It is estimated that the hepatitis B virus has a 6% to 30% chance of causing an infection from a needlestick injury if the person is not vaccinated. In comparison, the risk of HIV transmission is about 0.3% and the risk for hepatitis C is about 1.8%. Regardless of the probability, it is always good practice to eliminate or reduce the risk of infection (3). According to reports from the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), there are more than 385,000 and 1,000,000 needlestick injuries (NSIs) annually among hospital healthcare workers (HCWs) in the United States and Europe, respectively. Additionally, WHO statistics show that NSIs cause 16,000, 66,000, and 1,000 cases of HCV, HBV, and HIV, respectively, among HCWs per year. The prevalence of infectious diseases due to NSIs among HCWs is not a single, integrated phenomenon. Rather, it is affected by several factors, such as vaccination rates, access to appropriate protective equipment and post-exposure prophylaxis (PEP), and compliance with infection control standards. Additionally, NSIs are not equally prevalent among all HCWs; they occur more frequently among nurses, surgeons, and emergency personnel (4). This study retrospectively evaluated needlestick injuries and the immune status for HBV, HCV, and HIV among healthcare workers at a Tirana tertiary hospital during 2025.

## 2. MATERIALS AND METHODS OF THE STUDY

This descriptive, retrospective study was conducted to evaluate occupational exposure to sharp injuries among healthcare workers (HCWs) at a tertiary hospital in Tirana, Albania. Incidents were reported during the calendar year 2025. The primary objective is to assess the demographic characteristics, professional profiles, and baseline bloodborne pathogen laboratory profiles of the exposed personnel.

Eligible participants included HCWs who formally reported an exposure incident and underwent a subsequent physician consultation. Upon referral to the laboratory, subjects completed a standardized questionnaire capturing demographic data, department assignment, years of professional experience.

To evaluate baseline immune status at the time of exposure, venous blood samples were collected and screened for key viral markers: HBsAg, anti-HBs, anti-HCV, and anti-HIV 1 and 2. Adequate hepatitis B immunization was strictly defined as an anti-HBs titer $\geq$ 10 mIU/mL. ELISA test was performed for HBsAg, anti-HBs, and a rapid diagnostic test for anti-HCV, and anti-HIV 1 and 2.

Data management and statistical analysis were performed using Microsoft Excel. Descriptive statistics, including frequencies and percentages, were utilized to summarize demographic characteristics, work profiles, and laboratory findings.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The predominance of nurses and female healthcare workers among those who experienced needlestick injuries reflects the typical workforce composition in hospital settings and aligns with previous studies identifying nurses as a high-risk group (5, 6). Needlestick injuries were observed across different age groups and levels of work experience, affecting both early-career and experienced staff, consistent with findings by Mbaisi et al., (2013) (7).

This study involved 20 healthcare workers. The dataset shows a significant gender imbalance, with 17 out of the 20 individuals being female, representing 85%, while only 3 individuals, or 15%, are male (Table 1).

**Table 1. Characteristics of healthcare workers**

| Variable | Frequency (%), N = 20 |
|---|---|
| **Sex** | |
| **Male** | 3 (15%) |
| **Female** | 17 (85%) |
| **Job Category** | |
| **Nurse** | 16 (80%) |
| **Sanitary staff** | 4 (20%) |
| **Age group** | |
| **20-30 years old** | 7 (35%) |
| **31-40 years old** | 8 (40%) |
| **41-50 years old** | 2 (10%) |
| **> 50 years old** | 3 (15%) |
| **Years of Experience** | |
| **<10 years** | 8 (40%) |
| **10- 20 years** | 6 (30%) |
| **>20 years** | 6 (30%) |
| **Laboratory Results** | |
| **HBs Ag - Negative** | 20 (100%) |
| **HBs Ag - Positive** | 0 (0%) |
| **anti-HBs - Positive** | 11 (55%) |
| **anti-HBs - Negative** | 9 (45.5%) |
| **anti-HCV - Negative** | 20 (100%) |
| **anti-HCV - Positive** | 0 (0%) |
| **Anti-HIV 1, 2 - Negative** | 20 (100%) |
| **Anti-HIV 1, 2 - Positive** | 0 (0%) |

In terms of their occupations, a large proportion of these individuals are employed as nurses; 16 of them, or 80%, hold this position, compared to 4 individuals, which accounts for 20%, who work as sanitary employees (Figure.1).

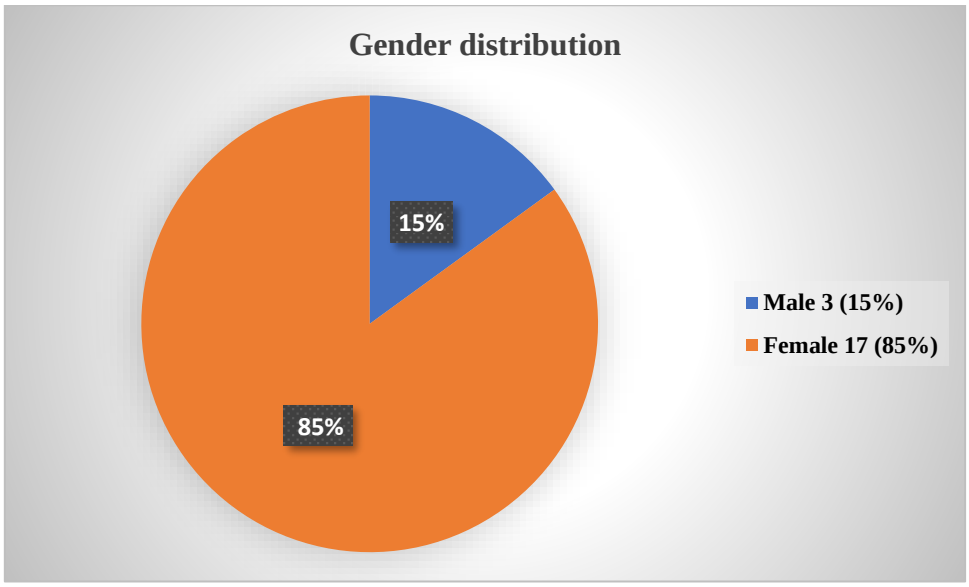



**Figure 1. Gender distribution of healthcare workers**

The higher mean work experience among affected workers suggests that cumulative exposure and routine procedural practices may increase injury risk, whereas less experienced staff may be vulnerable due to limited technical skills. These results differ from those reported by Yoshikawa et al., (2013) (8). Nurses were more frequently affected than sanitary staff, likely due to greater involvement in needle-related procedures, although injuries among sanitary staff highlight the importance of proper sharps disposal and universal precautions for all healthcare workers. Parsa-Pili J (2012) indicated nurses to represent the most significant group involved in NSIs

Participants had a mean age of 36.2 years (*SD* or range: 21–60 years; Median = 37.0). In terms of professional tenure, the sample group brought an average of 12.9 years of experience (Median = 11.5), spanning a range from 1 to 35 years in their current work position. Notably, there was a very strong correlation of 0.95 between age and work experience, indicating that many of these individuals began their occupation at a young age and remained in the field for an extended period.

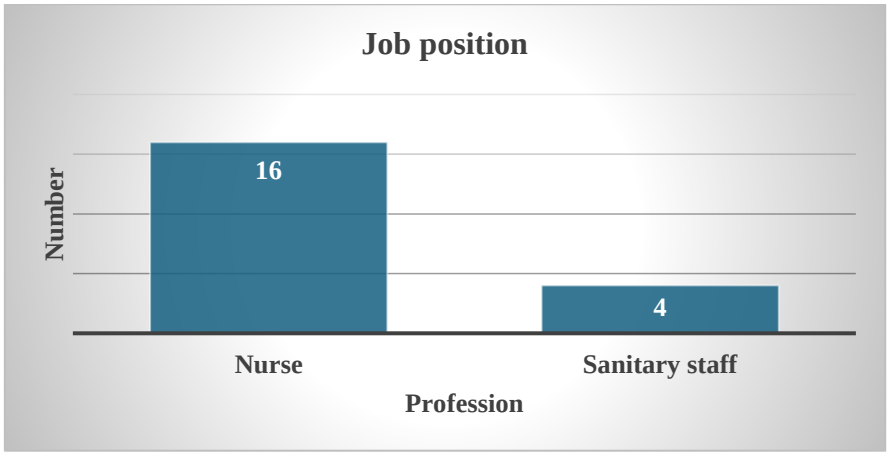



**Figure 2. Job category of healthcare workers**

Upon analyzing the specific subgroups, it was found that the 16 nurses were, on average, somewhat older than the 4 sanitary staff members (Figure 2), with ages of 36.7 and 34.2 years, respectively. In contrast, the sanitary workers had a higher average of work longevity than the nurses, recording 14.2 years compared to the nurses 12.6 years. When examining gender differences, the 17 female employees were generally older, averaging 36.6 years, and had greater employment duration, averaging 13.5 years, compared to the 3 male employees, who had an average age of 34.0 years and 10.0 years of experience (Figure 3).

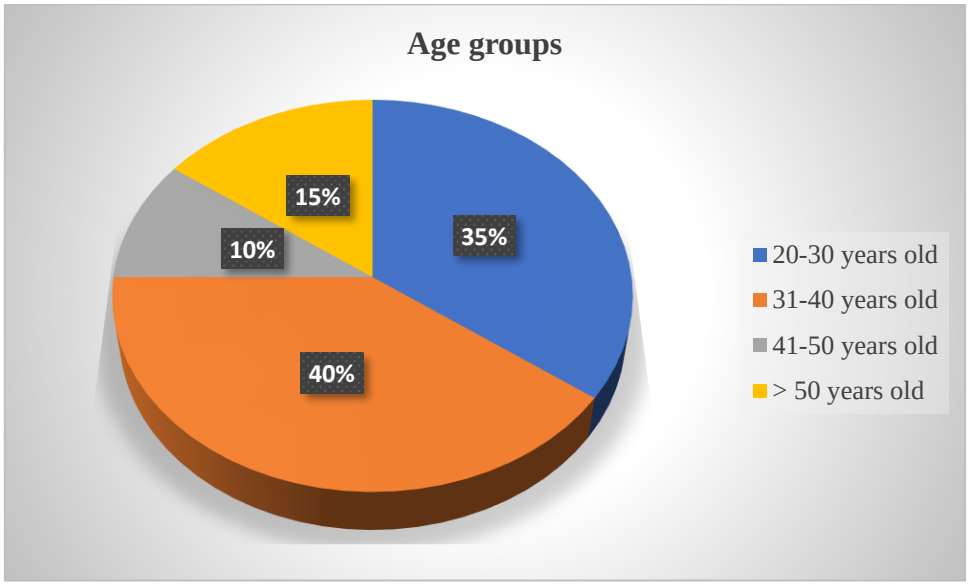



**Figure 2. Age groups of healthcare workers**

The insight into the age distribution of this population, indicates a higher concentration of individuals in the younger and middle-age categories, while showing fewer individuals in the older age bracket (Fig.2). The largest segment of employees falls within the 31–40 age range. This group contains 8 individuals and constitutes 40% of the staff. The second largest group consists of young professionals aged 20–30. This group includes 7 individuals, representing 35% of the total. Staff members older than 50 years account for 15% of the total, with 3 individuals.

All 20 healthcare workers faced the same occupational risk. Their injuries occurred almost entirely on their hands. Nurses commonly injured during injections. This younger, polarized cohort mixes recent rookies (1–3 years of experience with long-term veterans. The four sanitary staff members form a much smaller group. They consist primarily of senior personnel with a high average tenure of 14.25 years. They experience injuries most frequently during waste management tasks.

All affected individuals tested negative for HBsAg, anti-HCV, and anti-HIV-1/2. Anti-HBs titers indicated that ten healthcare workers had protective immunity against hepatitis B, emphasizing the importance of HBV vaccination in reducing occupational infection risk. Several countries have produced guidelines and recommendations for preventing, controlling, and managing HBV infection among healthcare workers (10).

Screening for HBV, HCV, and HIV confirmed zero active infections across all 20 subjects (Table 1). Regarding Hepatitis B protection, only 11 participants (55%) presented positive anti-HBs titers from vaccination. The remaining 45% of the workforce lacks antibody protection.

## CONCLUSIONS

This study demonstrates that while the 20-person workforce currently maintains a zero-infection baseline for HBV, HCV, and HIV, they face a severe occupational hazard due to localized hand injuries and significant gaps in immunity. Physical risk is strictly task-dependent, manifesting as injection-related trauma among the younger, polarized nursing staff and waste-handling injuries within the veteran sanitary team. Because 45% of workers lack anti-HBs protection, frequent hand exposures create a severe risk for bloodborne infection. To mitigate this gap, targeted safety training and an urgent Hepatitis B vaccination campaign are needed. These findings emphasize the need for continuous training, consistent use of safety-engineered devices, and institutional prevention strategies targeting healthcare workers across all levels of experience. The high prevalence of NSIs among the females underlines the necessity of more attention to this group in prevention programs. The small sample size limits generalizability, and future studies with larger cohorts are needed to better identify risk factors for needlestick injuries.

## REFERENCES

**1.** World Health Organization (WHO). Needlestick injuries. 2019**:** https://www.who.int/occupational_health/topics/needinjuries/en/.

**2.** Cooke, C.E., & Stephens, J.M. (2017). Clinical, economic, and humanistic burden of needlestick injuries in healthcare workers. Med Devices (Auckl). 10:225-235. doi: 10.2147/MDER.S140846. PMID: 29033615; PMCID: PMC5628664**.**

**3.** https://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/needlestick_injuries.html

**4.** Bouya, S., et al. (2020). Global Prevalence and Device Related Causes of Needle Stick Injuries among Health Care Workers: A Systematic Review and Meta-Analysis. Annals of Global Health. 86(1): 35, 1–8. DOI: https://doi.org/10.5334/aogh.2698

**5.** Naderi, H., Sheybani, F., Bojdi, A., Mostafavi, I., Khosravi, N. (2012). Occupational Exposure to Blood and other Body Fluids among Health Care Workers at a University Hospital in Iran. *Workplace Health & Safety*. 60(10):419-422. doi:10.1177/216507991206001003

**6.** Jahangiri, M., Rostamabadi, A., Hoboubi, N., Tadayon, N., Soleimani, A. (2016). Needle Stick Injuries and their Related Safety Measures among Nurses in a University Hospital, Shiraz, Iran, Safety and Health at Work, Volume 7, Issue 1: Pages 72-77. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.07.006.

**7.** Mbaisi, E.M, Ng'ang'a, Z., Wanzala, P., Omolo, J. (2013). Prevalence and factors associated with percutaneous injuries and splash exposures among health-care workers in a provincial hospital, Kenya, 2010. Pan Afr Med J. 14:10. doi: 10.11604/pamj.2013.14.10.1373.

**8.** Yoshikawa, T., Wada, K., Lee, J.J., Mitsuda, T., Kidouchi, K., Kurosu, H., Morisawa, Y., Aminaka, M., Okubo, T., Kimura, S., Moriya, K. (2013). Incidence rate of needlestick and

sharps injuries in 67 Japanese hospitals: a national surveillance study. PLoS One. 30;8(10):e77524. doi: 10.1371/journal.pone.0077524.

**9.** Parsa-Pili, J., Izadi, N., Golbabaei, F. (2015). Factors Associated with Needle Stick and Sharp Injuries among Health Care Workers. Int J Occup Hyg. 5(4):191-197.

**10.** Lewis JD, Enfield KB, Sifri CD. (2015). Hepatitis B in healthcare workers: Transmission events and guidance for management. World J Hepatol. 7(3):488-97. doi: 10.4254/wjh.v7.i3.488.

# Assessment of Heavy Metal Concentrations and Physicochemical Parameters of Beverage Industry Effluent: A Case Study of Adama Beverage Limited

**Ezekiel, O. F[1]; Sara G. Yahaya[2] and Caleb S. Nina [3].**

1&3. Biomedical and Pharmaceutical Technology, Federal Polytechnic Mubi, Adamawa State, Nigeria

2 Chemistry Department, Umar Suleiman College of Education Gashu'a, Yobe State, Nigeria

1: frezonor@gmail.com

2: sygalo0066@gmail.com

3: elcalebson2995@gmail.com

## Abstract

Discharge of industrial waste water that has not been adequately or fully treated continues to be an issue in the environment especially in underdeveloped countries where there may not be strict adherence to regulations. The aim of this research is to examine physicochemical and heavy metals in waste water sample collected from three different sites at Adama Beverage Limited. The parameters evaluated include; pH, Temperature, Conductivity, Total Dissolved Solid (TDS), Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Iron (Fe), Lead (Pb) and Manganese (Mn). The results revealed that pH was found within the range of 6.09 ± 0.0071 to 6.21 ± 0.0100, Temperature 32.9 ± 0.1000 °C to 33.1 ± 0.0707 °C, and Conductivity 39.7 ± 0.1000 to 48.6 ± 0.0707 µS/cm. However, the concentration of Iron was quite high (6.982 ± 0.0007 to 8.038 ± 0.0011 mg/L) compared to the level of cadmium (0.008 ± 0.0002 to 0.010 ± 0.0003 mg/L). Chromium and Lead were below detection limit. Biochemical Oxygen Demand is from 7 ± 0.7071 to 10 ± 1.0000 mg/L, whereas, chemical Oxygen Demand was between 18 ± 1.0000 and 25 ± 1.0000 mg/L. On the other hand, dissolved Oxygen levels were quite low (1.2 ± 0.1000 to 1.4 ± 0.10000 mg/L) posing great threat to the environment.

**Keywords: Beverage industry effluent, heavy metals, physicochemical parameters, water pollution, environmental monitoring**

## Introduction

The discharge of wastewater without enough treatment is still a major problem in the environment, particularly in underdeveloped countries, where there could be a lack of strict compliance with the regulations. This research paper seeks to investigate physicochemical and heavy metals present in wastewater samples obtained from three locations in Adama Beverage Limited Company. Parameters analyzed for were; pH, temperature, conductivity, total dissolved solid (TDS), Dissolved Oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), chemical

oxygen demand (COD), cadmium (Cd), chromium (Cr), iron (Fe), lead (Pb) and manganese (Mn). The findings showed that the values of pH is from 6.09± 0.0071 to 6.21± 0.0100, temperature 32.9± 0.1000 to 33.1± 0.0707 $^{o}$C and conductivity 39.7± 0.1000 to 48.6± 0.0707 mS/cm. However, the concentration of Iron was relatively high (6.982± 0.0007 to 8.038± 0.0011 mg/L), whereas the value of cadmium was 0.008± 0.0001 to 0.010± 0.0003 mg/L. Chromium and Lead values were below the detectable limit. Biochemical Oxygen Demand was 7± 0.7071 to 10± 1.0000 mg/L while chemical oxygen demand ranged from 18-25 mg/L. Conversely, DO had very low concentrations of 1.2± 0.1000 to 1.4± 0.1000 mg/L.

The rapid growth of industry in Nigeria has led to increased demand on water resources in that many factories dump untreated effluent in the rivers. Research studies indicate the presence of heavy metals such as cadmium, lead, and chromium in the river waters exposed to these effluents. There are many implications of this in terms of public health since communities depend on such water resources for their daily consumption with possible carcinogenic and non-carcinogenic effects.

There are regulations guiding the release of effluents in Nigeria, and they have been set out by the National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency (NESREA). The regulations give the acceptable concentrations of different chemicals, but the problem lies with compliance since there is poor supervision of treatment methods in industries. In this research, the study will focus on assessing the quality of the effluent released from Adama Beverage Limited through analysis of its physical properties and heavy metals' concentration levels.

## Materials and Methods

### Study Area and Sample Collection

Effluent samples were collected from three distinct locations within Adama Beverage Limited (ABL): ABL $_{WW1}$, ABL $_{WW2}$, ABL $_{WW3}$. These sampling locations were at various stages or points in the discharge system. Sampling was done following the water sampling techniques using polyethylene bottles that had been previously cleaned. The samples were then preserved and transported following certain guidelines before being analyzed in the laboratory.

### Physicochemical Analysis

Some of the physicochemical properties examined were: pH, temperature, conductivity, and total dissolved solids (TDS) using a pH/conductivity meter (Jenway 430), dissolved oxygen (DO), biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) using a DR Spectrometer.

### Heavy Metal Analysis

Heavy metal concentrations (cadmium, chromium, iron, lead, and manganese) were determined using Atomic Absorption Spectrometer (model AA240FS Varian).. Standard calibration curves were prepared using certified reference standards. All analyses were performed in triplicate, and results were expressed as mean ± standard deviation in milligrams per liter (mg/L).

**Data Analysis**

The results were analyzed based on descriptive statistics, presented as means ± standard deviations from three replicate determinations. The data were compared to World Health Organization (WHO) drinking water standards as well as NESREA effluent discharge standards.

**Results**

The mean concentrations of heavy metals and physicochemical parameters for effluent samples from three locations at Adama Beverage Limited are presented in Table 1.

Table 1: Mean Concentration of Some Heavy Metals and Physicochemical Properties of Effluent from Adama Beverage Limited

| Parameter\Sample Code | $ABL_{WW1}$ | $ABL_{WW2}$ | $ABL_{WW3}$ | WHO Limit | NESREA Limit |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | 6.21± 0.0100 | 6.12± 0.0100 | 6.09± 0.0071 | 6.50 to 8.50 | 6.00 to 9.00 |
| Temperature ($^{o}$C) | 33.0± 0.0707 | 32.9± 0.1000 | 33.1± 0.0707 | <40 | <40 |
| Conductivity (μS/cm) | 48.6± 0.0707 | 39.7± 0.1000 | 46.9± 0.1000 | 1000 | NS |
| TDS (mg/L) | 29.7± 0.1000 | 23.7± 0.0707 | 28.0± 0.0707 | 500 | 2000 |
| DO (mg/L) | 1.3± 0.0707 | 1.4± 0.10000 | 1.2± 0.1000 | >5 | >4 |
| BOD (mg/L) | 10± 1.0000 | 7± 0.7071 | 10± 0.7071 | 30 | 50 |
| COD (mg/L) | 19± 0.7071 | 18± 1.0000 | 25± 1.0000 | 250 | 250 |
| Cd (mg/L) | 0.010 ± 0.0003 | 0.008 ± 0.0002 | 0.008 ± 0.0001 | 0.003 | 0.050 |
| Cr (mg/L) | 0.000 ± 0.0005 | 0.000 ± 0.0004 | 0.000 ± 0.0011 | 0.05 | 0.50 |
| Fe (mg/L) | 8.038 ± 0.0011 | 7.058 ± 0.0008 | 6.982 ± 0.0007 | 0.3 | 20 |
| Pb (mg/L) | 0.000 ± 0.0005 | 0.000 ± 0.0005 | 0.000 ± 0.0004 | 0.01 | 0.10 |
| Mn (mg/L) | 0.077 ± 0.0002 | 0.060 ± 0.0002 | 0.069 ± 0.0002 | 0.1 | 5.0 |

Key:

$ABL_{WW1}$ is waste water sample from Adama Beverage Limited location one

ABL $_{WW2}$ is waste water sample from Adama Beverage Limited location two

ABL $_{WW3}$ is waste water sample from Adama Beverage Limited location three

NS = Not specified.

**Physicochemical Parameters**

pH: Effluent pH values ranged from 6.09 ± 0.0071 (ABL $_{WW3}$) to 6.21 ± 0.0100 (ABL $_{WW1}$), indicating slightly acidic conditions. These values fall within the NESREA permissible is from 6.0 to 9.0 but are slightly below the WHO drinking water guideline which is from 6.5 to 8.5.

Temperature: Temperatures remained stable across all sampling locations, ranging from 32.9 ± 0.1000 °C to 33.1 ± 0.0707 °C, all below the maximum permissible limit of 40 °C.

Conductivity and TDS: Conductivity values ranged from 39.7 ± 0.1000 µS/cm to 48.6 ± 0.0707 µS/cm, while TDS concentrations varied between 23.7 ± 0.0707 mg/L and 29.7 ± 0.1000 mg/L. Both parameters were well below regulatory limits, suggesting minimal dissolved salt loading.

Dissolved Oxygen (DO): DO levels were critically low, ranging from 1.2 ± 0.1000 mg/L to 1.4 ± 0.10000 mg/L, falling substantially below the WHO guideline of >5 mg/L and NESREA limit of >4 mg/L.

Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD): BOD values ranged from 7 ± 0.7071 mg/L to 10 ± 1.0000 mg/L, while COD concentrations varied between 18 ± 1.0000 mg/L and 25 ± 1.0000 mg/L. These values are well below regulatory discharge limits.

**Heavy Metal Concentrations**

Cadmium (Cd): Cadmium concentrations ranged from 0.008 ± 0.0002 mg/L to 0.010 ± 0.0003 mg/L. While these values are below the NESREA limit of 0.05 mg/L, they exceed the WHO drinking water guideline of 0.003 mg/L by approximately threefold.

Chromium (Cr) and Lead (Pb): Both chromium and lead were below detection limits across all sampling locations, indicating effective control of these toxic metals.

Iron (Fe): Iron concentrations were notably high, ranging from 6.982 ± 0.0007 mg/L to 8.038 ± 0.0011 mg/L. These values substantially exceed the WHO drinking water guideline of 0.3 mg/L but remain within the NESREA effluent limit of 20 mg/L.

Manganese (Mn): Manganese concentrations ranged from 0.060 ± 0.0002 mg/L to 0.077 ± 0.0002 mg/L, all below both WHO (0.1 mg/L) and NESREA (5.0 mg/L) limits.

**Discussion**

**Physicochemical Parameters in Context**

These pH values (6.09 ± 0.0071 ($ABL_{WW3}$) to 6.21 ± 0.0100 ($ABL_{WW1}$)) signify slightly acidic effluent. These results align with earlier research on effluents from the beverage industry in Nigeria. According to Nweke *et al.,* (2022), pH values ranging between 6.20 to 6.98 were recorded in brewery effluents in Benue state, Nigeria. Similarly, according to Adeogun and Chukwuka (2011), acidic pH conditions prevailed in the beverage industry effluents discharged into Ona river in Nigeria. Slightly acidic effluent may contribute to the release of heavy metals from sediments and improve their bioavailability in the receiving water body.

Temperatures recorded (32.9 ± 0.1000 °C to 33.1 ± 0.0707 °C) are typical of tropical effluents. Thermal discharge limits for effluents are considered to be acceptable within these temperature values. High temperatures may reduce the saturation capacity of dissolved oxygen and expedite biochemical processes.

The results obtained concerning conductivity and TDS signify that there is an effective management of dissolved salt loadings by Adama Beverage Limited in their effluent. These results have proven to be lower compared to conductivity values (up to 273 μS/ cm) obtained in earlier research. Total dissolved salts (TDS) of 23.7 ± 0.0707 mg/L to 29.7 ± 0.1000 mg/L are significantly lower compared to the WHO guideline (500 mg/L).

However, the most alarming physicochemical characteristic is the very low dissolved oxygen (DO) level (1.2 ± 0.1000 mg/L to 1.4 ± 0.10000 mg/L). When dissolved oxygen levels are less than 2 mg/L, the condition is hypoxia, which is dangerous for aquatic animals. Other researchers found similar low levels of dissolved oxygen (even down to 2.14 mg/L) in brewery wastewater in Eritrea. Such a low DO level is a consequence of the increased oxygen consumption because of the large amount of organic material in the wastewater. However, it should be noted that biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) levels measured in this study (7 ± 0.7071 mg/L to 10 ± 1.0000 mg/L and 18 ± 1.0000 mg/L and 25 ± 1.0000 mg/L, respectively) are significantly lower than those reported elsewhere (up to 11,066 mg/L).

**Heavy Metal Contamination Assessment**

The occurrence of cadmium above the WHO standard levels (0.008-0.010 mg/L) is another point of great concern. Cadmium has been classified by the IARC as a Group 1 human carcinogen, with the ability to produce renal dysfunction, bone demineralization, and several forms of cancers. A similar case has been noted in the effluents released by beverage industries in Enugu, Nigeria. In this region, the level of cadmium in the water bodies that received discharges from the industries ranges between 0.56 and 11.34 mg/L, hence great carcinogenic risks (Egwuonwu *et al.,* 2021).

The absence of lead and chromium above the detection limit is a good indication as both metals are known to cause very dangerous health problems, with lead causing neurotoxicity while hexavalent chromium induces dermatological and respiratory cancers. It could be concluded that there are effective measures to minimize or eliminate the sources of these two heavy metals (Tran *et al.,* 2024, Vicente-Martínez *et al.,* 2024).

On the other hand, the level of iron (6.982 ± 0.0007 mg/L to 8.038 ± 0.0011 mg/L) in the beverage industries effluents is extremely high. For instance, Akaninwor *et al.*, 2007 reported the highest concentrations of iron in beverage industries in Rivers State of Nigeria to be 2.10 mg/L. Although iron is known as a valuable nutrient and less toxic metal, its elevated level could be from corrosion of iron pipes and equipment, raw water sources, and certain cleaning agents.

Manganese concentrations remained within acceptable limits across all sampling locations, consistent with findings from other Nigerian beverage industry studies (Babu *et al.*, 2022, Egwuonwu *et al.*, 2021).

**Environmental and Public Health Implications**

Combination of effluent discharge with low oxygen content and high levels of iron and cadmium can pose various potential dangers. Hypoxia in the receiving environment may cause death of aquatic organisms, changes in structure of aquatic organisms' community, and higher mobility of metal ions present in sediments. The presence of cadmium at even lower levels is dangerous for a long time since cadmium is persistent, non-biodegradable, and tends to accumulate in food chains.

Human population that uses water from such bodies of water is threatened by cadmium intake either via contaminated water or contaminated food like fish. Cadmium exposure is calculated using hazard quotient and it shows that cadmium is responsible for non-carcinogenic and carcinogenic hazard. It is especially threatening to children.

**Treatment and Mitigation Recommendations**

A number of ways can be used to achieve an improvement in effluent quality:

1. Improvement of aeration processes to enhance dissolved oxygen content prior to disposal of waste effluents, through cascade aeration or mechanical aeration systems.

2. Processes like sedimentation, filtration, or greensand filtration that can lower iron content in the effluents to levels close to potable water.

3. Removal of cadmium from effluents by chemical precipitation, ion exchange, or adsorption. Modern studies have shown that engineering biochar and magnetic ferrite nanoparticles are capable of removing heavy metals at rates higher than 90% efficiency.

4. Monitoring programs can be employed to determine any changes in effluent quality trends.

**Conclusion**

This study presents an overall evaluation of effluent quality from Adama Beverage Limited from three sampling points. The main results include:

The effluent pH is mildly acidic but within legal boundaries

Low dissolved oxygen values (1.2 to 1.4 mg/L) raise safety concerns for recipient aquatic environments

Iron concentration in the effluent samples is significantly high (6.98 to 8.04 mg/L)

Although not exceeding Nigerian effluent quality standards, cadmium levels surpass WHO drinking water norms

There is effective control of chromium and lead (values not exceeding detection limits)

Although there is conformance in several parameters including BOD, COD, conductivity, TDS and temperature, based on the low DO levels and the presence of excess iron and cadmium concentrations, the current effluent management practices need improvements through the introduction of aeration equipment and iron and cadmium elimination facilities.

Further studies should incorporate toxicity bio-assays to investigate the environmental impact of this effluent on the recipient aquatic organisms, determination of heavy metal accumulations in the recipient water sediments and biota and assessment of effluent treatment technology efficacy.

Acknowledgments

The authors acknowledge the laboratory staff who assisted with sample analysis and Adama Beverage Limited for permitting sample collection.

**References**

Adeogun, A. O., & Chukwuka, A. (2011). Acute toxicity of industrial effluents acting singly or jointly on Clarias gariepinus. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Environmental Science and Technology (pp. 75-82). Science Press.

Akaninwor, J. O., Wegwu, M. O., & Nwaichi, E. O. (2007). Levels of some heavy metals and physico chemical properties of effluents from a beverage company in Rivers State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 11(1), 27-30.

Babu, A. R., Arsiema, T., Heaven, D., Filmon, B., & Abiel, M. (2022). Physicochemical characterization of Asmara Brewery effluents. Journal of Engineering Science, 29(3), 136-149.

Egwuonwu, P. F., Ihedioha, J. N., Abugu, H. O., & Ekere, N. R. (2021). Impact of some beverage industries on the physicochemical characteristics of Ajali River in Enugu, Nigeria. Environmental Monitoring and Assessment, 193, 1-20. Springer Nature.

National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency. (2019). National Environmental (Food, Beverages and Tobacco Sector) Regulations. Federal Republic of Nigeria Official Gazette, 106(48), B145-B198.

Nweke, E. N., Okechukwu, V. U., Omokpariola, D. O., Umeh, T. C., & Oze, N. R. (2022). Pollution evaluation of industrial effluents from consolidated breweries: A case study from Benue State, Nigeria. In IntechOpen eBooks. https://doi.org/10.5772/intechopen.105955

Nweke, E. N., Okechukwu, V. U., Omokpariola, D. O., Umeh, T. C., & Oze, N. R. (2022). Pollution evaluation of industrial effluents from consolidated breweries: A case study from Benue State, Nigeria. IntechOpen. https://www.intechopen.com/chapters/82666

Tran, T. K., Huynh, L., Nguyen, H. L., Nguyen, M. K., Lin, C., Hoang, T. D., Hung, N. T. Q., Nguyen, X. H., Chang, S. W., & Nguyen, D. D. (2024). Applications of engineered biochar in remediation of heavy metal(loid)s pollution from wastewater: Current perspectives toward sustainable development goals. Science of the Total Environment, 926, 171859. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171859

Vicente-Martínez, Y., Arroniz-Lázaro, A., Hernández-Córdoba, M., & López-García, I. (2024). Use of in-situ synthesized magnetic ferrite to remove heavy metals from waters. Green Analytical Chemistry, 8, 100089.
https://doi.org/10.1016/J.GREEAC.2023.100089

World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda). WHO Press.

# PREVALENCE AND RISK FACTORS FOR POSTOPERATIVE WOUND INFECTIONS. A CROSS-SECTIONAL STUDY

**PhD Candidate. Afërdita ADEMI[1], Prof. Shpetim QYRA[2]; Prof. Asoc. Erjona Abazaj[3], MD. Anja BEQAJ[4], PhD. Ela Ali[5]**

**1.** Faculty of Medical Sciences, University of Tetova, R. North Macedonia 0009-0007-2340-2677

**2.** Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0009-0000-2963-1699

3. Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0000-0003-2386-4605

**4.** University of Medicine Tirana, Albania, 0009-0008-0140-8792

**5.** Institute of Public Health, Tirana, Albania, 0000-0001-8509-4891

## ABSTRACT

**Background:** Globally, postoperative wound infection impact approximately 30% of surgical patients, causing serious health complications and high medical costs. Many infections go uncounted because they develop after patients leave the hospital. This study examines postoperative wound infection prevalence and specific risk factors among patients at Tetovo Clinical Hospital. We conducted a six-month cross-sectional study tracking 125 adult surgical patients. Using SPSS 26.0, we analyzed patient demographics, clinical details, and bacterial cultures. Relationships between these factors and infections were evaluated using chi-square, Pearson's correlation, and Fisher's exact tests ($p < 0.05$). The overall postoperative wound infection prevalence was 7.2% ($n = 9$). Clear links to infection emerged when patients did not receive preventive antibiotics ($p = 0.0005$), when their existing health conditions were unmanaged ($p = 0.0006$), and when surgeries lasted over 3 hours ($p = 0.008$). Age and body mass index did not show statistically significant differences ($p > 0.05$). Most infections were superficial (66.67%) or deep incisions (22.22%), with Staphylococcus aureus identified as the most common bacteria (33.33%). Infection rates were relatively low and tied directly to missing antibiotics, unmanaged illnesses, and longer surgery times. Preventing these infections requires strict routines before surgery—like stabilizing blood sugar, improving patient nutrition, and timing antibiotic doses correctly—alongside excellent operating room cleanliness. Larger, long-term studies are needed to protect patients and lower hospital expenses.

**Key words:** Postoperative wound infection, Risk factors, Antibiotic prophylaxis

## 1. INTRODUCTION

Globally, the prevalence of postoperative infections, predominantly those occurring in surgical wounds, ranges from 10% to 30%, irrespective of the procedure employed or the setting (1, 2). Surgical site infections (SSI) manifest after a stipulated postoperative period as an adverse event in the management of the surgical patient (3). It is important to note that these infections are often underestimated, given that approximately half of SSIs manifest after the patient has been discharged from the hospital (4). The prevalence of morbidity and mortality may be increased in different countries, depending on the conditions under which interventions or infection management are carried out (5).

According to the Centers for Disease Control and Prevention, a surgical site infection is defined as "a surgical wound with local signs and symptoms of infection, with systemic signs of fever or leukocytosis in severe cases". The categorisation of incisions is dependent upon the depth of the infection; superficial incisions involve only the skin or subcutaneous tissue, deep incisions involve the fascia and/or muscle layers, and organ/space incisions involve any part of the body exposed or manipulated during a procedure (6). The principal risk factors that have been identified in clinical studies with a high degree of consistency include the following: prolonged duration of surgery, types of contaminated wounds, emergency procedures, advanced age, and underlying diseases such as diabetes and anaemia (3,7,8). Pinchera et al. (2022) posit that the majority of surgical site infections are attributable to contamination of the incision with microorganisms found in the patient's own microbial flora during surgery, whereas infections caused by external sources after surgery are less common (4). The significance of identifying and managing these cases is twofold: firstly, the burden of morbidity is considerable, and secondly, a high financial cost is imposed on healthcare systems, both in terms of prolonged length of stay and increased treatment costs (9,11). The present study aims to describe the current situation of postoperative infections and the risk factors that contribute to their occurrence among hospitalised patients.

## 2. MATERIALS AND METHODS

This is a cross-sectional observational study conducted at the Tetovo Clinical Hospital. The data were collected from patients who had been admitted to the hospital and who had undergone surgical procedures over a period of six months. The study population comprised all patients aged 18 years and over, irrespective of gender, who consented to participate in the study. Patients who declined to participate in the study or those who did not attend the scheduled follow-up within 30 days of their surgical intervention were excluded from the study. Following the collection and analysis of the data obtained, 125 patients were recruited who met all the inclusion criteria for this study. The data collected encompassed a wide range of demographic characteristics, including age and sex, the type and approach of surgical procedure, the occurrence and timing of SSI, wound culture and antibiogram results, antibiotic regimen (prophylactic and therapeutic), length of hospital stay and comorbidities, and other relevant parameters. The data collected encompassed the microbial agent identified as the causative agent of the infection, in addition to the evaluation of antimicrobial susceptibility testing.

Categorical variables are expressed as absolute frequencies and percentages. The chi-square test, Pearson's correlation coefficient and Fisher's exact test were employed to assess the association between factors and the presence of SSI. Odds ratios (OR) with 95% confidence intervals (CI) were calculated. All tests were two-sided, with statistical significance defined as $p < 0.05$. The analyses were conducted utilising SPSS Statistics, version 26.0.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The occurrence of postoperative wound infections exhibits substantial variations, which can be attributed to the available resources, the state of hospital infrastructure, geographical location, and the type of surgical procedures undertaken (1). This variability is most evident in the type of procedure; specifically, patients undergoing abdominal and/or gastrointestinal surgery have a high rate of SSI ranging from 18.0-30.0%, while in Caesarean sections, this prevalence varies from 2.0-20.0%, depending on prenatal complications and maternal health. While the prevalence of this condition appears to be as low as 3.0% in orthopedic and knee surgeries in some countries, it has been observed to reach up to 50% in complex cases or trauma cases (10-13).

The present study analysed 125 patients, revealing a postoperative infection prevalence of 7.2% among them. As demonstrated in Figure 1, the prevalence of postoperative wound infections encountered among the patients studied is illustrated.

Factors directly related to the patient and his clinical situation play an important role, as they contribute not only to the course of the intervention but also to the course of the patient's health and tissue health. The response to treatment is contingent on the immunological health of the patient. The presence of concomitant diseases, including uncontrolled diabetes mellitus, obesity and anaemia, has been demonstrated to have a direct impact on healing and immune response. Furthermore, the advanced age of the patients, predominantly those over 60 years of age, typically results in a protracted healing period and a compromised immune system. Conversely, smoking and the utilisation of certain medications, including immunosuppressive therapies, have been observed to impede oxygen flow and tissue repair (14-17). In light of the aforementioned facts, an analysis was conducted of the characteristics of the patients as part of this study.

A statistical analysis of the patient demographic revealed that the majority of patients were male (58.4%), though this difference was not statistically significant when compared to the female population ($p = 0.6$). The mean age of the patients was found to be $62.15 \pm 8.7$ (standard deviation) for the entire cohort and $64.02 \pm 7.9$ for those who developed a postoperative wound infection. The patient population has been categorised into eight distinct age groups, with the youngest group comprising individuals aged between 18 and 24 years, and the oldest group including those aged 85 and over.

Despite the observed rise in positive cases with increasing age (from 0% in young people to 11.11% in those over 85 years old), no statistically significant difference was identified ($p > 0.05$). It is possible that this occurred as a result of the relatively small sample size and the low number of positive cases.

Consequently, it is not possible to verify whether this was a coincidence. It is important to note that the same observations can be made in relation to the body mass index (BMI). The statistical test yielded a p-value of 0.52. The observed variations in percentages (e.g., the rise in positive cases to 44.44% in the "Obese" category) are inadequate to substantiate a scientific conclusion, given the minimal number of positive individuals (only 9 in total). Such fluctuations in statistics are often attributed to random chance.

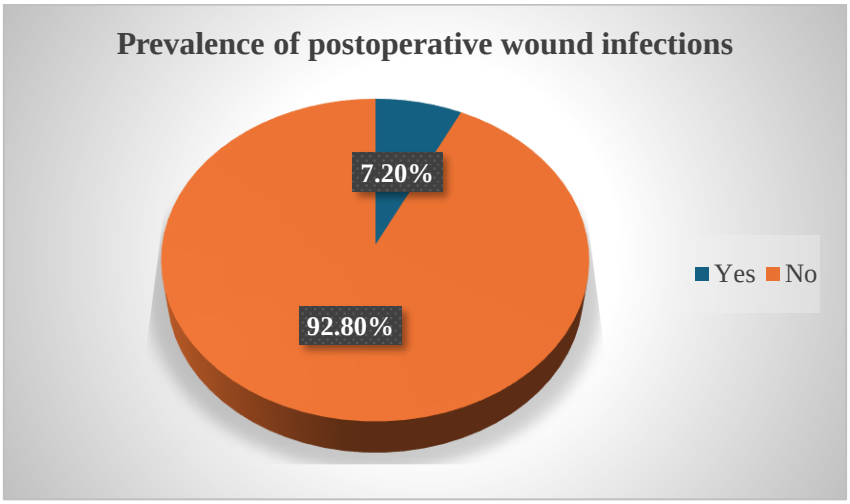



**Figure 1. Prevalence of postoperative wound infections**

In relation to tobacco consumption, it was found that a significant proportion of patients were regular consumers (40.8%). A significant association was identified between positive cases and smoking, with a p-value of 0.03 (see Table 1).

**Table 1. Demographic characteristics of patients**

| Variables | Categories | Patients analyzed | | Positive for postoperative wound infections | | p-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | N | % | N | % | |
| **Gender** | Female | 52 | 41.6 | 3 | 33.33 | 0.6 |
| | Male | 73 | 58.4 | 6 | 66.67 | |
| **Mean age** | | 62.15±8.7 | | 64.02±7.9 | | 0.53 |
| **Age** | ≥18-24 Years old | 3 | 2.4 | 0 | 0 | |
| | 25-34 Years old | 5 | 4 | 0 | 0 | |
| | 35-44 Years old | 11 | 8.8 | 0 | 0 | |
| | 45-54 Years old | 18 | 14.4 | 1 | 11.11 | |
| | 55-64 Years old | 25 | 20 | 2 | 22.22 | |
| | 65-74 Years old | 32 | 25.6 | 3 | 33.33 | |
| | 75-84 Years old | 22 | 17.6 | 2 | 22.22 | |
| | ≥85 Years old | 9 | 7.2 | 1 | 11.11 | |
| **Body Mass Index (BMI kg/m$^3$)** | Underweight: (<18.5) | 12 | 9.6 | 1 | 11.11 | 0.52 |
| | Healthy Weight: (18.5 - 24.9) | 35 | 28 | 2 | 22.22 | |
| | Overweight: (25.0 - 29.9) | 47 | 37.6 | 2 | 22.22 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Obese: (30.0) or greater | 31 | 24.8 | 4 | 44.44 | |
| **Smokers** | Yes | 51 | 40.8 | 7 | 77.78 | 0.03 |
| | No | 74 | 59.2 | 2 | 22.22 | |

A multitude of studies have identified a number of key factors that contribute to the occurrence of postoperative wound infections. The duration of surgery is a paramount factor, with surgical procedures exceeding two hours significantly increasing the risk of exposure and contamination. Wound contamination during the procedure is another significant contributing factor. The methods of the procedure are also a contributing factor. Emergency procedures are particularly concerning due to their frequent execution without prior preparation, resulting in suboptimal sterility of the surgical environment or equipment (1-4, 18-20).

Based on these facts, in the table below, we have analysed our findings. Based on the statistical analyses performed with the Chi-Square test and the Fisher Exact test for clinical data, type of intervention and data related to hospitalisation, a significance was found between taking antibiotics? Where there is a very large difference between those who have taken antibiotics and those who have not. The group that did not receive antibiotics had an extremely high infection/positivity rate (5 positive out of 16 people) compared to the group that did (4 positive out of 109 people), p-value = 0.0005. Significance was also found for the variable whether they were treated with medications for comorbidities, and it was seen that among patients with comorbidities (n=64), those who were not being treated with medications had a much higher percentage of positivity (3 positive out of 4 people) compared to those who were treated regularly (4 positive out of 60 people), p-value = 0.0006.

A significance was also found for the duration of intervention, where the rate of positive cases increases significantly with increasing surgery time. When the intervention lasts for more than 3 hours, the percentage of positive cases goes to 6 out of 30 people, compared to surgeries under 1 hour and for those 1-2 hours, p-value = 0.008.

For other variables such as comorbidities (p-value = 0.19), hospitalisation days (p-value = 0.064), and intervention procedure (p-value = 0.36), no significant relationship was found (Table 2).

**Table 2. Clinical history and type of surgical intervention**

| **Variables** | **Categories** | **Patients analyzed** | | **Positive for postoperative wound infections** | | **Patients analyzed** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | N | % | N | | |
| **Comorbidities** | Yes | 64 | 51.2 | 7 | 77.78 | 0.11 |
| | No | 61 | 48.8 | 2 | 22.22 | |
| **If yes, which? (no=64)** | Diabetes Mellitus Type 2 | 25 | 39.1 | 2 | 22.22 | 0.08 |
| | Cardiovascular Diseases | 29 | 45.3 | 2 | 22.22 | |
| | Anemia | 5 | 7.8 | 1 | 11.11 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Chronic Kidney Disease | 3 | 4.7 | 1 | 11.11 | |
| | Others | 2 | 3.1 | 1 | 11.11 | |
| **Are you being treated with medications for your illnesses (no=64)** | Yes | 60 | 93.75 | 4 | 66.67 | 0.0006 |
| | No | 4 | 6.25 | 3 | 33.33 | |
| **Type of intervention** | Abdominal/Gastro Intestinal Surgery | 67 | 53.6 | 4 | 44.44 | 0.48 |
| | Caesarean Section | 24 | 19.2 | 2 | 22.22 | |
| | Orthopedic and Knee Surgery | 12 | 9.6 | 1 | 11.11 | |
| | Neurological Surgery | 7 | 5.6 | 1 | 11.11 | |
| | Others | 15 | 12 | 1 | 11.11 | |
| **Intervention procedure** | Emergency | 21 | 168 | 3 | 33.33 | 0.18 |
| | Planning | 104 | 83.2 | 6 | 66.67 | |
| **Duration of intervention** | < 1 hour | 31 | 24.8 | 1 | 11.11 | 0.008 |
| | 1-2 hours | 64 | 51.2 | 2 | 22.22 | |
| | ≥ 3 hours | 30 | 24 | 6 | 66.67 | |
| **Hospitalizations days** | 1-3 days | 68 | 54.5 | 2 | 22.22 | 0.5 |
| | 4-7 days | 31 | 24.8 | 3 | 33.33 | |
| | 8-14 days | 19 | 15.2 | 2 | 22.22 | |
| | >=3 weeks | 7 | 5.6 | 2 | 22.22 | |
| **Taking antibiotics?** | Yes | 109 | 87.2 | 4 | 44.44 | 0.0008 |
| | No | 16 | 12.8 | 5 | 55.56 | |

Furthermore, a plethora of studies have indicated that *Staphylococcus aureus* is the most prevalent causative agent of postoperative wound infections. It is noteworthy that such cases frequently demonstrate resistance to standard prophylactic antibiotics (1-2).

In the present study, the most prevalent wound types were superficial incisions, which constituted 66.67% of cases, and deep incisions, which constituted 22.22%. The incidence of involvement, whether superficial or organ-related, was observed to be minimal, with a mere 1 case (11.11%) being documented. Furthermore, S. aureus occupies the specific weight of infectious agents with 33.33%, a figure consistent with the data of other studies (see Table 3).

**Table 3. Type of wound and causative agent of infection**

| Variables | Categories | Frequency | Percentage |
|---|---|---|---|
| **Wound type** | Superficial Incision | 6 | 66.67 |
| | Deep Incision | 2 | 22.22 |
| | Organ and/or space | 1 | 11.11 |
| **Causative agent of infection** | *Staphylococcus aureus* | 3 | 33.33 |
| | *Klebsiella pneumoniae* | 2 | 22.22 |
| | *Streptococcus pyogenes* | 1 | 11.11 |
| | *Escherichia coli* | 1 | 11.11 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *Pseudomonas aeruginosa* | 1 | 11.11 |
| | *Enterococcus spp.* | 1 | 11.11 |
| **Antimicrobial resistance** | Yes | 3 | 33.33 |
| | No | 6 | 66.67 |

## 4. CONCLUSION

The prevalence of postoperative infections was relatively low among the patients included in this study. The analysis revealed that the utilisation of antibiotics, the exclusion of pharmaceutical interventions, and the adoption of prolonged surgical procedures emerged as the predominant factors that exhibited a direct and statistically significant correlation with favourable outcomes. In this study, *S. aureus* was identified as the predominant agent responsible for postoperative wound infections. In order to evaluate other factors, it is recommended that long-term studies be conducted, incorporating a greater number of patients. Furthermore, the design and continuous monitoring of this problem would assist in reducing positivity and healthcare costs. Consequently, the formulation of prospective and contemporary preventive and therapeutic strategies to address this situation is imperative within the health system.

## 5. RECOMMENDATIONS

- It is recommended that strict adherence to prevention protocols be observed to reduce the prevalence. Such protocols are outlined in the following healthcare guidelines:
- It is evident that preoperative measures, encompassing the maintenance of glucose levels within normal parameters, the optimisation of nutritional parameters conducive to a normal haemoglobin level, and the administration of prophylactic antibiotics within one hour of the intervention, are of paramount significance in the course of the intervention and the patient's early discharge from the hospital.
- Intraoperative measures should be centred on the maintenance of a rigorous sterile operating environment, the minimisation of entry and exit, and the reduction of the number of personnel in the operating room. The strict hygiene of surgical instruments and environments, as well as of hands, is of paramount importance.

## 6. REFERENCES

1. Niyomugabo A, Mukeshimana M, Collins A, Bongomin F, Chironda G. Prevalence and Risk Factors for Surgical Site Infections among Patients in Referral Hospitals in Rwanda. Rwanda J Med Health Sci. 2024 Jul 31;7(2):260-272. doi: 10.4314/rjmhs. v7i2.14.

2. Mousavi ST, Mirzaei F, Shimia M, Shakeri M. Prevalence and Risk Factors of Postoperative Spinal Infections: A Five-year Study in Northwestern Iran. Arch Iran Med. 2025 Sep 1;28(9):506-513. doi: 10.34172/aim.34624. Epub 2025 Sep 1. PMID: 41159353; PMCID: PMC12569995.

3. Kazuma SME, Chalwe M, Chirengendure B, et al. Prevalence and Risk Factors for Surgical Site Infections at Three Tertiary Hospitals in the Copperbelt Province, Zambia. East Cent Afr J Surg. 2025;30(3):5-12. doi:10.4314/ecajs.v30i3.2.

4. Pinchera, B.; Buonomo, A.R.; Schiano Moriello, N.; Scotto, R.; Villari, R.; Gentile, I. Update on the Management of Surgical Site Infections. Antibiotics 2022, 11, 1608. https://doi.org/10.3390/ antibiotics11111608.

5. World Health Organisation. Report on the Burden of Endemic Health Care-Associated Infection Worldwide. World Health Organisation; 2011. Accessed September 12, 2025. https://iris.who.int/handle/10665/80135.
6. Network NHS. Surgical Site Infection [SSI] Event; Centers for Disease Control and Prevention: Atlanta, GA, USA, 2013.
7. C. Pranet Reddy, M Thulasi, B Shilpa. A Cross-Sectional Study on the Prevalence and Outcomes of Postoperative Surgical Site Infections in Gastrointestinal Surgeries. Journal of Contemporary Clinical Practice. 2024; Vol 10(1):pg 186-190.
8. Misha G, Chelkeba L, Melaku T. Incidence, risk factors and outcomes of surgical site infections among patients admitted to Jimma Medical Center, South West Ethiopia: Prospective cohort study. Ann Med Surg (Lond). 2021 Mar 29; 65:102247. doi: 10.1016/j.amsu.2021.102247.
9. Li H, Zheng X, Gao J. Comprehensive analysis of risk factors for postoperative wound infection following open reduction and internal fixation of Rib fractures. BMC Infect Dis. 2024 Sep 19;24(1):1013. doi: 10.1186/s12879-024-09946-1.
10. De Lissovoy, G.; Fraeman, K.; Hutchins, V.; Murphy, D.; Song, D.; Vaughn, B.B. Surgical site infection: Incidence and impact on hospital utilisation and treatment costs. Am. J. Infect. Control. 2009, 37, 387–397.
11. Bozic, K.J.; Ries, M.D. The impact of infection after total hip arthroplasty on hospital and surgeon resource utilisation. J. Bone Jt. Surg. Am. 2005, 87, 1746–1751.
12. Moghaddam Firoozeh Rakhshani, Razavi Maryam, Delaramifar Zahra. Prevalence and Risk Factors of Surgical Site Infection Following Cesarean Section. Kermanshah Univ Med Sci. 2025 March; 29(1): e148572 https://doi.org/10.5812/jkums-148572.
13. Rahel Mezemir, Awole Seid, Teshome Gishu, Tangut Demas and Addisu Gize. Prevalence and root causes of surgical site infections at an academic trauma and burn center in Ethiopia: a cross-sectional study. Patient Safety in Surgery (2020) 14:3 https://doi.org/10.1186/s13037-019-0229-x.
14. ularczyk-Tomczewska P, Gujski M, Koperdowska JM, Wójcik J, Silczuk A. Factors Influencing Patient Satisfaction with Healthcare Services in Poland. Med Sci Monit. 2025 Jun 19;31:e948225. doi: 10.12659/MSM.948225.
15. Tian, Y. A review on factors related to patient comfort experience in hospitals. Journal of Health, Population and Nutrition (2023) 42:125 https://doi.org/10.1186/s41043-023-00465-4.
16. Guan T, Chen X, Li J, Zhang Y. Factors influencing patient experience in hospital wards: a systematic review. BMC Nurs. 2024 Aug 1;23(1):527. doi: 10.1186/s12912-024-02054-0.
17. World Health Organisation. Exploring patient participation in reducing health-care-related safety risks. (2013). https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/7e53afbd-09a1-4309-a9d2-31923f110f5e/content.
18. Shakir A, Abate D, Tebeje F, Weledegebreal F. Magnitude of Surgical Site Infections, Bacterial Etiologies, Associated Factors and Antimicrobial Susceptibility Patterns of Isolates Among Post-Operative Patients in Harari Region Public Hospitals, Harar, Eastern Ethiopia. *Infect Drug Resist*. 2021; 14:4629-4639. https://doi.org/10.2147/IDR.S329721.
19. Suszczyńska, J., Grabala, M., & Grabala, P. (2025). Modulation of Surgical Site Infection Risk in Spinal and Thoracic Surgeries Through Operative Parameters: A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*, *14*(22), 8124. https://doi.org/10.3390/jcm14228124.

20. Rezaei AR, Zienkiewicz D, Rezaei AR. Surgical site infections: a comprehensive review. J Trauma Inj. 2025 Jun;38(2):71-81. doi: 10.20408/jti.2025.0019.

# ADVERSE EFFECTS OF ANTIRETROVIRAL THERAPY FOR PATIENTS WITH HIV INFECTION IN A TERTIARY HOSPITAL CENTRE IN ALBANIA

**Mirela Rexhepi**

Mother Theresa" University Hospital Center, Tirana, Albania

Orchid Number: 0009-0004-0132-5066

**Erjona Abazaj**

Institute of Public Health, Tirana, Albania
Orchid Number: 0000-0003-2386-4605

**Esmeralda Meta**

Mother Theresa" University Hospital Center, Tirana, Albania

Orchid Number: 0000-0002-1558-0162

## ABSTRACT

The advent of antiretroviral therapies (ART) has precipitated a paradigm shift in the management of HIV-associated infections. The present study was thus initiated to evaluate the adverse side effects identified among patients treated in a tertiary hospital center in Albania. This retrospective study included patients under regular follow-up at the National Center, specifically the HIV/AIDS outpatient clinic, which is located adjacent to the Infectious Diseases Hospital at the Mother Teresa University Hospital Center in Tirana. The responses were entered into an Excel database and then analysed using SPSS, version 26.0. Statistical data were presented using descriptive statistics in the form of frequencies, mean, and standard deviation ($\bar{x} \pm s$). A total of 68 patients were analysed who were treated at the National Center, at the HIV/AIDS outpatient clinic, Tirana. The average age of the patients was 47.5±7.9, with a minimum age of 22 years and a maximum age of 72 years. Poor adherence was reported in 14.7% of cases, while acceptable adherence was recorded in 26.5%. As per the treatment regimen administered to the patients in this study, 16.2% of subjects reported adverse effects, including nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, hypersensitivity, neutropenia, and mitochondrial toxicity from NRTIs, 10.3% from NNRTIs, while 7.3% from integrase inhibitors. The present study utilised self-report as a means of assessing adherence, thereby demonstrating a moderate prevalence of medication adherence. The suboptimal adherence to HAART that was observed in this study necessitates the implementation of urgent interventions aimed at enhancing adherence.

**Keywords: Adherence, HIV/AIDS, side effects, antiretroviral, patients**

## Introduction

In recent years, the advent of antiretroviral therapies (ART) has precipitated a paradigm shift in the management of HIV-associated infections. The application of these medications has not only significantly improved the life expectancy of these individuals, but has also reduced AIDS-related mortality [1]. In addition to the benefits these treatments have provided, much remains to be done regarding the side effects some of them cause in these patients [2]. It has been documented that approximately 25% of patients discontinue their initial highly active antiretroviral therapy (HAART) regimen due to treatment failure (inability to suppress HIV viral replication below the current limit of detection, 50 copies/mL), toxic effects, or non-compliance with instructions within the first 8 months of therapy [3]. However, recent advancements in the field of antiretroviral therapy (ART) have led to the development of regimens that are associated with a reduced incidence of both serious and intolerable side effects. Despite the development of novel antiretroviral agents, which have led to enhanced treatment effectiveness, significant challenges persist in the management of adverse effects caused by these medications in diverse organisms [4,5]. Antiretroviral therapy comprises six classes of drugs. The categorisation of these pharmaceutical agents is typically based on the stage of the HIV life cycle that they are able to inhibit. The most common combinations are constituted of two nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NRTIs) and one non-nucleoside reverse transcriptase inhibitor (NNRTI), in conjunction with a protease inhibitor (PI) or an integrase inhibitor (II) [6,7].

Antiretroviral therapies have been demonstrated to engender a wide range of adverse effects on the human body. The most common but mild adverse effects that occur early in most antiretroviral regimens include various gastrointestinal problems such as bloating, nausea, and diarrhea, which can often be transient or may persist throughout therapy [5]. It is important to note that other common adverse effects of concern include fatigue and headaches, as well as anxiety. Some of the more uncommon but serious adverse effects associated with antiretroviral therapy include anaemia, peripheral neuropathy, toxicity, and hypersensitivity reactions. However, the subtle and serious nature of other adverse effects, including lactic acidosis, hepatic steatosis, hyperlactatemia, hepatotoxicity, hyperglycemia, fat maldistribution, hyperlipidemia, bleeding disorders, osteoporosis, and rash, required a further evaluation [6–13]. However, the short- and long-term complications of ART may be underestimated for two main reasons. Firstly, most clinical trials use specific inclusion criteria that exclude individuals with certain underlying medical conditions. Secondly, the duration of follow-up of participants is relatively short (generally 2–4 years) [14]. The present study was thus initiated to evaluate the adverse side effects identified among patients treated in a tertiary hospital centre in Albania

## Methodology

This retrospective study included patients under regular follow-up at the National Center, specifically the HIV/AIDS outpatient clinic, which is located adjacent to the Infectious Diseases Hospital at the Mother Teresa University Hospital Center in Tirana.

The objective of this study is to collect quantitative data to identify adverse side effects of different antiretroviral classes in HIV-positive patients. A comprehensive data set was collected, encompassing socio-demographic information, medical histories, and laboratory examinations. This was complemented by a detailed review of observed side effects. In the section pertaining to socio-demographic characteristics, the following variables were included: age, gender, residential status and family structure. The clinical data set under consideration included the year of diagnosis, HIV/AIDS status, initiation of antiretroviral therapy (ART), and the presence of co-infections. It is imperative to note that laboratory data encompasses any

analysis conducted during the presentation to the centre for each patient. Concerning the occurrence of adverse effects, the nature of these has now been ascertained. The laboratory assessment was conducted subsequent to the collection of blood samples, followed by the measurement of viral load and the assessment of T-cell subsets. The study was approved by the Ethics Board of the University of Medicine in Tirana.

**Statistical analysis**

The responses were entered into an Excel database and then analyzed using SPSS, version 26.0. Statistical data were presented using descriptive statistics in the form of frequencies, mean, and standard deviation ($\bar{x} \pm s$).

**Results and Discussion**

Antiretroviral treatments have been shown to have a significant impact on the reduction of AIDS-related morbidity and mortality [3]. However, various studies have indicated that approximately one quarter of patients discontinue their initial regimen due to poor adherence to the prescribed medication, treatment failure related to the inability to suppress HIV viral replication below the current limit of detection (20 copies/ml), and toxic effects or non-compliance within the first eight months of therapy [15-17].

Despite the significant progress in the development of novel antiretroviral agents, considerable challenges persist in optimising the efficacy of existing treatments and in comprehending and managing adverse effects [17].

A total of 68 patients were analysed who were treated at the National Center, at the HIV/AIDS outpatient clinic, Tirana. The average age of the patients was 47.5±7.9, with a minimum age of 22 years and a maximum age of 72 years. The most predominant part of them is men 66.2% compared to women, 33.8%. Most of them were married 66.2% and 50% were in a working relationship. Also, about 44.1% had a significant income of 50,001-100,000 lek, and about 70.6% of them resulted in a BMI level of 16-18.45 (Table 1).

**Table 1. Epidemiological data of patients treated with ARV**

| Variables | Categories | Frequency | Percentage |
|---|---|---|---|
| Age | Mean, StD | 47.5±12.9 | |
| Gender | Female | 23 | 33.8 |
| | Male | 45 | 66.2 |
| Residence Area | Urban | 52 | 76.5 |
| | Rural | 16 | 23.5 |
| Maital Status | Single | 11 | 16.2 |
| | Cohabitation | 5 | 7.3 |
| | Married | 45 | 66.2 |
| | Divorced or Widowed | 7 | 10.3 |
| Employment Status | Unemployed | 19 | 28 |
| | Part-time employee | 5 | 7.3 |
| | Full-time employee | 34 | 50 |
| | Invalid | 7 | 10.3 |
| | Retiree | 3 | 4.4 |
| Family Income Level | ≤20.000 lekë | 8 | 11.8 |
| | 20.001-50.000 lekë | 21 | 30.9 |
| | 50.001-100.000 lekë | 30 | 44.1 |
| | ≥100.0001 lekë | 9 | 13.2 |
| | <16 | 4 | 6.9 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Body Mass Index (BMI) | 16-18.45 | 48 | 70.6 |
| | 18.2-28 | 16 | 23.5 |

Regarding the clinical characteristics of the patients, we emphasise that a considerable number have been diagnosed in the last decade, with an average time of 7.2±3.4 years. Treatment has been immediate for most patients in 85.3% of cases, and only 11.8% have started it after a few months, while 2.9% have started it a little later, after one or two years. Likewise, the presence of co-infections is noted in 80.9% of cases, and the CD4 level above 200 is noted for most patients in 69.1% of them. The viral load has a range from <34- $2.4x10^7$; as a result, the treatment regimen has been changed in 54.4% of cases.

**Table 2. Data on the clinical characteristics of patients**

| **Variables** | **Categories** | **Frequency** | **Percentage** |
|---|---|---|---|
| How long has he/she been diagnosed with HIV | Mean, StD | 7.2±3.4 | |
| When did he/she start treatment (relative to the time of diagnosis) | Immediately | 58 | 85.3 |
| | After a few months | 8 | 11.8 |
| | After a few years | 2 | 2.9 |
| Co-infection | Yes | 55 | 80.9 |
| | No | 13 | 19.1 |
| CD4 level | < 200 | 21 | 30.9 |
| | >200 □ | 47 | 69.1 |
| Viral load at the beginning of treatment | Interval | [<20- $2.4*10^7$] | |
| Treatment regimen | Replacement | 37 | 54.4 |
| | Un replacement | 31 | 45.6 |
| Treatment adherence | Very good | 10 | 14.7 |
| | Good | 30 | 44.1 |
| | Acceptable | 18 | 26.5 |
| | Poor adherence | 10 | 14.7 |
| Antiretroviral Therapies Toxicity | Yes | 7 | 10.3 |
| | No | 61 | 89.7 |

Even though only 68 HIV-positive patients were included in the study, adherence levels were found to be suboptimal in a significant proportion of the sample. Poor adherence was reported in 14.7% of cases, while acceptable adherence was recorded in 26.5%. This level of adherence to the prescribed medications is noteworthy, particularly given that the study population consists exclusively of patients who presented to the centre during the study period. This may result in an even higher number of adherents among those who were unable to present themselves at the clinic during the same study period. However, the present study demonstrated a significantly lower level of adherence when compared to the findings of other studies, which have estimated an adherence prevalence between 55% and 95% [18-20]. It is important to note that the marked discrepancy observed in the present study when compared with other research may be attributable to geographical location, lifestyle, socioeconomic status, and the methodology employed to define and measure medication adherence in patients enrolled in different studies.

Regarding the treatment regimens of these patients, we have presented in the table below a distribution of side effects. The highest number of side effects is observed for NRTIs treatment (Table 3).

**Table 3. Adverse effects associated with HIV treatment**

| The following adverse effects associated with HIV treatment: | Frequency | Percentage |
|---|---|---|
| **NRTIs:** Hypersensitivity, neutropenia, mitochondrial toxicity, nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, etc | 11 | 16.2 |
| **NNRTIs:** Allergic reactions, headache, sleep disturbance, mood changes, etc. | 7 | 10.3 |
| **Integrase inhibitors:** Allergic hypersensitivity reaction, rash, dark-colored urine, diarrhea, flatulence, nausea and vomiting, loss of appetite, abnormal dreams, etc. | 5 | 7.3 |

The management of HIV-positive individuals is predicated on a protocol, wherein all patients are monitored for their adherence and the progression of both the primary condition and any adverse effects. One of the classes of drugs utilised in the treatment of HIV infection is that of nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NRTIs), which constitute the central axis of antiretroviral treatment. Typically, two NRTIs are combined with one drug from each of the remaining two classes: non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NNRTIs) and integrase inhibitors (II) [21-23]. According to Murugesan et al (2020), combination therapy is utilised in such cases for protracted periods, which can consequently precipitate long-term complications, including toxicity, drug interactions and elevated treatment expenses. As per the treatment regimen administered to the patients in this study, 16.2% of subjects reported adverse effects, including nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, hypersensitivity, neutropenia, and mitochondrial toxicity from NRTIs. Additionally, 10.3% of subjects experienced allergic reactions from NNRTIs, while 7.3% encountered side effects such as allergic hypersensitivity reactions, rash, dark-coloured urine, diarrhea, flatulence, nausea, vomiting, loss of appetite, and abnormal dreams from II. The present findings are consistent with those of other studies [24-26].

## Conclusion

The present study utilised self-report as a means of assessing adherence, thereby demonstrating a moderate prevalence of medication adherence. The suboptimal adherence to HAART that was observed in this study necessitates the implementation of urgent interventions aimed at enhancing adherence.

## References

1. Zhao F, Lu H. Renal safety of tenofovir alafenamide-based antiretroviral therapy in people with HIV: A mini-review. Biosci Trends. 2024 Jun 6;18(2):141-152. doi: 10.5582/bst.2024.01062.
2. Tao X, Lu Y, Zhou Y, Zhang L, Chen Y. Efficacy and safety of the regimens containing tenofovir alafenamide versus tenofovir disoproxil fumarate in fixed-dose single-tablet regimens for initial treatment of HIV-1 infection: A meta-analysis of randomized controlled trials. Int J Infect Dis. 2020 Apr;93:108-117. doi: 10.1016/j.ijid.2020.01.035.
3. Montessori V, Press N, Harris M, Akagi L, Montaner JS. Adverse effects of antiretroviral therapy for HIV infection. CMAJ. 2004 Jan 20;170(2):229-38.

4. Orkin C, Molina JM, Cahn P, et al. Safety and efficacy of doravirine as first-line therapy in adults with HIV-1: week 192 results from the open-label extensions of the DRIVE-FORWARD and DRIVE-AHEAD phase 3 trials. *Lancet HIV*. 2024;11(2):e75-e85. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38141637.
5. Mallory O. Johnson, Edwin Charlebois, Stephen F. Morin, Sheryl L. Catz, Rise B. Goldstein, Robert H. Remien, et al., and the NIMH Healthy Living Project Team. Perceived Adverse Effects of Antiretroviral Therapy. Journal of Pain and Symptom Management. 2004;29(2):193-205. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2004.05.005.
6. Kemnic TR, Gulick PG. HIV Antiretroviral Therapy. [Updated 2022 Sep 20]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513308/
7. Riddell J, Amico KR, Mayer KH. HIV Preexposure Prophylaxis: A Review. JAMA. 2018 Mar 27;319(12):1261-1268.
8. Tanner MR, Miele P, Carter W, Valentine SS, Dunville R, Kapogiannis BG, Smith DK. Preexposure Prophylaxis for Prevention of HIV Acquisition Among Adolescents: Clinical Considerations, 2020. MMWR Recomm Rep. 2020 Apr 24;69(3):1-12.
9. Guzman N, Vijayan V. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): Nov 7, 2022. HIV-Associated Lipodystrophy.
10. Kausar S, Said Khan F, Ishaq Mujeeb Ur Rehman M, Akram M, Riaz M, Rasool G, Hamid Khan A, Saleem I, Shamim S, Malik A. A review: Mechanism of action of antiviral drugs. Int J Immunopathol Pharmacol. 2021 Jan-Dec;35:20587384211002621.
11. Endalamaw A, Tezera N, Eshetie S, Ambachew S, Habtewold TD. Adherence to Highly Active Antiretroviral Therapy Among Children in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-analysis. AIDS Behav. 2018 Aug;22(8):2513-2523.
12. Engler K, Lènàrt A, Lessard D, Toupin I, Lebouché B. Barriers to antiretroviral therapy adherence in developed countries: a qualitative synthesis to develop a conceptual framework for a new patient-reported outcome measure. AIDS Care. 2018 Jan-Dec;30(sup1):17-28.
13. LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury [Internet]. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases; Bethesda (MD): Jan 4, 2016. Abacavir.
14. Orkin C, DeJesus E, Sax PE, et al. Fixed-dose combination bictegravir, emtricitabine, and tenofovir alafenamide versus dolutegravir-containing regimens for initial treatment of HIV-1 infection: week 144 results from two randomised, double-blind, multicentre, phase 3, non-inferiority trials. *Lancet HIV*. 2020;7(6): e389-e400. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32504574.
15. d'Arminio Monforte A, Lepri AC, Rezza G, Pezzotti P, Antinori A, Phillips AN, et al. Insights into the reasons for discontinuation of the first highly active antiretroviral therapy (HAART) regimen in a cohort of antiretroviral naïve patients. I.C.O.N.A. Study Group. Italian Cohort of Antiretroviral-Naïve Patients. *AIDS* 2000;14:499-507.
16. Safari, F., Hashempour, A., Khodadad, N. *et al.* What leads to treatment failure among people living with HIV: first systematic review from the middle east and North Africa. *Virol J*. 22, 344 (2025). https://doi.org/10.1186/s12985-025-02916-26.
17. Desalegn Getnet Demsie, Abere Tilahun Bantie, Mengesha Dessie Allene, Niguse Meles Alema, Desye Gebrie, Antiretroviral treatment failure among HIV-positive adults taking first-line therapy and associated risk factors at Adigrat General hospital, Adigart, Ethiopia 2019: A cross sectional study. International Journal of Surgery Open. 2020;26: 16-21. https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.08.001.

18. Isika AI, Shehu A, Dahiru T, Obi IF, Oku AO, Balogun MS, Etokidem A. Factors influencing adherence to antiretroviral therapy among HIV-infected adults in Cross River State, Nigeria: a cross-sectional study. Pan Afr Med J. 2022 Dec 9;43:187. doi: 10.11604/pamj.2022.43.187.37172.
19. Gaifer Z, Boulassel MR. Comparative Analysis of two Methods of Measuring Antiretroviral Therapy Adherence in HIV-Infected Omani Patients. J Int Assoc Provid AIDS Care. 2019 Jan-Dec;18:2325958219867316. doi: 10.1177/2325958219867316.
20. Chime OH, Ndibuagu EO, Orji CJ. Rates and predictors of adherence and retention for antiretroviral therapy among HIV-positive adults in Enugu, Nigeria. Malawi Med J. 2019 Sep 1;31(3):202–211. doi: 10.4314/mmj.v31i3.7.
21. Patel PH, Zulfiqar H. Reverse Transcriptase Inhibitors. [Updated 2023 Jun 25]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551504/
22. Eggleton JS, Nagalli S. Highly Active Antiretroviral Therapy (HAART) [Updated 2023 Jul 3]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554533/
23. Murugesan Vanangamudi, Sonali Kurup, Vigneshwaran Namasivayam. Non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NNRTIs): a brief overview of clinically approved drugs and combination regimens. Current Opinion in Pharmacology. 2020; Volume 54: 179-187. https://doi.org/10.1016/j.coph.2020.10.009.
24. Simachew Getaneh Endalamew, Solomon Keflie Assefa, Milkiyas Solomon Getachew, Fetlework Gubena Arage, Dejen Kahsay Asgedom, Bewuketu Terefe and Destaw Fetene Teshome. Incidence of Adverse Drug Reactions Among HIV Patients on Antiretroviral Drugs in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-Analysis. AIDS Research and Treatment. 2025, Article ID 8820274, 15 pages. https://doi.org/10.1155/arat/8820274.
25. Felix Tetteh Dadebo, Ebenezer Wiafe, Neelaveni Padayachee, Celenkosini Thembelenkosini Nxumalo, Frasia Oosthuizen, Varsha Bangalee, Berko Panyin Anto. Antiretroviral-Related Adverse Reactions: A Cause for Concern. Sys Rev Pharm 2021; 12(12): 684-690 A multifaceted review journal in the field of pharmacy E-ISSN 0976-2779 P-ISSN 0975-8453.
26. Gudina EK, Teklu AM, Berhan A, Gebreegziabhier A, Seyoum T, Nega A, *et al.* Magnitude of antiretroviral drug toxicity in adult HIV patients in Ethiopia: A cohort study at seven teaching hospitals. Ethiop J Health Sci. 2017; 27(1): 39-52.

# TÜRKİYE'DE TANILAR ARASI AŞERME ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK BİR GEREKSİNİM

**İlayda Özgürdal**

Ege Üniversitesi/Madde Bağımlılığı, Toksikoloji ve İlaç Bilimleri Enstitüsü,

ilaydaozgurdal@gmail.com – ORCID: 0009-0001-4981-1619

**Prof. Dr. Işıl Ergin**

Ege Üniversitesi/Halk Sağlığı Anabilim Dalı,

isil.ergin@ege.edu.tr – ORCID: 0000-0002-3102-3315

**Doç. Dr. Umut Kırlı**

Ege Üniversitesi/Madde Bağımlılığı, Toksikoloji ve İlaç Bilimleri Enstitüsü,

umut.kirli@ege.edu.tr – ORCID: 0000-0001-9924-2672

## ÖZET

Aşerme (craving), bağımlılık süreçlerinin sürdürülmesinde ve nüksün ortaya çıkmasında önemli rol oynayan temel kavramlardan biridir. Bu nedenle bağımlılık alanındaki araştırmalarda ve klinik uygulamalarda aşermenin doğru biçimde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak aşerme ölçümünde kullanılan araçlar çoğunlukla belirli bir maddeye ya da davranışa özgü olarak geliştirilmiştir. Bu durum, farklı bağımlılık türleri arasında karşılaştırma yapılmasını güçleştirmekte ve ortak psikolojik süreçlerin bütüncül biçimde değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır.

Son yıllarda bağımlılık alanında öne çıkan trans-diagnostik (tanılar arası) yaklaşımlar, madde kullanım bozuklukları ile davranışsal bağımlılıkların bazı ortak mekanizmalara sahip olabileceğini göstermiştir. Aşerme de bu ortak mekanizmalar arasında yer almakta ve farklı bağımlılık türlerinde benzer biçimlerde deneyimlenebilmektedir. Buna karşın Türkiye'de kullanılan mevcut aşerme ölçekleri ağırlıklı olarak belirli bağımlılık türlerine odaklanmakta, hem madde kullanım bozukluklarını hem de davranışsal bağımlılıkları birlikte değerlendirebilen ölçüm araçlarının eksikliği dikkat çekmektedir.

Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen Craving Assessment Scale for Behavioral Addictions and Substance-use Disorders (CASBAS), aşermeyi bağımlılık-ötesi bir yapı olarak değerlendirmeyi amaçlayan güncel ölçüm araçlarından biridir. Sonuç olarak, Türkiye'de aşermenin trans-diagnostik bir bakış açısıyla değerlendirilmesine olanak sağlayacak araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimden hareketle CASBAS'ın Türkçe uyarlamasına yönelik geçerlik ve güvenirlik çalışması sürdürülmekte olup, ölçeğin Türkçe formunun bağımlılık alanındaki araştırmalara ve klinik uygulamalara katkı sağlaması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** aşerme, davranışsal bağımlılıklar, madde kullanım bozuklukları, geçerlik ve güvenirlik, ölçek uyarlama

# Assessment of Patient Information Materials Prepared by the Turkish Pharmacists' Association Using PEMAT-P

**Asst. Prof. Cengizhan CEYLAN**
Selcuk University Faculty of Pharmacy, Department of Clinical Pharmacy
cengizhan.ceylan@selcuk.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-4164-9212

## ABSTRACT

Patient education materials are important in promoting disease related knowledge and supporting preventative health habits. However, the effectiveness of these materials depends on their understandability and actionability. Considering the challenges associated with health literacy among the general population, evaluating the quality of these materials using objective criteria is becoming increasingly important. This study aimed to determine the levels of understandability and actionability of patient information brochures prepared by the Turkish Pharmacists' Association by evaluating them using the PEMAT-P. Twenty-nine patient information brochures prepared by the Turkish Pharmacists' Association were analyzed using PEMAT-P within the framework of understandability and actionability. Mean understandability was 84.4% and mean actionability was 56.2%. The breastfeeding brochure had the highest level of understandability (100%) and the blood pressure brochure had the highest level of actionability (83.3%). Most frequently cited deficiencies were lack of summary, lack of specific tools/checklists, and insufficient images to guide action. The patient information leaflets are adequate in terms of understanding but may be improved in terms of actionability.

**Keywords :** Patient education materials, PEMAT-P, Health literacy.

# MICROPLASTICS AND ATHEROSCLEROSIS: MECHANISMS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION

**Selen SELVİ**
Gazi University Faculty of Pharmacy
Cukurova University Faculty of Pharmacy
selenselvi06@gmail.com - 0009-0000-3426-8150

**Asst. Prof. Dr. Anıl YİRÜN**
Cukurova University Faculty of Pharmacy
anil.yirun@gmail.com - 0000-0002-4050-8832

**Assoc. Prof. Dr. Göksun DEMİREL**
Çukurova University Faculty of Pharmacy
gdemirel@cu.edu.tr - 0000-0003-1928-3699

**Assoc. Prof. Dr. Onur Kenan ULUTAŞ**
Gazi University Faculty of Pharmacy
onurkenan@gazi.edu.tr - 0000-0001-8819-9461

## ABSTRACT

Microplastics have become a significant public health concern in recent years due to their widespread presence in the environment and increasing human exposure. These particles can enter the body through oral, inhalation, and dermal routes, subsequently reaching the systemic circulation and bioaccumulating in various tissues. Recent studies have demonstrated the presence of microplastics in atherosclerotic plaques, suggesting a potential association with cardiovascular diseases.

In this review, the potential role of microplastics in the development of atherosclerosis is evaluated in light of current evidence. Accumulating data indicate that microplastics induce oxidative stress by increasing the production of reactive oxygen species (ROS), leading to lipid peroxidation, mitochondrial dysfunction, and reduced endothelial nitric oxide bioavailability. Furthermore, activation of the NF-κB and NLRP3 inflammasome pathways promotes vascular inflammation through enhanced release of pro-inflammatory cytokines. Impaired endothelial integrity, upregulation of adhesion molecules, and enhanced macrophage-to-foam cell transformation contribute to the initiation and progression of atherosclerosis. In addition, emerging evidence suggests that microplastics may disrupt intracellular copper homeostasis and trigger cuproptosis-related endothelial injury, although its contribution to atherosclerotic progression remains to be elucidated. The detection of microplastics in atherosclerotic plaques and the increased risk of major adverse cardiovascular events among affected individuals further support the clinical relevance of this association.

In conclusion, current findings suggest that microplastics may contribute to atherosclerosis through oxidative stress, vascular inflammation, endothelial dysfunction, and potentially cuproptosis-related mechanisms. However, further clinical and mechanistic studies are required to clarify these pathways and determine the magnitude of cardiovascular risk.

**Keywords:** Microplastics, atherosclerosis, oxidative stress, vascular inflammation, cuproptosis

# MİKROPLASTİKLER VE ATEROSKLEROZ: ENDOTEL DİSFONKSİYONUNUN MEKANİZMALARI

**Selen SELVİ**
Gazi Üniversitesi Eczacılık Fakültesi
Çukurova Üniversitesi Eczacılık Fakültesi
selenselvi06@gmail.com - 0009-0000-3426-8150

**Dr. Öğr. Üyesi Anıl YİRÜN**
Çukurova Üniversitesi Eczacılık Fakültesi
anil.yirun@gmail.com - 0000-0002-4050-8832

**Doç. Dr. Göksun DEMİREL**
Çukurova Üniversitesi Eczacılık Fakültesi
gdemirel@cu.edu.tr - 0000-0003-1928-3699

**Doç. Dr. Onur Kenan ULUTAŞ**
Gazi Üniversitesi Eczacılık Fakültesi
onurkenan@gazi.edu.tr - 0000-0001-8819-9461

## ÖZET

Mikroplastikler, çevrede yaygın olarak bulunmaları ve insanlara maruz kalma oranlarının artması nedeniyle son yıllarda önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Bu parçacıklar ağız yoluyla, solunum yoluyla ve deri yoluyla vücuda girebilir, ardından sistemik dolaşıma ulaşarak çeşitli dokularda biyobirikim gösterebilir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, aterosklerotik plaklarda mikroplastiklerin varlığını ortaya koymuş ve bu durumun kardiyovasküler hastalıklarla potansiyel bir bağlantısı olduğunu düşündürmektedir.

Bu derlemede, mikroplastiklerin aterosklerozun gelişimindeki potansiyel rolü mevcut kanıtlar ışığında değerlendirilmektedir. Biriken veriler, mikroplastiklerin reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif stresi tetiklediğini ve bunun da lipit peroksidasyonuna, mitokondriyal disfonksiyona ve endotel nitrik oksit biyoyararlanımının azalmasına yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, NF-κB ve NLRP3 inflammasom yolaklarının aktivasyonu, proinflamatuar sitokinlerin salınımını artırarak vasküler inflamasyonu teşvik etmektedir. Endotel bütünlüğünün bozulması, adhezyon moleküllerinin yukarı regülasyonu ve

makrofajların köpük hücrelerine dönüşümünün artması, aterosklerozun başlangıcına ve ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Buna ek olarak, ortaya çıkan kanıtlar, mikroplastiklerin hücre içi bakır homeostazını bozabileceğini ve cuproptosis ile ilişkili endotel hasarını tetikleyebileceğini göstermektedir, ancak bunun aterosklerotik ilerlemeye katkısı henüz açıklığa kavuşturulmamıştır. Aterosklerotik plaklarda mikroplastiklerin saptanması ve etkilenen bireylerde majör kardiyovasküler olay riskinin artması, bu ilişkinin klinik önemini daha da desteklemektedir.

Sonuç olarak, mevcut bulgular mikroplastiklerin oksidatif stres, damar iltihabı, endotel disfonksiyonu ve muhtemelen kuproptozla ilişkili mekanizmalar yoluyla ateroskleroza katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu yolakları netleştirmek ve kardiyovasküler riskin boyutunu belirlemek için daha fazla klinik ve mekanizma odaklı çalışma yapılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Mikroplastikler, ateroskleroz, oksidatif stres, vasküler inflamasyon, kuproptozis

# HYBRID EEG–BIOSENSOR PLATFORMS FOR MULTIMODAL BRAIN MONITORING: A REVIEW OF ELECTROPHYSIOLOGICAL, BIOCHEMICAL, AND WEARABLE SENSING APPROACHES

**Hezzal Küçükselbes**
Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Dep. of Electrical and Electronics Eng.,
hezzalkucuk@gmail.com - 0009-0006-0451-1045

**Prof. Özge Cihanbeğendi**
Dokuz Eylül University Engineering Faculty, Dep. of Electrical and Electronics Eng.,
ozge.sahin@deu.edu.tr - 0000-0001-7839-2954

## ABSTRACT

Electroencephalography (EEG) is one tool for studying how neural activity is affected by task context, whether it be past experiences, sensory input or mental state. EEG records electrical activity in the brain at millisecond resolution. However, EEG signals exhibit low amplitude, are susceptible to noise interference, and are significantly impacted by artifacts, electrode-skin impedance, and inter-subject variability. Moreover, EEG alone does not directly reflect the biochemical, metabolic, or hemodynamic state of the brain. For this reason, hybrid EEG-biosensor platforms have recently emerged as a promising approach for multimodal brain monitoring. This review focuses on the fundamental concepts of biomedical sensors, EEG neurophysiology, transduction mechanisms, analog front-end system requirements, electrode materials, and integration of nanomaterial-based sensors, as well as signal processing and data fusion strategies for hybrid brain monitoring. Recent case studies suggest that EEG biosensors have the potential to be used for long-term wearable health monitoring, early detection of neurodegenerative diseases, neurorehabilitation, brain-computer interfaces and epilepsy monitoring. Despite this potential, numerous challenges persist, including motion artifacts, a low signal-to-noise ratio, biocompatibility concerns, power consumption issues, real-time processing requirements, and the privacy of neural data. Future developments in flexible electrodes, edge artificial intelligence, and privacy-preserving signal processing are expected to improve the clinical applicability of hybrid EEG-biosensor platforms.

**Keywords:** EEG, biosensor, multimodal brain monitoring, wearable systems, neurotechnology

## 1. INTRODUCTION

In neuroscience, biomedical engineering and neurotechnology, the continuous monitoring of brain activity is of great interest, in particular within clinical decision support systems. Electroencephalography (EEG), which measures changes in electrical potential from the surface of the scalp, is one of the most widely used non-invasive methods for brain activity measurement. This temporal advantage renders EEG particularly advantageous for the observation of rapid neural phenomena, including epileptic discharges, transitions between sleep stages, event-related potentials, motor imagery responses, and variations in cognitive workload.

EEG is not a direct measure of individual action potentials, but rather a summation of synchronous post-synaptic potentials [4] produced by populations of cortical neurons. Moreover, the recorded EEG signal is substantially affected by various factors including the skull, scalp, electrode-skin interface, ambient noise, motion artifacts, ocular movements, and muscular activity. These constraints complicate the interpretation of EEG signals significantly, particularly in contexts involving ambulatory and wearable applications.

Neural activity is not purely an electrophysiological event. Neural activation is simultaneously correlated with changes in ion concentrations, metabolic demand, oxygenation, neurotransmitters and vascular dynamics. Combining electrophysiology (EEG) with biosensor systems may offer a fuller picture of brain activity. Hybrid EEG-biosensor platforms are designed to amalgamate electrophysiological signals with biochemical, metabolic, hemodynamic, or interface-related measurements. Such multimodal systems may enhance the robustness, interpretability, and clinical relevance of brain monitoring technologies.

Recent developments in nanomaterials, flexible electronics, electrochemical biosensors, dry and semi-dry electrodes, in-ear sensing platforms, and artificial intelligence have accelerated the development of hybrid EEG-biosensor systems. These systems may support future applications in epilepsy monitoring, Alzheimer's disease assessment, brain-computer interfaces, neurorehabilitation, mental workload analysis, and long-term wearable healthcare.

The aim of this review is to examine the main components, opportunities, and challenges of hybrid EEG-biosensor platforms for multimodal brain monitoring. More than ten studies were reviewed under the themes of biosensor fundamentals, transduction mechanisms, EEG neurophysiology, analog front-end design, electrode-skin interface, nanomaterial-based electrodes, multimodal EEG-biosensor integration, signal processing, artificial intelligence, wearable systems, and neuro-privacy.

## 2. REVIEW SCOPE AND METHODOLOGY

This study was designed as a narrative review. The reviewed literature was selected according to its relevance to hybrid EEG-biosensor platforms and multimodal brain monitoring. The selected

studies include review articles, experimental biosensor studies, EEG acquisition studies, electrode material studies, multimodal sensing studies, signal processing studies, and privacy-preserving EEG analysis studies.

The literature was grouped into seven main categories: biosensor fundamentals and transduction, EEG neurophysiology and signal characteristics, analog front-end and acquisition hardware, electrode materials and electrode-skin interface, multimodal EEG-biosensor integration, artificial intelligence-based signal processing, and wearable neurotechnology with privacy considerations.

This review does not aim to perform a statistical meta-analysis. Instead, it provides a conceptual and engineering-oriented synthesis of the literature in order to explain how EEG and biosensor technologies can be integrated into future brain monitoring systems.

**Table 1. Main literature groups reviewed in this study**

| No | Literature Group | Representative Studies | Contribution to the Review |
|---|---|---|---|
| 1 | Biosensor fundamentals | Sudha Kumari and Suryabai, 2024; Naresh and Lee, 2021 | Explains biosensor classification, recognition elements, transducers, and nanomaterial-enabled biosensing. |
| 2 | Wearable transducers | Polat et al., 2022; Yang et al., 2020 | Describes electrochemical and wearable transducer technologies for continuous monitoring. |
| 3 | EEG neurophysiology | Kirschstein and Köhling, 2009; Kumar and Bhuvaneswari, 2012; Ouyang and Zhou, 2023 | Explains EEG origin, frequency bands, and electrophysiological signal interpretation. |
| 4 | EEG acquisition hardware | Usakli, 2010; Li et al., 2023; Texas Instruments, 2017 | Discusses analog front-end design, ADC requirements, sampling, and electronic noise reduction. |
| 5 | Electrode-skin interface | Yang et al., 2022; Shad et al., 2020; Lopez-Gordo et al., 2014; Brake et al., 2024 | Reviews wet, dry, semi-dry, and active electrode systems. |
| 6 | Hybrid EEG-neurochemical sensing | Chen et al., 2025; Zhang et al., 2024; Clegern et al., 2012; Xu et al., 2023 | Demonstrates EEG integration with dopamine, lactate, and metabolic sensing. |
| 7 | Multimodal clinical and AI systems | Li et al., 2022; Chen et al., 2024; Afridi et al., 2026; Li et al., 2006; Rosanne et al., 2021; Popescu et al., 2021 | Covers EEG-fNIRS fusion, seizure prediction, Alzheimer's assessment, artifact reduction, and neuro-privacy. |

## 3. BIOSENSOR FUNDAMENTALS AND TRANSDUCTION MECHANISMS

A biosensor is a device that converts a biological or physiological interaction into a measurable signal. Simply put, in a general biosensor system, a target analyte interacts with a biological recognition element, and this is converted (via a transducer) into a signal, which can be optical, electrical, electrochemical, thermal or mechanical. The signal is then subjected to processing, amplification, filtering, and interpretation.

Biosensors can also be used to measure biomarkers in the brain, such as glucose, lactate, pH, potassium levels, sodium levels, dopamine and oxygenation, and impedance changes. These measurements can add information to electroencephalography, or EEG. While EEG reflects electrical activity within the brain, biosensors can elucidate the biochemical or metabolic state associated with that activity.

Sudha Kumari and Suryabai [1] review recent advances in biosensors, explaining biosensor categories and principles, and how modern biosensing platforms are trending toward portable, miniaturized and wearable applications. Naresh and Lee [2] elucidated the significance of nanostructured materials in augmenting biosensor performance. Nanomaterials including graphene, carbon nanotubes, metal nanoparticles, and nanowires have the potential to enhance sensitivity through an increase in surface area, improvement in electron transfer mechanisms, and facilitation of functional surface modification.

Polat et al. [3] reviewed transducer technologies for wearable biosensors and showed that the selection of transduction mode depends strongly on the target analyte and intended application. In hybrid EEG-biosensor systems, amperometric sensing can be used for redox-active biomarkers such as lactate, glucose, and dopamine. Potentiometric sensing can be used for ion concentration and pH monitoring. Impedimetric and capacitive sensing can be used to evaluate tissue impedance, electrode-skin contact quality, or interface stability.

The transduction mechanism is important because the brain is an electrochemical organ. Neural activity involves ionic fluxes, synaptic activity, neurotransmitter release, and metabolic regulation. Therefore, an ideal multimodal brain monitoring platform should be able to connect electrical brain signals with biochemical and physiological context.

## 4. NEUROPHYSIOLOGICAL BASIS AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF EEG

To properly interpret EEG signals, it is important to understand their physiological source. EEG does not record action potentials of single neurons, but instead is a reflection of the summation of synchronized postsynaptic potentials (excitatory and inhibitory), chiefly generated by cortical pyramidal neurons. Kirschstein and Köhling [4] emphasized that understanding the physiological source of EEG is essential for correct signal interpretation. Since EEG signals pass through brain tissue,

cerebrospinal fluid, skull, and scalp before reaching the electrode, the measured signal is attenuated and spatially blurred.

The electroencephalographic (EEG) signals are often considered in terms of frequency bands. Delta activity is mainly related to deep sleep; theta activity to drowsiness and memory-related processing; alpha activity to relaxed wakefulness; beta activity to active cognitive and sensorimotor processing; and gamma activity to higher cognitive functioning. Kumar and Bhuvaneswari [5] offered a comprehensive overview of the categorization of EEG signals and underscored the significance of these frequency bands for both clinical and engineering applications.

Event-related potentials and time-frequency dynamics provide additional information about brain responses to stimuli. Ouyang and Zhou [6] discussed how average temporal waveforms, time-frequency representations, and phase dynamics can be used to extract information from event-related brain activity. These features are important for brain-computer interfaces, cognitive workload studies, and neurophysiological assessment.

From an engineering standpoint, EEG signals are difficult to acquire. Their amplitude is on the microvolt level and they are easily contaminated by many different ambient noises, such as eye blinks, muscle movements, power line noise and electrode motion. Attar [7] conducted a comprehensive review of EEG methodologies for the assessment of mental stress and underscored the critical role of signal processing in the extraction of salient features from contaminated EEG data. These inherent challenges elucidate the necessity for both high-quality hardware and sophisticated signal processing techniques in EEG acquisition.

## 5. ANALOG FRONT-END DESIGN AND EEG ACQUISITION HARDWARE

The analog front-end is one of the most important components of an EEG acquisition system. Since EEG signals are low in amplitude, the front-end must amplify weak differential signals while rejecting common-mode noise. Usakli [8] reviewed EEG signal acquisition from an electrical engineering perspective and described the need for high input impedance, high common-mode rejection ratio, low noise, and suitable filtering.

Additionally, instrumentation amplifiers used in EEG systems amplify the voltage difference between electrodes while rejecting common-mode interference (e.g., 50/60 Hz power-line noise). While amplifying the brain signal, it is important to reduce noise to sufficiently “clean up” the signal. High input impedance is also necessary to minimize signal loss caused by electrode-skin impedance. If the amplifier input impedance is not sufficiently high, the recorded EEG signal may be distorted or attenuated.

The signals are digitized by analog–to–digital converters (ADCs) following analog amplification and filtering. High-resolution ADCs are required to record the microvolt-level signals in the presence of large DC offsets. The Texas Instruments ADS1299 is frequently cited as a low-noise, multichannel, 24-bit analog front-end specifically designed for biopotential measurements [9].

Furthermore, Li et al. [10] elucidated the design and implementation of a high sampling rate and multichannel EEG recording system, thereby underscoring the significance of sampling rate, multichannel synchronization, and acquisition stability.

Hybrid EEG-biosensor systems would also require acquisition hardware with added complexity to record electrophysiological signals and electrochemical signals simultaneously. While EEG acquisition necessitates low-noise recordings of voltage, electrochemical biosensors require additional capability to measure potential, current, or impedance. Consequently, forthcoming hybrid platforms demand integrated circuit architectures capable of supporting multiple sensing modalities without introducing cross-talk or additional noise.

## 6. ELECTRODE MATERIALS AND ELECTRODE-SKIN INTERFACE

EEG signal quality is ultimately determined by the electrode-skin interface. Traditional wet Ag/AgCl electrodes require skin preparation and conductive gel and are capable of low impedance, stable recordings. The need for conductive gel and skin preparation makes them less practical for long-term wearable usage. Dry electrodes are easier to use and more suitable for daily monitoring, but they often have higher impedance and are more sensitive to motion artifacts.

Yang et al. [11] emphasized that the contact impedance between the electrode and the skin surface is highly relevant for electrophysiological recordings, particularly in hybrid EEG-biosensor platforms. Their research is particularly pertinent to hybrid EEG-biosensor platforms, as impedance significantly influences both signal quality and long-term stability. Shad et al. [12] performed a comprehensive review of passive and active dry EEG electrodes, elucidating how impedance and noise characteristics impact the performance of dry electrodes. Active dry electrodes possess the capability to mitigate the effects of elevated contact impedance by incorporating amplification proximal to the electrode; however, this integration also results in increased system complexity and heightened power requirements.

Lopez-Gordo et al. [13] reviewed dry EEG electrodes and showed that dry electrode development is essential for practical wearable EEG. However, dry electrodes must balance comfort, conductivity, contact stability, and mechanical design. Semi-dry electrodes attempt to solve this problem by using limited hydration to reduce impedance while avoiding the disadvantages of conventional gel-based wet electrodes.

In a recent study, Brake et al. (14) examined the neurophysiological bases of aperiodic EEG activity and its spectral features. While this topic may seem tangential to the development of hybrid EEG-biosensor platforms, it is important to remember that electrode-skin contact quality, and indeed the type of electrode, may affect the EEG spectrum. Suboptimal electrode contact has the potential to distort signal characteristics and complicate the interpretation of neural oscillations.

Additionally, in hybrid EEG-biosensor systems, the electrode may not only act as a passive recording contact, but also as an active biochemical sensing interface. Consequently, the selection of electrode materials must take into account several critical factors, including electrical conductivity, electrochemical activity, biocompatibility, flexibility, durability, and the capacity for surface functionalization.

## 7. NANOMATERIAL-BASED HYBRID ELECTRODES

Nanomaterial-based electrodes are among the most promising components of hybrid EEG-biosensor platforms. Nanomaterials can provide high surface area, strong conductivity, catalytic activity, flexibility, and functional surface chemistry. These properties are useful for both EEG recording and electrochemical biomarker detection.

Chen et al. [15] developed boron-nitrogen co-doped graphene-diamond microelectrodes for both EEG recording and dopamine detection. This study is directly relevant to hybrid EEG-biosensor technology because it demonstrates a dual-mode platform that combines electrophysiological sensing with neurochemical detection. Dopamine is an important neurotransmitter associated with reward, attention, motor control, and several neurological disorders. Therefore, simultaneous EEG and dopamine monitoring may provide more comprehensive information about neural activity and neurochemical regulation.

Carbon-based materials such as graphene or carbon nanotubes have been explored widely for use in neural interfaces and biosensors. These materials have enormous surface area, high electrical conductivity and favorable electron-transfer properties, and they can be functionalized with enzymes, aptamers, antibodies and other recognition elements to improve selectivity toward target biomolecules. Graphene and carbon nanotubes are thus ideally suited for electrochemical sensing. Conductive polymers and MXene-based materials may further augment flexibility, conductivity, and mechanical compatibility. Collectively, these materials may make a significant contribution to the advancement of skin-conformal or implantable hybrid electrodes.

However, nanomaterial-based hybrid electrodes also present challenges. These include reproducibility of fabrication, long-term stability, biocompatibility, calibration drift, electrochemical interference, and signal cross-talk between EEG and biosensor channels. For clinical translation, these systems must be validated under realistic conditions and compared with standard EEG and biochemical measurement methods.

## 8. MULTIMODAL EEG-BIOSENSOR INTEGRATION

The main advantage of hybrid EEG-biosensor systems is their ability to connect electrical brain activity with biochemical, metabolic, or physiological variables. Since neural activity consumes energy, metabolic biomarkers such as lactate and glucose can provide

important information about brain function. Lactate is particularly relevant because it is associated with energy metabolism and neural activity.

Clegern et al. [16] demonstrated simultaneous EEG recording, real-time lactate concentration measurement, and optogenetic manipulation in the rodent cerebral cortex. This study showed that electrophysiological activity and metabolic changes can be monitored together in vivo. Zhang et al. [17] developed a multimodal integrated flexible neural probe for in situ monitoring of EEG and lactic acid. Their work supports the idea that flexible probes can record electrophysiological and metabolic signals from the same platform.

The study by Xu et al. [18] is particularly noteworthy because it demonstrates the feasibility of combining brain activity monitoring with biochemical sensing. In particular, Xu et al. present an in-ear integrated sensor array, capable of continuously monitoring brain activity and lactate levels in sweat. In-ear platforms are particularly appealing due to the ear's provision of a stable anatomical site for wearable sensors, which facilitates extended monitoring while minimizing visibility and enhancing user comfort.

EEG can also be combined with hemodynamic sensing. Li et al. [19] reviewed concurrent EEG and functional near-infrared spectroscopy for brain function investigation. EEG provides high temporal resolution, while fNIRS provides information about cerebral oxygenation and hemodynamic responses. Combining these modalities can improve the interpretation of neurovascular coupling and is valuable for brain-computer interfaces, neurorehabilitation, and cognitive workload monitoring.

In order to integrate multimodal information, each modality has its own physiological time scale, noise characteristics, signal amplitude and sampling rate. For example, both fMRI and EEG measure millions of neurons at a time, but the fMRI signal covers several seconds (time scales of hundreds to thousands of milliseconds) while the EEG signal is measured at time scales of less than a millisecond. Electroencephalography (EEG) alterations transpire rapidly, whereas metabolic and hemodynamic signals may develop at a more gradual pace. Consequently, synchronization, preprocessing, feature extraction, and data fusion represent critical components in hybrid systems.

## 9. CLINICAL AND WEARABLE APPLICATION PERSPECTIVES

Hybrid EEG-biosensor platforms may provide significant benefits in clinical and wearable healthcare applications. One important application area is epilepsy monitoring. EEG is the primary tool for detecting seizure-related brain activity, but EEG-only prediction systems may be affected by noise, artifacts, and patient variability. Chen et al. [20] reported an EEG-based seizure detection and prediction approach using an approximate spiking convolutional transformer. Although this study focused on EEG-based prediction, future systems may improve robustness by adding movement, autonomic, or metabolic biosensor data.

Neurodegenerative disease assessment is another important area. Alzheimer's disease diagnosis may benefit from combining EEG with cognitive tests, serum biomarkers, and imaging data. Afridi et al. [21] discussed multimodal approaches to Alzheimer's disease diagnosis, emphasizing the complementary value of cognitive assessment, biomarkers, and imaging. In this context, EEG may reflect functional brain alterations, while fluid biomarkers and imaging may reflect molecular and structural pathology.

Wearable systems may also support daily monitoring of cognitive workload, mental stress, fatigue, and rehabilitation progress. Yang et al. [22] reviewed flexible and stretchable electrochemical biosensors, showing that conformal wearable electronics can support continuous biochemical monitoring. When combined with EEG, these sensors may provide a broader physiological picture of the user's state.

Additionally, major technological strides have been made in in-ear sensors, electronic tattoos, flexible substrates and low-power wireless circuits, to name a few. Nevertheless, the clinical translation of these technologies necessitates dependable long-term recordings, user comfort, signal stability, biocompatibility, and validation within real-world settings.

## 10. SIGNAL PROCESSING, ARTIFACT REDUCTION, AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A major problem is that EEG signals are highly vulnerable to artifacts. The signals can be badly degraded by eye blinks, by eye and head movement, by muscle activity, by environmental noise and by poor electrode contact. Consequently, signal processing is imperative for both conventional EEG systems and hybrid EEG-biosensor platforms.

Li et al. [23] presented an ICA-based approach for automatic removal of eye blink artifacts from EEG. Independent component analysis is widely used to separate ocular and muscle artifacts from neural components. However, ICA may require sufficient data length and careful component selection. In wearable systems, fully automatic artifact rejection is still challenging.

Rosanne et al. [24] investigated adaptive filtering for improved EEG-based mental workload assessment in ambulatory users. Adaptive filtering is highly relevant for wearable EEG because secondary sensors, such as accelerometers, can be used as noise references to reduce motion artifacts. This approach is particularly useful in hybrid systems where movement data can support EEG signal cleaning.

Ultimately, artificial intelligence could take hybrid EEG-biosensor platforms even further. Machine learning could be used to integrate all of the different features of interest, including time-frequency features and EEG band power, as well as information from the other modalities, such as movement, lactate, micro-impedance and hemodynamics. Nonetheless, it is

imperative that AI-based models undergo thorough validation due to the considerable variability present in EEG and biosensor data across different subjects and recording conditions.

Models that can predict, say, the risk of seizures or the risk of cognitive decline, can have enormous clinical applications. Explainability is also critical: The model's output has to be understandable, and can't rely on hidden artifacts. Consequently, forthcoming artificial intelligence-based hybrid systems ought to integrate superior predictive performance with physiological interpretability.

## 11. NEURO-PRIVACY AND ETHICAL CONSIDERATIONS

As EEG and biosensor systems become more wearable, connected, and cloud-based, privacy becomes a central issue. EEG data can contain sensitive information about cognitive state, attention, emotional response, neurological condition, and individual brain patterns. Therefore, neurotechnology systems should be designed with privacy and ethical protection from the beginning.

Popescu et al. [25] proposed the use of homomorphic encryption in conjunction with machine learning to privately classify electroencephalogram (EEG) signals. Homomorphic encryption protects the privacy of raw EEG signals while allowing calculations to occur on the encrypted data itself. This methodology is pivotal for the advancement of future healthcare platforms wherein EEG data may be processed in a remote manner. Despite potential computational limitations associated with such methods, they signify a significant progression toward secure analysis of neural data.

Ethical considerations range far beyond questions about data security. Closer to home, it is easy to foresee from our research that long-term monitoring of brain data will raise questions about data ownership, informed consent, algorithmic bias, clinical responsibility and mental health impact of always being watched. These issues are especially pertinent for systems that can deduce mental workload, emotional state, disease risk, or cognitive performance.
Therefore, future hybrid EEG-biosensor platforms should include privacy-preserving computation, secure wireless transmission, anonymization, transparent data policies, and clinically responsible interpretation.

## 12. DISCUSSION

The reviewed literature shows that hybrid EEG-biosensor platforms represent a multidisciplinary research field that combines neuroscience, electronics, electrochemistry, materials science, wearable technology, and artificial intelligence. EEG provides high temporal resolution but limited biochemical context. Biosensors provide biochemical and physiological information but may have slower dynamics or calibration challenges. By combining these modalities, hybrid systems can potentially provide a more complete understanding of brain function.

A primary technical challenge is in the design of the electrodes. Generally, the signal quality of the conventional wet electrodes is adequate. Dry and semi-dry electrodes improve usability but may increase impedance and motion sensitivity. Nanomaterial-based electrodes offer a promising solution because they may improve conductivity, flexibility, surface area, and electrochemical performance. However, reproducibility and long-term stability remain important concerns.

Another hurdle is integrating the hardware, because EEG and electrochemical biosensors require different acquisition principles. Additionally, combining electrical stimulation and microfluidics would require significant engineering know-how. And certain sensors require the ability to measure impedance, or resistance to electrical flow. Integrating these functions into a compact, wearable, and low-power system requires careful circuit architecture and shielding against cross-talk.

However, piecing together multimodal data isn't as simple as interpreting signals that have been placed side by side. Each signal has a different time scale and noise — whether they be EEG, fNIRS, or even neurotransmitter signals like dopamine, motion signals, impedance or lactate. One important task is known as "data fusion," and this is no easy feat. Effective data fusion requires synchronization, feature-level integration, model-level fusion, and physiological interpretation.

But EEG could be paired with other body signals to better spot seizure-related or pre-ictal changes. Thus, hybrid EEG-biosensor platforms could have significant potential for wearable and clinical neurotechnology. Regarding Alzheimer's disease, EEG can provide functional information when utilized in conjunction with molecular biomarkers and neuroimaging findings. In brain-computer interface applications, supplementary biosensor data may enhance the estimation of the user's physiological state and improve system adaptation. Similarly, in wearable healthcare, hybrid platforms may enable continuous evaluation of fatigue, stress, cognitive workload, and neurological risk in real-world conditions.

## 13. CONCLUSION

Hybrid EEG-biosensor platforms are an emerging approach for multimodal brain monitoring. By combining electrophysiological, biochemical, metabolic, hemodynamic, and motion-related information, these systems can overcome some limitations of EEG-only monitoring. The reviewed literature shows that advances in biosensor transduction, nanostructured materials, dry and flexible electrodes, analog front-end design, in-ear wearable platforms, EEG-fNIRS fusion, adaptive filtering, artificial intelligence, and privacy-preserving computation all contribute to this field.

The potential of hybrid EEG-biosensor systems depends on the seamless integration of stable, biocompatible electrodes; consistent electrochemical sensing; low-noise acquisition

circuitry; low-powered, wearable hardware; real-time artifact removal; secure data processing; and multimodal data fusion. The next stage in the evolution of these hybrid systems would give individuals the power to monitor their cognitive and brain health status with user-friendly and highly portable devices.

## REFERENCES

**1.** Sudha Kumari, S. M. N. and Suryabai, X. T., Sensing the future—Frontiers in biosensors: Exploring classifications, principles, and recent advances, ACS Omega, 9, 48918–48987, 2024. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c07991

**2.** Naresh, V. and Lee, N., A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors, Sensors, 21(4), 1109, 2021. https://doi.org/10.3390/s21041109

**3.** Polat, E. O., Mercier, P. P., Nikita, K. S. and Skrivervik, A. K., Transducer technologies for biosensors and their wearable applications, Biosensors, 12(6), 385, 2022. https://doi.org/10.3390/bios12060385

**4.** Kirschstein, T. and Köhling, R., What is the source of the EEG?, Clinical EEG and Neuroscience, 40(3), 146–149, 2009. https://doi.org/10.1177/155005940904000305

**5.** Kumar, J. S. and Bhuvaneswari, P., Analysis of electroencephalography signals and its categorization – A study, Procedia Engineering, 38, 2525–2536, 2012. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.298

**6.** Ouyang, G. and Zhou, C., Exploiting information in event-related brain potentials from average temporal waveform, time–frequency representation, and phase dynamics, Bioengineering, 10, 1054, 2023. https://doi.org/10.3390/bioengineering10091054

**7.** Attar, E. T., Review of electroencephalography signals approaches for mental stress assessment, Neurosciences, 27(4), 209–215, 2022. https://doi.org/10.17712/nsj.2022.4.20220025

**8.** Usakli, A. B., Improvement of EEG signal acquisition: An electrical aspect for state of the art of front end, Computational Intelligence and Neuroscience, 2010, 630649, 2010. https://doi.org/10.1155/2010/630649

**9.** Texas Instruments, ADS1299-x low-noise, 4-, 6-, 8-channel, 24-bit, analog front-end for biopotential measurements, Texas Instruments, 2017. https://www.ti.com/lit/gpn/ADS1299

**10.** Li, R., Chen, Y., Zhang, X., Wang, Y., Wang, L., Zhang, X., Li, H. and Zhang, Y., Design and implementation of high sampling rate and multichannel EEG recorder based on RHS2116, Frontiers in Neuroscience, 17, 1193950, 2023. https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1193950

**11.** Yang, L., Gan, L., Zhang, Z., Zhang, Z., Yang, H., Zhang, Y. and Wu, J., Insight into the contact impedance between the electrode and the skin surface for electrophysical recordings, ACS Omega, 7(16), 13906–13912, 2022. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00282

**12.** Shad, E. H. T., Molinas, M. and Ytterdal, T., Impedance and noise of passive and active dry EEG electrodes: A review, IEEE Sensors Journal, 20(24), 14565–14577, 2020. https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3012394

**13.** Lopez-Gordo, M. A., Sanchez-Morillo, D. and Pelayo Valle, F., Dry EEG electrodes, Sensors, 14(7), 12847–12870, 2014. https://doi.org/10.3390/s140712847

**14.** Brake, N., Duc, F., Rokos, A., Arseneau, F., Shahiri, S., Khadra, A. and Plourde, G., A neurophysiological basis for aperiodic EEG and the background spectral trend, Nature Communications, 15, 1514, 2024. https://doi.org/10.1038/s41467-024-45922-8

**15.** Chen, S., Jiang, D., Li, M., Xuan, X. and Li, H., Brain–computer interface and electrochemical sensor based on boron–nitrogen co-doped graphene–diamond microelectrode for EEG and dopamine detection, ACS Sensors, 10(2), 868–880, 2025. https://doi.org/10.1021/acssensors.4c02461

**16.** Clegern, W. C., Glaister, J. A., Crossey, K. L. and Sombers, L. A., Simultaneous electroencephalography, real-time measurement of lactate concentration and optogenetic manipulation of neuronal activity in the rodent cerebral cortex, Journal of Visualized Experiments, 67, e4328, 2012. https://doi.org/10.3791/4328

**17.** Zhang, L., Xia, J., Li, B., Cao, Z. and Dong, S., Multimodal integrated flexible neural probe for in situ monitoring of EEG and lactic acid, RSC Advances, 14(48), 35520–35528, 2024. https://doi.org/10.1039/D4RA06336H

**18.** Xu, Y., Chen, X., Gao, D., Xu, J., Jiang, H., Li, R. and Gao, W., In-ear integrated sensor array for the continuous monitoring of brain activity and of lactate in sweat, Nature Biomedical Engineering, 7, 1302–1316, 2023. https://doi.org/10.1038/s41551-023-01095-1

**19.** Li, R., Nguyen, T., Potter, T. and Zhang, Y., Concurrent fNIRS and EEG for brain function investigation: A systematic, methodology-focused review, Sensors, 22(15), 5865, 2022. https://doi.org/10.3390/s22155865

**20.** Chen, Q., Sun, C., Gao, C. and Liu, S.-C., Epilepsy seizure detection and prediction using an approximate spiking convolutional transformer, 2024 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), IEEE, 2024. https://doi.org/10.1109/ISCAS58744.2024.10558341

**21.** Afridi, M. A., Khalid, M. M. and Din, R. U., Multi-modal approaches to Alzheimer's disease diagnosis: Combining cognitive assessments with biomarkers and imaging, Journal of Alzheimer's Disease, 109(1), 2026. https://doi.org/10.1177/13872877251394315

**22.** Yang, Y., Song, Y., Bo, X., Min, J., Pak, O. S., Zhu, L. and Wang, M., Recent developments of flexible and stretchable electrochemical biosensors, Micromachines, 11(3), 243, 2020. https://doi.org/10.3390/mi11030243

**23.** Li, Y., Ma, Z., Lu, W. and Li, Y., Automatic removal of the eye blink artifact from EEG using an ICA-based template matching approach, Physiological Measurement, 27(4), 425–436, 2006. https://doi.org/10.1088/0967-3334/27/4/008

**24.** Rosanne, O., Albuquerque, I., Gagnon, J.-F., Tremblay, S. and Falk, T. H., Adaptive filtering for improved EEG-based mental workload assessment of ambulatory users,

Frontiers in Neuroscience, 15, 611962, 2021. https://doi.org/10.3389/fnins.2021.611962

**25.** Popescu, A.-B., Taca, L. A., Nita, C. I., Vizitiu, A., Demeter, R., Suciu, C. and Itu, L. M., Privacy preserving classification of EEG data using machine learning and homomorphic encryption, Applied Sciences, 11(16), 7360, 2021. https://doi.org/10.3390/app11167360

# KALICI MIKNATIS KALINLIĞININ 1 KW BLDC MOTORUN TORK, GERİ-EMK VE MIKNATIS KULLANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
helinkahriman@ankara.edu.tr- 0000-0001-9024-7709
**Öğr. Gör. Kuray YURTBAY**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
kurayyurtbay@ankara.edu.tr- 0009-0004-3615-7760
**Öğr. Gör. Güney UĞURLU**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
gugurlu@ankara.edu.tr- 0000-0002-1410-0243
**Öğr. Gör. İzzet YAVUZ**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
izzetyavuz@ankara.edu.tr- 0000-0002-2309-3815

## ÖZET

Fırçasız doğru akım motorları (BLDC), düşük bakım ihtiyacı, yüksek verim ve yüksek güç yoğunluğu sebebiyle çoğunlukla elektrikli araçlar, endüstriyel sürücüler ve yenilenebilir enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip motorların performansını etkileyen en önemli tasarım parametrelerinden biri ise rotor üzerinde kullanılan kalıcı mıknatısların geometrik özellikleridir. Özellikle mıknatıs kalınlığı, motorun manyetik akı yoğunluğunu, tork üretimini ve elektromanyetik davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, 1 kW gücünde, 48 V beslemeli ve 3000 dev/dk nominal hıza sahip bir BLDC motorun elektromanyetik performansı Motor-CAD yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada rotor geometrisi sabit tutulmuş olup, yalnızca kalıcı mıknatıs kalınlığı parametresi değiştirilmiştir. Analizler kapsamında 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm ve 6 mm olmak üzere beş farklı mıknatıs kalınlığı değerlendirilmektedir. Her bir tasarım için ortalama elektromanyetik tork, geri elektromotor kuvveti, tork dalgalanması ve motor verimi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mıknatıs kalınlığındaki artışın belirli bir değere kadar motor performansını olumlu yönde etkilediğini, ancak belirli bir noktadan sonra performans artışının sınırlı kaldığını göstermektedir. Ayrıca daha kalın mıknatıs kullanımının maliyet artışına neden olduğu göz önüne alındığında, performans ve malzeme kullanımı açısından optimum bir mıknatıs kalınlığının belirlenebileceği görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, BLDC motorların maliyet ve performansının optimize edilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** BLDC Motor, Motor-CAD, Kalıcı Mıknatıs, Elektromanyetik Analiz, Motor Optimizasyonu.

# INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PERMANENT MAGNET THICKNESS ON TORQUE, BACK-EMF, AND MAGNET UTILIZATION IN A 1 KW BLDC MOTOR

## ABSTRACT

Brushless direct current motors (BLDC) are widely used in electric vehicles, industrial drives, and renewable energy systems due to their low maintenance requirements, high efficiency, and high power density. One of the most important design parameters affecting the performance of these motors is the geometrical characteristics of the permanent magnets used on the rotor. In particular, magnet thickness directly affects the magnetic flux density, torque production, and electromagnetic behavior of the motor.

In this study, the electromagnetic performance of a 1 kW BLDC motor with a 48 V supply voltage and a rated speed of 3000 rpm was investigated using Motor-CAD software. In the study, the rotor geometry was kept constant, and only the permanent magnet thickness parameter was varied. Within the scope of the analyses, five different magnet thicknesses, namely 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, and 6 mm, were evaluated. For each design, the average electromagnetic torque, back electromotive force, torque ripple, and motor efficiency values were obtained.

The results show that increasing the magnet thickness improves motor performance up to a certain value; however, beyond a certain point, the performance improvement becomes limited. In addition, considering that the use of thicker magnets leads to an increase in cost, it is seen that an optimum magnet thickness can be determined in terms of both performance and material utilization. The results of this study are expected to contribute to the optimization of cost and performance in BLDC motor design.

**Keywords:** BLDC Motor, Motor-CAD, Permanent Magnet, Electromagnetic Analysis, Motor Optimization.

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan elektrik motorları, günümüzde sanayiden ulaşıma, ev aletlerinden yenilenebilir enerji sistemlerine kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji verimliliği, yüksek güç yoğunluğu, düşük bakım gereksinimi ve hassas hız kontrolü gibi özellikler motor seçiminde önemli kriterler haline gelmiştir. Bu gereksinimleri karşılayabilen motor türlerinden biri olan Fırçasız Doğru Akım Motorları (Brushless Direct Current Motor - BLDC), son yıllarda birçok uygulamada yaygın olarak tercih edilmektedir.

BLDC motorlar, geleneksel fırçalı doğru akım motorlarından farklı olarak mekanik komütatör ve fırça sistemi yerine elektronik komütasyon kullanmaktadır. Elektronik komütasyon yapısı

sayesinde fırça ve komütatör kaynaklı mekanik kayıplar ortadan kaldırılarak daha güvenilir ve uzun ömürlü bir çalışma sağlanmaktadır [1]. Bu sayede sürtünme kaynaklı kayıplar azalmakta, bakım ihtiyacı minimum seviyeye inmekte ve motor ömrü önemli ölçüde uzamaktadır. Ayrıca yüksek verim, yüksek tork yoğunluğu ve geniş hız aralığında çalışma kabiliyeti gibi avantajları nedeniyle elektrikli araçlar, insansız hava araçları, robotik sistemler, tıbbi cihazlar, endüstriyel otomasyon uygulamaları ve yenilenebilir enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

BLDC motorların performansını belirleyen en önemli unsurlardan biri rotor yapısında kullanılan kalıcı mıknatıslardır. Rotor üzerine yerleştirilen kalıcı mıknatıslar, motorun hava aralığında oluşan manyetik alanın temel kaynağını oluşturmaktadır. Bu manyetik alanın büyüklüğü ve dağılımı; elektromanyetik tork, geri elektromotor kuvveti (Back Electromotive Force - Back-EMF), verim, güç faktörü ve tork dalgalanması gibi performans parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle kalıcı mıknatısların malzemesi, şekli, yerleşimi ve boyutları motor tasarımında kritik öneme sahiptir.

Kalıcı mıknatıslı motorlarda rotor üzerinde kullanılan mıknatısların boyutları ve geometrik yapıları motor performansını doğrudan etkilemektedir. Özellikle mıknatıs kalınlığı, hava aralığında oluşan manyetik akı yoğunluğunu belirleyen temel parametrelerden biridir. Mıknatıs hacmindeki artış genellikle elektromanyetik torkun yükselmesini sağlarken, belirli bir değerden sonra manyetik doyum nedeniyle performans artışı sınırlı kalabilmektedir [2].

Günümüzde yüksek enerji yoğunluğuna sahip Neodimyum-Demir-Bor (NdFeB) mıknatıslar BLDC motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu mıknatıslar yüksek artık akı yoğunluğu ve yüksek koersivite özellikleri sayesinde daha küçük hacimlerde daha yüksek performans elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak nadir toprak elementleri içermeleri nedeniyle maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle BLDC motor tasarımında yalnızca performansın artırılması değil, aynı zamanda kullanılan mıknatıs miktarının optimize edilmesi de önemli bir mühendislik problemidir.

Kalıcı mıknatıs kalınlığı, rotor tarafından üretilen manyetik akı miktarını belirleyen temel geometrik parametrelerden biridir. Mıknatıs kalınlığının artırılması genellikle hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunu artırmakta ve buna bağlı olarak motor torkunun yükselmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte belirli bir kalınlık değerinden sonra manyetik doyum etkileri ortaya çıkabilmekte ve ek mıknatıs kullanımına rağmen performans artışı sınırlı kalabilmektedir. Ayrıca mıknatıs kalınlığındaki artış doğrudan malzeme maliyetini yükseltmektedir. Bu nedenle performans ile maliyet arasında optimum bir denge kurulması gerekmektedir.

Literatürde BLDC motorların elektromanyetik performansını artırmaya yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda kutup sayısı, oluk sayısı, hava aralığı uzunluğu, mıknatıs şekli, mıknatıs yerleşimi ve rotor geometrisi gibi parametrelerin motor performansına etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte mıknatıs kalınlığının sistematik olarak değiştirilerek elektromanyetik tork, geri elektromotor kuvveti, verim ve tork dalgalanması üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirildiği çalışmaların sayısı sınırlıdır. Özellikle düşük güçlü BLDC motorlarda optimum mıknatıs kalınlığının belirlenmesine yönelik araştırmaların artırılması gerekmektedir.

Seo ve arkadaşları [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kalıcı mıknatıs geometrisinin optimize edilmesiyle tork dalgalanmalarının azaltılabileceği ve motor performansının

iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Benzer şekilde Zhu ve Howe [4], kalıcı mıknatıslı motorlarda mıknatıs boyutlarının performans parametreleri üzerindeki etkilerinin elektrikli araç uygulamaları açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır.

Yüzey mıknatıslı daimi mıknatıslı motorlarda mıknatıs geometrisinin tork üretimi, geri elektromotor kuvveti ve tork dalgalanması üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bianchi ve Bolognani [5] rotor üzerindeki mıknatıs yapısının hava aralığı akı dağılımını değiştirdiğini ve bunun da motorun elektromanyetik davranışını doğrudan etkilediğini belirtmiştir.

Bununla birlikte yüksek enerji yoğunluğuna sahip NdFeB mıknatısların maliyetlerinin yüksek olması, motor tasarımında performans ve malzeme kullanımı arasında optimum bir dengenin kurulmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle mıknatıs kalınlığının motor performansına etkisinin incelenmesi hem maliyet etkin hem de yüksek performanslı BLDC motor tasarımlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada 48 V besleme gerilimine, 1 kW çıkış gücüne ve 3000 dev/dk nominal hıza sahip yüzey mıknatıslı bir BLDC motorun elektromanyetik performansı incelenmiştir. Analizler ANSYS Motor-CAD yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında motorun stator ve rotor geometrileri sabit tutulmuş, yalnızca rotor üzerindeki kalıcı mıknatıs kalınlığı değiştirilmiştir. Bu amaçla 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm ve 6 mm olmak üzere beş farklı mıknatıs kalınlığı değerlendirilmiştir. Her tasarım için ortalama elektromanyetik tork, geri elektromotor kuvveti, motor verimi ve tork dalgalanması değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca performans artışı ile kullanılan mıknatıs miktarı arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve maliyet-performans açısından optimum mıknatıs kalınlığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçların BLDC motor tasarımında kalıcı mıknatıs boyutlandırılmasına yönelik önemli bilgiler sağlayacağı ve özellikle maliyet etkin motor tasarımlarının geliştirilmesine katkı sunacağı düşünülmektedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

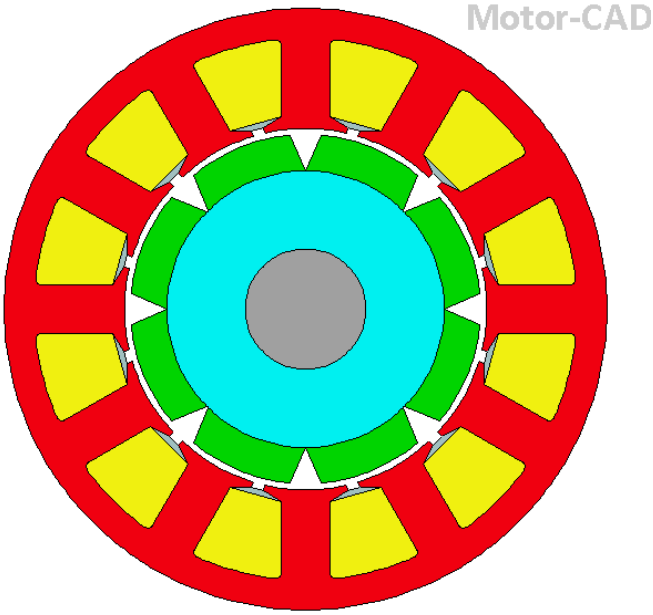
Bu çalışmada kalıcı mıknatıs kalınlığının BLDC motor performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla elektromanyetik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ANSYS Motor-CAD yazılımının elektromanyetik tasarım modülü kullanılmıştır. Elektromanyetik analizler, ANSYS Motor-CAD yazılımının EMag modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen motor, 48 V besleme gerilimine sahip, 1 kW gücünde ve 3000 dev/dk nominal hızda çalışan yüzey mıknatıslı bir BLDC motordur. Mıknatıs olarak N30UH kullanılmıştır.

Çalışmada motorun stator ve rotor geometrileri sabit tutulmuş, yalnızca rotor üzerinde bulunan kalıcı mıknatısların kalınlığı değiştirilmiştir. Böylece performans değişimlerinin yalnızca mıknatıs kalınlığından kaynaklanması sağlanmıştır. Analizlerde 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm ve 6 mm olmak üzere beş farklı mıknatıs kalınlığı değerlendirilmiştir. Motor-CAD ortamında oluşturulan BLDC motorun geometrik modeli Görsel 1'de gösterilmektedir. Analizlerde kullanılan temel motor parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Motor Tasarım Parametreleri**

| Stator Parametreleri | Değer | Rotor Parametreleri | Değer |
|---|---|---|---|
| Oluk Sayısı | 12 | Kutup Sayısı | 8 |
| Stator Dış Çapı | 100 mm | Mıknatıs Kalınlığı | |
| Stator İç Çapı | 60 mm | Mıknatıs Daraltma Oranı | 0 |
| Diş Genişliği | 8 mm | Mıknatıs Yay Açısı | 140 |
| Oluk Derinliği | 15 mm | Mıknatıs Segment Sayısı | 1 |
| Oluk Köşe Yarıçapı | 1 mm | Hesaplanan Rotor Çapı | 58 mm |
| Diş Ucu Derinliği | 1 mm | Hava Aralığı | 1 mm |
| Oluk Açıklığı | 2 mm | Bandaj Kalınlığı | 0 mm |
| Diş Ucu Açısı | 15 | Mil Çapı | 20 mm |
| Sleeve Kalınlığı | 0 mm | Mil Delik Çapı | 0 mm |

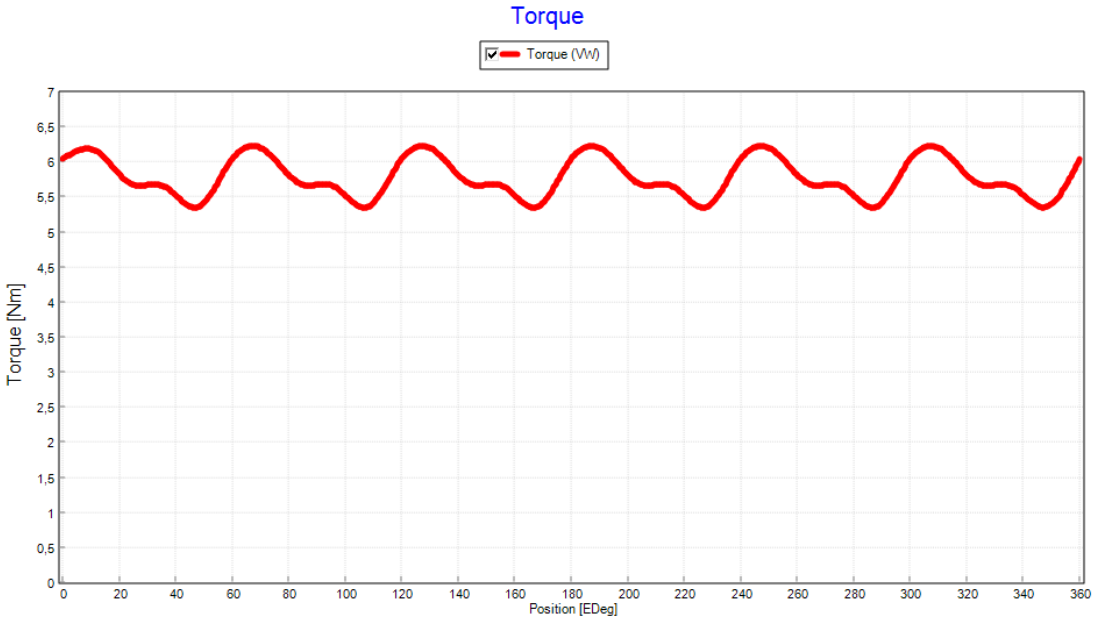
Görsel 1'de çalışmada analiz edilen 1 kW gücündeki BLDC motorun kesit geometrisi gösterilmektedir. Motor yapısı; dış stator, oluklara yerleştirilmiş üç fazlı sargılar ve rotor üzerine yüzey montajlı olarak yerleştirilmiş kalıcı mıknatıslardan oluşmaktadır. Bu geometri, mıknatıs kalınlığının motorun elektromanyetik performans parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla Motor-CAD ortamında modellenmiş ve analiz edilmiştir.



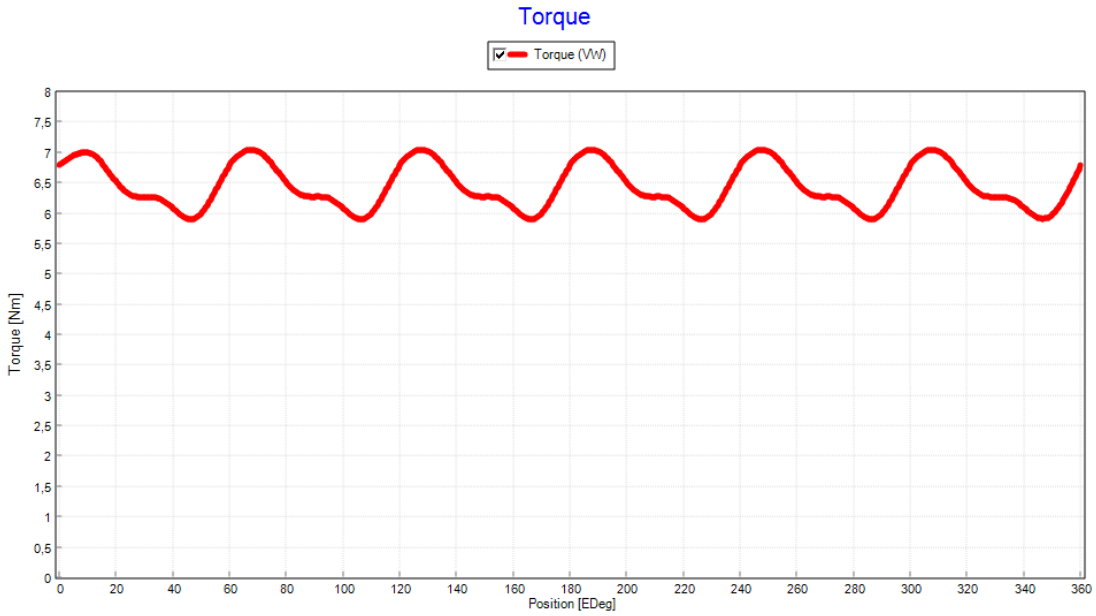

**Görsel 1. Motor Geometrisi**

Aşağıdaki görsellerde farklı mıknatıs kalınlıkları için elde edilen tork–pozisyon eğrileri sunulmaktadır. Sonuçlar, mıknatıs kalınlığının artmasıyla ortalama elektromanyetik torkun

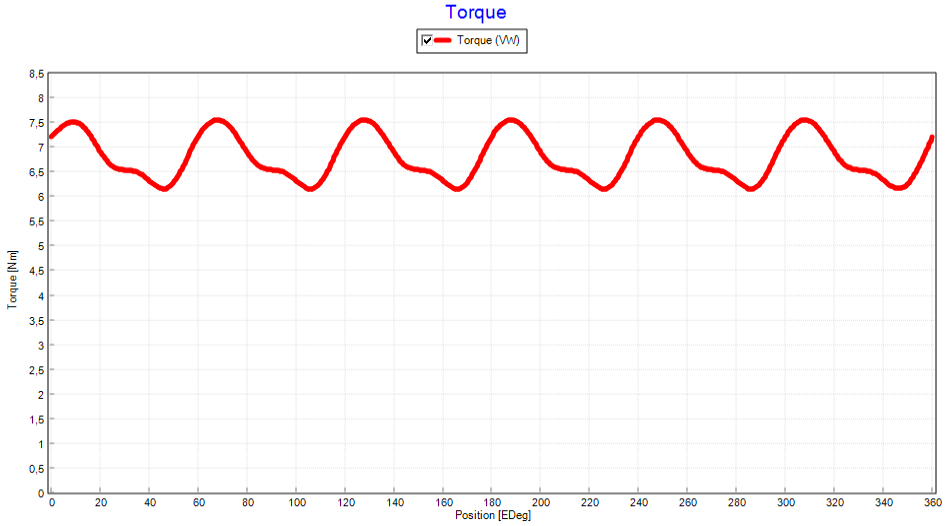
yükseldiğini, ancak buna bağlı olarak tork dalgalanmasının da arttığını göstermektedir. Özellikle 4 mm ve 5 mm mıknatıs kalınlığı değerlerinde yüksek tork üretimi ile kabul edilebilir dalgalanma seviyeleri arasında dengeli bir performans elde edilmiştir.



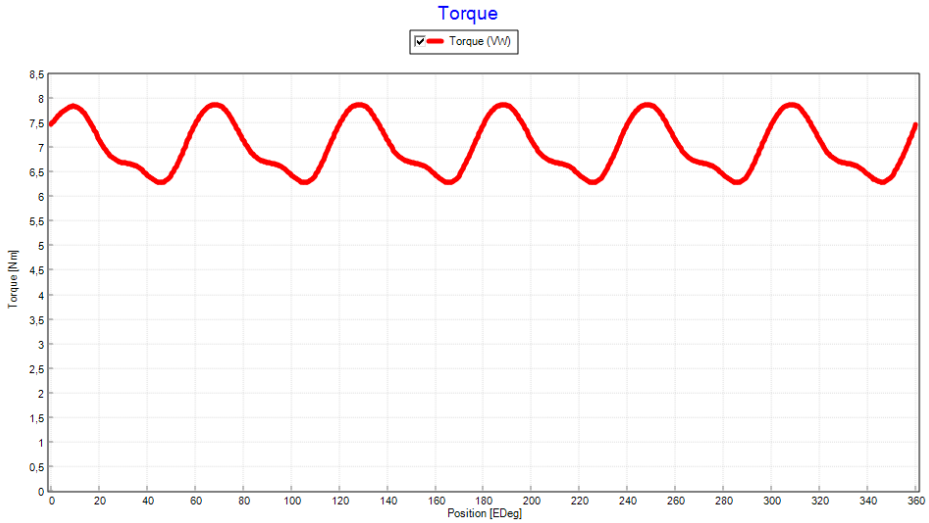

**Görsel 2. 2 mm için Tork-Pozisyon Grafiği**



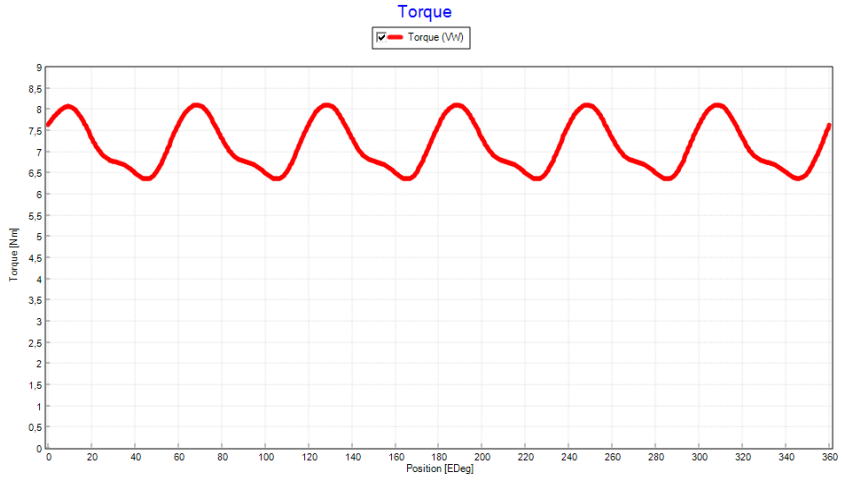

**Görsel 3. 3 mm için Tork-Pozisyon Grafiği**




**Görsel 4. 4 mm için Tork-Pozisyon Grafiği**




**Görsel 5. 5 mm için Tork-Pozisyon Grafiği**




**Görsel 6. 6 mm için Tork-Pozisyon Grafiği**

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, 1 kW gücündeki BLDC motorda mıknatıs kalınlığının elektromanyetik performans üzerindeki etkileri Motor-CAD yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Analizler kapsamında mıknatıs kalınlığı 2 mm ile 6 mm arasında değiştirilmiş ve her tasarım için ortalama tork, geri-EMK, verim ve tork dalgalanması değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, mıknatıs kalınlığının artırılmasıyla motorun hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun yükseldiğini ve buna bağlı olarak ortalama tork ile geri-EMK değerlerinde artış meydana geldiğini göstermiştir. Mıknatıs kalınlığının 2 mm'den 6 mm'ye artırılmasıyla ortalama tork değeri 5.63 Nm'den 6.91 Nm'ye yükselmiştir. Bu durum rotor tarafından oluşturulan manyetik akının artmasından kaynaklanmaktadır. Geri-EMK değeri mıknatıs kalınlığıyla birlikte artış göstermiştir. En yüksek geri-EMK değeri 21.74 V ile 6 mm kalınlığında elde edilmiştir. Verim değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiş olup tüm tasarımlarda yaklaşık %94.5 seviyesinde kalmıştır. Ripple değerinin mıknatıs kalınlığı arttıkça yükseldiği görülmektedir. Bu durum daha yüksek tork elde edilirken moment dalgalanmasının da arttığını göstermektedir.

**Çizelge 2. Farklı Mıknatıs Kalınlıkları İçin Elde Edilen Performans Sonuçları**

| Mıknatıs Kalınlığı | Tork (Nm) | Geri EMK (V) | Verim (%) | Ripple (%) |
|---|---|---|---|---|
| 2 mm | 5.63 | 18.35 | 94.60 | 1.33 |
| 3 mm | 6.25 | 20.02 | 94.69 | 1.57 |
| 4 mm | 6.59 | 20.19 | 94.55 | 1.84 |
| 5 mm | 6.78 | 21.40 | 94.58 | 2.05 |
| 6 mm | 6.91 | 21.74 | 94.53 | 2.21 |

Sonuç olarak, mıknatıs kalınlığının artırılması tork ve geri-EMK performansını iyileştirirken, artan mıknatıs hacmi ve tork dalgalanması nedeniyle belirli bir noktadan sonra tasarım avantajını azaltmaktadır. Performans, maliyet ve çalışma kararlılığı birlikte değerlendirildiğinde 4 mm ve 5 mm mıknatıs kalınlığına sahip tasarımların en uygun çözüm olduğu belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda mıknatıs geometrisi, kutup yayı oranı ve rotor yapısının birlikte optimize edilmesiyle daha yüksek verim ve daha düşük tork dalgalanması elde edilmesi hedeflenebilir.

## KAYNAKÇA

1. Bianchi, N., & Bolognani, S. Design Techniques for Reducing the Cogging Torque in Surface-Mounted PM Motors. IEEE Transactions on Industry Applications, 1998.
2. Krishnan, R. Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives. CRC Press, 2010.
3. Pyrhönen, J., Jokinen, T., & Hrabovcová, V. Design of Rotating Electrical Machines. Wiley, 2014.
4. Seo, J. H., Jung, S. Y., & Jung, H. K. Optimal Design of Permanent Magnet Shape for Cogging Torque Reduction of BLDC Motor. IEEE Transactions on Magnetics, 2011.
5. Zhu, Z. Q., & Howe, D. Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE, 2007.

# ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ ÖĞRENCİ UYGULAMA MERKEZİ TASARIMI VE SAHA UYGULAMASI: NALLIHAN MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ

**Öğr. Gör. İzzet YAVUZ**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
izzetyavuz@ankara.edu.tr- 0000-0002-2309-3815
**Öğr. Gör. Helin KAHRIMAN**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
helinkahriman@ankara.edu.tr- 0000-0001-9024-7709
**Öğr. Gör. Kuray YURTBAY**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
kurayyurtbay@ankara.edu.tr- 0009-0004-3615-7760
**Öğr. Gör. Güney UĞURLU**
Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu
gugurlu@ankara.edu.tr- 0000-0002-1410-0243

## ÖZET

Güneş enerjisi sistemlerinin eğitim alanlarında kullanılması, öğrencilerin yenilenebilir enerji teknolojilerini gerçek uygulamalar üzerinden tanımasına önemli katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Ankara Üniversitesi Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde yer alan bir çardak yapısı, öğrencilerin sosyal kullanım ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri ve fotovoltaik enerji sistemlerini yerinde inceleyebilecekleri şebekeden bağımsız bir öğrenci uygulama merkezi olarak tasarlanmış ve saha kurulumu gerçekleştirilmiştir. Sistemin enerji üretim birimi, her biri 590 W gücünde toplam 7 adet fotovoltaik panelden oluşmakta olup toplam kurulu güç yaklaşık 4,13 kWp'dir. Panellerden elde edilen doğru akım enerjisinin alternatif akım yüklerinde kullanılabilmesi için 4,2 kW gücünde tam sinüs akıllı inverter tercih edilmiştir. Enerji depolama amacıyla iki adet 12 V 200 Ah akü seri bağlanarak 24 V 200 Ah nominal batarya grubu sisteme entegre edilmiştir. Sistem, ana uygulama çardağı ve ikincil çardak olmak üzere iki kullanım noktasını besleyecek şekilde yapılandırılmıştır. Ana alanda 2 adet iç aydınlatma lambası, 3 adet 220 V AC priz çıkışı, 200 W LED bahçe aydınlatması ve gece kullanımı için 7 adet 30 W çevre aydınlatma lambası yer almaktadır. İkincil çardakta ise 1 adet 200 W lamba, 1 adet 50 W lamba ve 2 adet 220 V AC çıkış hattı bulunmaktadır. Bu saha uygulamasıyla fotovoltaik enerji üretimi, enerji depolama, inverter kullanımı, AC yük besleme ve şebekeden bağımsız çalışma prensipleri öğrenciler için gözlemlenebilir bir eğitim altyapısına dönüştürülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik sistem, güneş enerjisi, şebekeden bağımsız sistem, öğrenci uygulama merkezi, yük analizi.

## DESIGN AND FIELD APPLICATION OF AN OFF-GRID PHOTOVOLTAIC ENERGY-SUPPORTED STUDENT APPLICATION CENTER: THE CASE OF NALLIHAN VOCATIONAL SCHOOL

## ABSTRACT

The use of solar energy systems in educational environments makes an important contribution to students' understanding of renewable energy technologies through real-life applications. In this study, a gazebo structure located in the garden of Ankara University Nallıhan Vocational School was designed and implemented as an off-grid student application center where students can meet their social use needs and examine photovoltaic energy systems on site. The energy generation unit of the system consists of 7 photovoltaic panels, each with a power rating of 590 W, with a total installed capacity of approximately 4.13 kWp. A 4.2 kW full sine wave smart inverter was selected to convert the direct current energy obtained from the panels into alternating current energy for AC loads. For energy storage, two 12 V 200 Ah batteries were connected in series and integrated into the system as a 24 V 200 Ah nominal battery group. The system was configured to supply energy to two usage points: the main application gazebo and the secondary gazebo. In the main area, there are 2 indoor lighting lamps, 3 220 V AC socket outputs, a 200 W LED garden lighting unit, and 7 environmental lighting lamps of 30 W each for night use. In the secondary gazebo, there is 1 200 W lamp, 1 50 W lamp, and 2 220 V AC output lines. Through this field application, photovoltaic energy generation, energy storage, inverter use, AC load supply, and off-grid operating principles have been transformed into an observable educational infrastructure for students.

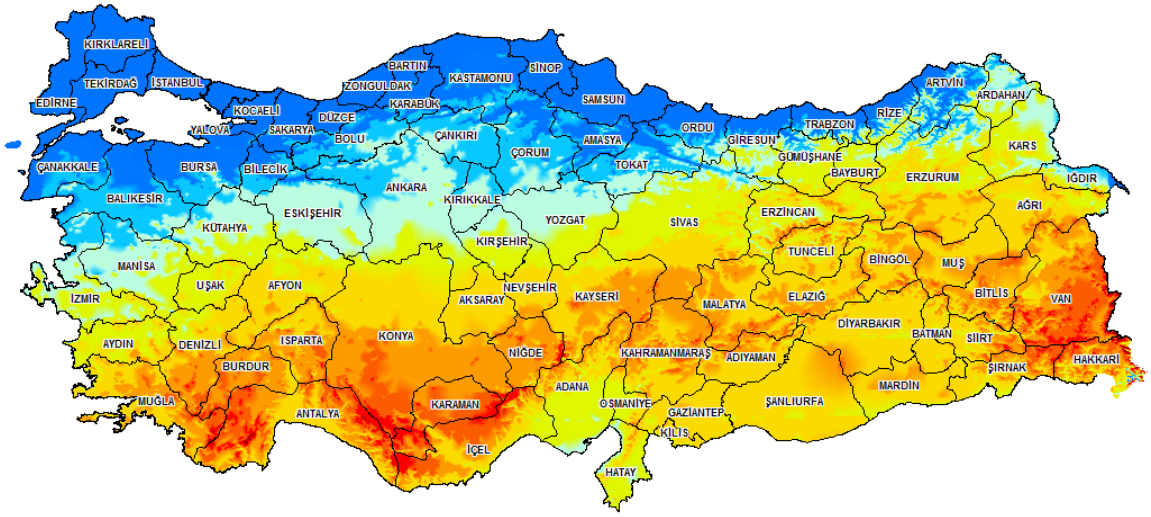
**Keywords:** Photovoltaic system, solar energy, off-grid system, student application center, load analysis

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisi sistemlerinin eğitim ve öğretim alanlarında kullanılması, öğrencilerin yenilenebilir enerji teknolojilerini gerçek uygulamalar üzerinden tanımasını sağlamaktadır. Özellikle teknik eğitim veren programlarda fotovoltaik sistemlerin yalnızca teorik olarak anlatılması yeterli olmamakta; öğrencilerin panel, inverter, akü, aydınlatma elemanları ve yük bağlantılarını sahada gözlemleyebilecekleri uygulama alanlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle kampüs içerisinde kurulan küçük ölçekli güneş enerjisi sistemleri, hem enerji üretim sürecinin izlenmesi hem de sistem bileşenlerinin işlevlerinin anlaşılması açısından önemlidir. Uygulamaya verilen önem, eğitim altyapısını zenginleştirmektedir. Güneş enerjisi, elektrik enerjisi üretiminde doğrudan kullanılabilen ve farklı ölçeklerde uygulanabilen bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik paneller aracılığıyla güneş ışınımı doğru akım elektrik enerjisine dönüştürülmekte, elde edilen enerji kullanım amacına göre doğrudan yükleri besleyebilmekte

ya da akülerde depolanabilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde ise panellerden elde edilen enerji aküler aracılığıyla depolanmakta, ihtiyaç duyulan alternatif akım enerjisi inverter üzerinden sağlanmaktadır. Bu sistem özellikle şebeke bağlantısının olmadığı alanlarda, bahçe aydınlatmalarında, küçük ölçekli uygulama merkezlerinde ve eğitim amaçlı deneysel sistemlerde tercih edilmektedir (Orhan ve Şahin, 2022).

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, fotovoltaik sistem uygulamaları açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Güneşlenme süresi ve ışınım değerlerinin bölgelere göre farklılık göstermesi, kurulacak sistemlerde panel yerleşimi, yük analizi ve enerji depolama kapasitesinin doğru belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisi sistemleri tasarlanırken yalnızca panel gücünün değil; bölgesel ışınım durumu, panel açısı, ortam sıcaklığı, inverter kapasitesi, akü grubu ve bağlı yüklerin kullanım süreleri de birlikte değerlendirilmelidir (Akyazı vd., 2024; Yolcan ve Köse, 2020). Türkiye'ye ait toplam güneş radyasyonu, güneşlenme süresi ve PV sistemlerle üretilebilir enerji değerleri Görsel 1'de verilmiştir.




**Görsel 1. Türkiye toplam güneş radyasyonu, güneşlenme süresi ve PV sistemlerle üretilebilir enerji değerleri (GEPA, 2026)**

Görsel 1 incelendiğinde, Türkiye'nin özellikle iç, güney ve güneydoğu bölgelerinde güneş enerjisinden elektrik üretimi açısından verimli olduğu görülmektedir. Bu durum, Fotovoltaik sistemlerin tasarımında bölgesel güneşlenme koşullarının dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında Ankara Üniversitesi Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde yer alan bir çardak yapısı, şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji destekli öğrenci uygulama merkezi olarak tasarlanmış ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistemde 7 adet 590 W fotovoltaik panel, 4,2 kW tam sinüs inverter ve seri bağlı iki adet 12 V 200 Ah akü kullanılmıştır. Sistem ana uygulama çardağı ve ikincil çardak olmak üzere iki farklı kullanım alanına enerji sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. Ana çardakta aydınlatma elemanları, 220 V AC priz çıkışları ve bahçe aydınlatması; ikincil çardakta ise ek aydınlatma ve priz çıkışları sisteme dâhil edilmiştir. Böylece çalışma, öğrencilerin fotovoltaik enerji üretimi, enerji depolama, inverter kullanımı, AC yük besleme ve saha tipi uygulama süreçlerini doğrudan inceleyebilecekleri bir model ortaya koymaktadır.

### 1.1. Literatür Değerlendirmesi

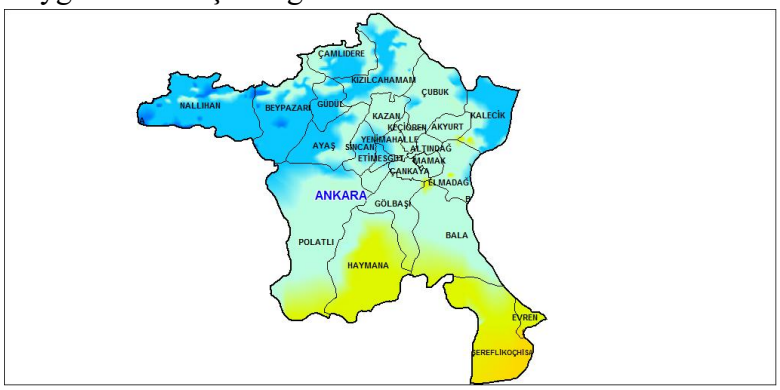
Güneş enerjisi sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların genel olarak güneş enerjisi potansiyeli, sistem tasarımı, ekonomik analiz, panel verimi, yük analizi, simülasyon çalışmaları ve eğitim amaçlı uygulama modelleri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından elverişli bir konumda bulunması, farklı bölgelerde güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılabilirliğine yönelik çalışmaların artmasına neden olmuştur. Yolcan ve Köse (2020), Türkiye'nin güneş enerjisi durumunu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda dikkate alınması gereken temel parametreleri incelemiş; yer seçimi, güneş ışınımı, arazi yapısı, sıcaklık ve kurulum koşullarının sistem performansı üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Akyazı vd. (2024), Türkiye'nin farklı bölgelerinde fotovoltaik sistem performansını PVSyst programı ile analiz etmiş ve güneş ışınımı yanında sıcaklık etkisinin de sistem verimi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Fotovoltaik sistemlerin uygulama biçimleri açısından literatürde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin farklı kullanım alanlarına sahip olduğu görülmektedir. Orhan ve Şahin (2022), bir besi çiftliğinde güneş enerji sisteminin uygulanabilirliğini ve ekonomik analizini incelemiş; elektriksel yüklerin belirlenmesi, güneşlenme sürelerinin dikkate alınması ve sistem maliyetinin hesaplanmasının uygulama başarısı açısından önemli olduğunu vurgulamıştır. Benzer biçimde Yavuz vd. (2025), Şanlıurfa/Birecik örneğinde güneş enerjisi destekli tarımsal sulama sistemlerinin konvansiyonel şebeke altyapısına göre maliyet-etkinlik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, şebeke erişiminin zor veya maliyetli olduğu alanlarda güneş enerjisi sistemlerinin tarımsal sulama gibi saha uygulamalarında ekonomik bir alternatif sunabileceği belirtilmiştir. Bu yönüyle söz konusu çalışma, fotovoltaik sistemlerin yalnızca küçük ölçekli aydınlatma uygulamalarında değil, farklı güç gereksinimlerine sahip bağımsız saha uygulamalarında da kullanılabileceğini göstermektedir. Çifci ve Altundağ (2017) ise güneş enerjisinden elektrik üretiminin şebeke destekli ve şebeke desteksiz sistemlerle gerçekleştirilebileceğini ifade etmiş, şebeke desteksiz sistemlerde PV panellerle üretilen enerjinin akülerde depolanarak kullanıcı ihtiyacının karşılanabileceğini belirtmiştir. Bu yaklaşım, Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde kurulan uygulama çardağı sisteminin temel çalışma prensibiyle doğrudan örtüşmektedir. Çolak vd. (2007), güneş enerjisiyle şarj edilebilen akü sisteminden beslenen yüksek güçlü LED aydınlatma armatürü tasarlamış ve uygulama sonuçlarını değerlendirmiştir. Araştırmada, güneş enerjili LED aydınlatma sistemlerinin koridor, bahçe ve güvenlik amaçlı aydınlatma alanlarında kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu sonuç, Nallıhan MYO uygulama çardağında kullanılan bahçe ve çevre aydınlatması yükleri açısından destekleyici niteliktedir. Ayrıca LED aydınlatmaların düşük enerji tüketimi ve uzun kullanım ömrü, fotovoltaik sistemlerde yük yönetimi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, güneş enerjisi sistemleri üzerine çok sayıda teknik, ekonomik ve bölgesel analiz çalışması bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte meslek yüksekokulu ölçeğinde, öğrencilerin doğrudan kullanabildiği, şebekeden bağımsız çalışan, aydınlatma ve priz çıkışlarını besleyen saha tipi uygulama alanlarının sınırlı sayıda ele alındığı anlaşılmaktadır. Yapılan bu çalışma, Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde kurulan fotovoltaik enerji destekli uygulama çardağı üzerinden hem teknik bir sistem kurulumu hem de teknik eğitim için kullanılabilecek bir uygulama modeli sunması bakımından literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Ankara Üniversitesi Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde yer alan bir çardak yapısı, şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji destekli öğrenci uygulama merkezi olarak tasarlanmış ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistem ile öğrencilerin fotovoltaik enerji üretimi, enerji depolama, inverter kullanımı, AC yük besleme ve saha tipi uygulama süreçlerini doğrudan inceleyebilmeleri amaçlanmıştır. Sistem, ana uygulama çardağı ve ikincil çardak olmak üzere iki farklı kullanım alanına enerji sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.

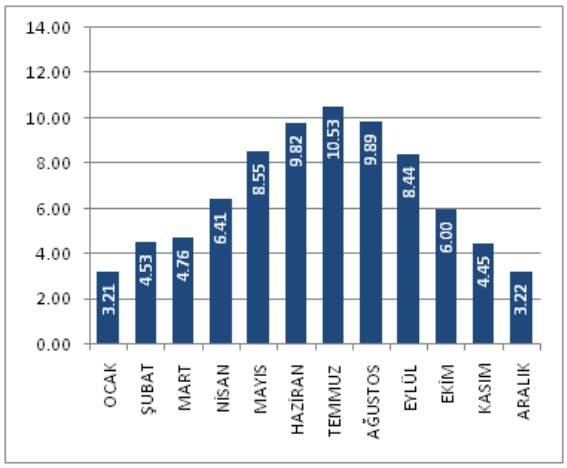
### 2.1.Çalışma Alanı ve Ankara Güneş Enerjisi Potansiyeli

Çalışma alanı Ankara ilinin kuzeybatısında yer alan Nallıhan ilçesinde bulunmaktadır. Ankara iline ait güneş enerjisi potansiyel haritası Görsel 2'de verilmiştir. Harita incelendiğinde, Ankara'nın güney ve güneydoğu ilçelerinde güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu, Nallıhan ilçesinin ise kuzeybatı konumu nedeniyle mavi tonlarda gösterilen daha düşük-orta potansiyele sahip bölgede yer aldığı görülmektedir. Buna rağmen bölge, küçük ve orta ölçekli fotovoltaik sistem uygulamaları için değerlendirilebilir niteliktedir.




**Görsel 2. Ankara İli Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası (GEPA, 2026)**

Ankara iline ait aylık ortalama güneşlenme süreleri Görsel 3'de verilmiştir. Görselde görüldüğü üzere güneşlenme süresi kış aylarında azalmakta, ilkbahar aylarından itibaren artmakta ve yaz aylarında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. En düşük güneşlenme süresi ocak ve aralık aylarında 3,21 saat, en yüksek güneşlenme süresi ise temmuz ayında 10,35 saat olarak görülmektedir.




**Görsel 3. Ankara ili aylık ortalama güneşlenme süresi (GEPA, 2026)**

Görsel 3'e göre Ankara'da özellikle mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında güneşlenme süresinin yüksek olması, fotovoltaik sistemden bu aylarda daha fazla enerji üretilebileceğini göstermektedir. Buna karşılık ocak, şubat, kasım ve aralık aylarında güneşlenme süresinin azalmasına bağlı olarak sistemin günlük üretim miktarında düşüş beklenmektedir.

### 2.2.Fotovoltaik Sistemde Kullanılan Temel Bileşenler

Kurulan sistemde 7 adet 590 W fotovoltaik panel, 4,2 kW tam sinüs inverter ve seri bağlı iki adet 12 V 200 Ah akü kullanılmıştır. Sistem şebekeden bağımsız yapıda tasarlanmış olup, panellerden elde edilen enerji akülerde depolanmakta ve inverter aracılığıyla 220 V AC çıkışlara aktarılmaktadır.

**Çizelge 1. Sistemde kullanılan temel bileşenler**

| Bileşen | Adet | Teknik özellik | Açıklama |
|---|---|---|---|
| Fotovoltaik panel | 7 | 590 W | Güneş enerjisinden elektrik üretimi |
| İnverter | 1 | 4,2 kW tam sinüs | DC enerjiyi 220 V AC enerjiye dönüştürme |
| Akü | 2 | 12 V 200 Ah | Enerji depolama |
| Akü bağlantısı | - | Seri bağlantı | 24 V 200 Ah akü grubu |
| Ana uygulama çardağı | 1 | Aydınlatma + priz | Ana kullanım alanı |
| İkincil çardak | 1 | Aydınlatma + priz | Ek kullanım alanı |

### 2.3.Sistemde Beslenen Yükler

Sistem, ana uygulama çardağı ve ikincil çardak olmak üzere iki farklı noktaya enerji sağlayacak şekilde kurulmuştur. Ana alanda 2 adet 50 W iç aydınlatma lambası, 3 adet 220 V AC priz çıkışı, 200 W LED bahçe aydınlatması ve gece kullanımı için 7 adet 30 W çevre aydınlatma lambası yer almaktadır. İkincil çardakta ise 1 adet 200 W lamba, 1 adet 50 W lamba ve 2 adet 220 V AC çıkış hattı bulunmaktadır.

**Çizelge 2. Ana uygulama çardağı ve ikincil çardağa ait yükler**

| Kullanım alanı | Yük elemanı | Adet | Birim güç | Toplam güç |
|---|---|---|---|---|
| Ana uygulama çardağı | İç aydınlatma lambası | 2 | 50 W | 100 W |
| Ana uygulama çardağı | LED bahçe aydınlatması | 1 | 200 W | 200 W |
| Ana uygulama çardağı | Çevre aydınlatma lambası | 7 | 30 W | 210 W |
| Ana uygulama çardağı | 220 V AC priz çıkışı | 3 | Değişken | Hesaba dâhil edilmedi |
| İkincil çardak | Aydınlatma lambası | 1 | 200 W | 200 W |
| İkincil çardak | Aydınlatma lambası | 1 | 50 W | 50 W |
| İkincil çardak | 220 V AC priz çıkışı | 2 | Değişken | Hesaba dâhil edilmedi |
| **Toplam** | **Sabit aydınlatma yükleri** | | | **760 W** |

Çizelge 2'de görüldüğü üzere ana uygulama çardağındaki sabit aydınlatma yükü 510 W, ikincil çardaktaki sabit aydınlatma yükü ise 250 W olarak belirlenmiştir. Her iki kullanım alanındaki sabit yükler birlikte değerlendirildiğinde toplam yük gücü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$P_{toplam}=510+250=760\ W$$

Bu hesaplamada 220 V AC priz çıkışları, kullanıcı tarafından bağlanacak cihazlara göre değişkenlik göstereceği için sabit yük hesabına dâhil edilmemiştir. Priz çıkışlarına telefon şarj cihazı, dizüstü bilgisayar, küçük el aletleri veya farklı elektrikli cihazların bağlanması durumunda toplam tüketim artacağından sistemin aküden besleme süresi azalacaktır.

Sistemde enerji depolama amacıyla iki adet 12 V 200 Ah akü seri bağlanarak 24 V 200 Ah değerinde bir akü grubu oluşturulmuştur. Akü grubunun teorik enerji kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$E_{akü}=V.Ah$$

$$E_{akü}= 24\ x\ 200= 4800\ Wh$$

Bu hesaplamaya göre akü grubunun teorik enerji kapasitesi yaklaşık 4,8 kWh olarak belirlenmiştir. Ancak uygulama koşullarında akülerin tamamen boşaltılması önerilmediğinden, sistemin gerçek çalışma süresi akü deşarj oranı, inverter verimi, bağlı yüklerin anlık tüketimi ve kullanım süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle çalışma süresi değerlendirmesinde teorik kapasite esas alınmış, pratik kullanımda bu sürenin daha düşük olabileceği kabul edilmiştir. Ana uygulama çardağındaki 510 W sabit yüklerin teorik olarak yaklaşık 9,41 saat, ikincil çardaktaki 250 W sabit yüklerin yaklaşık 19,20 saat, her iki çardaktaki toplam 760 W sabit yükün ise yaklaşık 6,32 saat çalışabileceği hesaplanmıştır. Gece kullanımında yalnızca 7 adet 30 W çevre aydınlatma lambasının devrede olması durumunda ise teorik çalışma süresi yaklaşık 22,86 saat olarak bulunmuştur. Priz çıkışlarına bağlanacak ek cihazlar toplam tüketimi artıracağından, sistemin çalışma süresi buna bağlı olarak azalacaktır.

### 2.4. Sistem Kurulumu ve Saha Uygulaması

Sistemin saha kurulumu Ankara Üniversitesi Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde bulunan çardak alanında gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik paneller, güneş ışınımından en uygun şekilde yararlanacak biçimde açık alana yerleştirilmiş ve panellerden elde edilen doğru akım enerji inverter ve akü grubuna aktarılmıştır. Kurulumda panellerin gölgelenmeden etkilenmeyecek şekilde konumlandırılmasına dikkat edilmiş, bağlantı hatları çardak yapısı üzerinden ana kullanım alanı ve ikincil çardak yüklerini besleyecek şekilde düzenlenmiştir.



**Görsel 4. Fotovoltaik panellerin saha kurulumuna ait görünüm**

Görsel 4'te sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin saha üzerindeki yerleşimi görülmektedir. Paneller, uygulama çardağının ön kısmında açık alana yerleştirilmiş olup sistemin enerji üretim birimini oluşturmaktadır. Bu yerleşim sayesinde öğrenciler, panel bağlantılarını, panel dizilimini ve güneş enerjisinden elektrik üretim sürecini doğrudan gözlemleyebilmektedir. Panellerden elde edilen enerji, inverter ve akü bağlantı sistemi aracılığıyla kullanılabilir hâle getirilmiştir. Bu kapsamda inverter, kontrol panosu ve akü grubu çardak içerisinde uygun bir noktaya yerleştirilmiş; sistemin DC enerji üretimi, enerji depolama ve AC enerji çıkışı bu birimler üzerinden sağlanmıştır.

Görsel 5'te inverter, elektrik panosu ve akü grubuna ait bağlantı düzeni görülmektedir. Sistemden elde edilen doğru akım enerji öncelikle akü grubunda depolanmakta, ardından inverter aracılığıyla 220 V AC enerjiye dönüştürülerek aydınlatma ve priz çıkışlarında kullanılmaktadır. Böylece sistem, şebekeden bağımsız çalışabilecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu kurulum aynı zamanda öğrencilerin fotovoltaik panel, akü, inverter ve AC yük bağlantıları arasındaki ilişkiyi uygulamalı olarak inceleyebilecekleri bir eğitim altyapısı sunmaktadır.



**Görsel 5. İnverter, kontrol panosu ve akü bağlantısına ait görünüm**

## 3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Ankara Üniversitesi Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde yer alan çardak yapısı, şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji destekli bir öğrenci uygulama merkezi olarak tasarlanmış ve saha kurulumu gerçekleştirilmiştir. Sistem; 7 adet 590 W fotovoltaik panel, 4,2 kW tam sinüs inverter ve seri bağlı iki adet 12 V 200 Ah aküden oluşacak şekilde yapılandırılmıştır. Böylece toplam panel gücü yaklaşık 4,13 kWp, akü grubunun teorik enerji kapasitesi ise 4,8 kWh olarak belirlenmiştir. Yapılan yük analizinde ana uygulama çardağındaki sabit aydınlatma yükü 510 W, ikincil çardaktaki sabit aydınlatma yükü ise 250 W olarak hesaplanmıştır. Her iki çardakta bulunan sabit aydınlatma yüklerinin aynı anda çalışması durumunda toplam yük 760 W olmaktadır. Akü kapasitesine göre yapılan teorik hesaplamalarda, ana uygulama çardağındaki sabit yüklerin yaklaşık 9,41 saat, ikincil çardaktaki sabit yüklerin yaklaşık 19,20 saat ve tüm sabit aydınlatma yüklerinin birlikte yaklaşık 6,32 saat çalışabileceği belirlenmiştir. Yalnızca gece çevre aydınlatmalarının devrede olması durumunda ise teorik çalışma süresi yaklaşık 22,86 saat olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, gerçek kullanım süresinin akü deşarj oranı, inverter verimi, hava koşulları, güneşlenme süresi ve priz çıkışlarına bağlanacak ek yüklere göre değişebileceği değerlendirilmiştir. Saha uygulaması sonucunda sistemin yalnızca enerji üretimi sağlayan bir yapı olmadığı, aynı zamanda öğrencilerin fotovoltaik panel, akü, inverter, AC yük besleme ve şebekeden bağımsız çalışma prensiplerini doğrudan gözlemleyebilecekleri bir eğitim altyapısı sunduğu görülmüştür. Bu yönüyle çalışma, meslek yüksekokulu ölçeğinde yenilenebilir enerji teknolojilerinin uygulamalı öğretimine katkı sağlayan örnek bir model niteliğindedir. Ayrıca sistem, kampüs içerisinde aydınlatma ve düşük güçlü elektriksel yüklerin karşılanmasında güneş enerjisinin kullanılabilirliğini göstermesi bakımından da önem taşımaktadır. Bu çalışma ile Nallıhan Meslek Yüksekokulu bahçesinde yer alan çardak yapısı, yalnızca sosyal kullanım alanı olmaktan çıkarılarak fotovoltaik enerji sistemlerinin gözlemlenebildiği ve uygulamalı olarak incelenebildiği bir eğitim alanına dönüştürülmüştür. Kurulan sistem, aydınlatma ve düşük güçlü AC yüklerin şebekeden bağımsız olarak beslenebileceğini göstermiştir. Aynı zamanda öğrencilerin panel yerleşimi, enerji depolama, inverter bağlantısı, yük analizi ve sistem işletimi gibi temel fotovoltaik uygulama süreçlerini saha koşullarında incelemesine imkân sağlamıştır. Bu yönüyle çalışma, meslek yüksekokullarında yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik uygulamalı eğitim altyapısının geliştirilmesine katkı sunan örnek bir saha uygulaması niteliği taşımaktadır.

## KAYNAKÇA


- Akyazı, Ö., Başlık, Ş., Khidirzade, K., & Çavdar, B. (2024). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin PVSyst ile analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 14*(3), 1486-1502. https://doi.org/10.31466/kfbd.1478610
- Çifci, A., & Altundağ, E. (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 6*(2), 111-120. https://izlik.org/JA64TD44NL
- Çolak, İ., Sefa, İ., Bayındır, R., & Demirtaş, M. (2007). Güneş enerjisi kaynaklı LED armatür tasarımı. *Politeknik Dergisi, 10*(4), 347-352. https://izlik.org/JA84BP72YC
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2026). *Güneş enerjisi potansiyel atlası*. GEPA. https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/
- Orhan, N., & Şahin, S. (2022). Bir besi çiftliğinde güneş enerjisi sisteminin uygulanması ve ekonomik analizi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 9*(1), 33-40. https://doi.org/10.30910/turkjans.1013347
- Yavuz, İ., Dindar, T., & Aydın, A. (2025). Güneş enerjisi destekli tarımsal sulama sistemlerinin konvansiyonel şebeke altyapısına göre maliyet-etkinlik analizi: Şanlıurfa/Birecik örneği. *10. Uluslararası Dicle Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Diyarbakır, Türkiye.
- Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 6*(2), 196-215. https://doi.org/10.34186/klujes.793471