ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Ertan ÖZGÜR

BAZALT, KARBON KUMAŞ TAKVİYELİ PARÇACIK KATKILI KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK, ISI VE SES YALITIM ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2022

ÖZ

DOKTORA TEZİ

BAZALT, KARBON KUMAŞ TAKVİYELİ PARÇACIK KATKILI KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK, ISI VE SES YALITIM ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU

Ertan ÖZGÜR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR
Yıl: 2022 Sayfa:182
Jüri : Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR
: Prof. Dr R.Tuğrul OĞULATA
: Doç. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI
: Doç. Dr Gaye KAYA
: Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem SARPKAYA

Bu tez çalışmasında bazalt elyaf ile güçlendirilmiş, dolgu malzemeleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ısı ve ses yalıtım özellikleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca karbon kumaş takviyeli kompozitler de üretilmiş ve böylece bazalt kompozitlerle, karbon kompozitlerin partikül takviyeli ve takviyesiz örneklerinin ısı ve ses yatılımı özellikleri karşılaştırılmıştır. En iyi ses ve ısı emici özellikleri veren kompozit malzemeyi belirlemek için Taguchi Gri İlişkiler Analizi optimizasyon tekniği yöntemi kullanılmıştır. Deneysel Tasarım L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal seçilmiştir. Test parametreleri (Giriş Değişkenleri) deney tasarımına göre kumaş (6 seviye), Al_2O_3 (3 seviye) ve SiC (3 seviye) olarak belirlendi. Optimize edilecek çıkış parametreleri ısı iletim katsayısı, ses yutuculuk, izod darbe, çekme testi, üç nokta eğilme değerleri olarak belirlenmiş ve çalışmanın sonucunda optimum numuneler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt ve Karbon Kumaş, Isı ve Ses Yalıtımı, Al2O3 ve SiC Parçacık, Taguchi Metodu ve Taguchi Gri İlişkiler Analizi

ABSTRACT

PhD. THESIS

PRODUCTION OF BASALT, CARBON FABRIC REINFORCED PARTICLE ADDITIVE COMPOSITES AND OPTIMIZATION OF MECHANICAL, THERMAL AND SOUND INSULATION PROPERTIES

Ertan ÖZGÜR

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES DEPARTMEN OF TEXTILE ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR
Year: 2022 Page: 182
Jury : Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR
: Prof. Dr R. Tuğrul OĞULATA
: Assoc Prof. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI
: Assoc Prof. Dr. Gaye KAYA
: Assist Prof Dr. Çiğdem SARPKAYA

In this study, heat and sound insulation properties and mechanical properties of composites reinforced with basalt elyaf and reinforced with filling materials were investigated. In addition, carbon fabric reinforced composites were also produced, so the heat and sound insulation properties of basalt composites and particle reinforced and non-reinforced carbon composites were compared. Taguchi Gray Relationship Analysis optimization technique method was used to determine the composite material that gives the best sound and heat absorbing properties. Experimental Design L18 (Mixed Level 3-6) was chosen. Test parameters (Input Variables) were determined as fabric (6 levels), Al2O3 (3 levels) and SiC (3 levels) according to the experimental design. Output parameters to be optimized were determined as heat conduction coefficient, sound absorption, izod impact, tensile test, three-point bending values, and optimum samples were determined as a result of the study.

Key Words: Basalt and Carbon Fabric, Thermal and Sound Insulation, Al2O3 and SiC Particles, Composite, Taguchi Method and Taguchi Gray Relation Analysis

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, üretim aşaması zor, yüksek maliyetli ve yüksek hacimli malzemeler yerini mekanik özellikleri büyük oranda arttırılmış, daha düşük maliyetli, daha az hacim kaplayan ve daha hafif malzemelere bırakmıştır. Özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında gelişen bilim ve teknik ile birlikte daha hafif, daha ucuz ve daha dayanıklı malzemeler üretilmeye başlanmıştır.

Bu özellikleri en iyi karşılayan malzemeler de kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler birbirinin zayıf yönlerini kapatarak, bir araya gelen iki veya daha fazla malzemenin güçlü yanlarını ortaya çıkaran malzemelerdir.

21.yüzyılda kompozit malzemelerin geniş bir kullanım alanı bulmasıyla, kompozit üretimi için alternatif hammadde arayışı önem kazanmıştır. Kompozit malzemelerden beklentilerin artmasıyla daha hafif, sağlam, korozyona dayanaklı, yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemelere ihtiyaç duyulmuş ve bu ihtiyacı karşılayacak bileşenlere olan gereksinim artmıştır.

Kompozit malzeme üretiminde ilk kullanılan takviye malzemesi E-camı elyafdir. Endüstriyel olarak 40 yılı aşkın süresidir kullanımı vardır. Mukavemet-maliyet özellikleri açısından optimum koşullar sergilemesi, günümüz endüstriyel uygulamalarında halen en çok tercih edilen takviye türü olmasının sebebidir.

Bazalt elyafler ise, yüksek mekanik özellikleri ve görece düşük maliyeti ile E-camı elyaflere alternatif olarak geliştirilmiş ve son 5 yılda çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bazalt elyafler genel anlamda mükemmel mekanik özellikleri ile kompozit malzemeler için takviye malzemesi olarak, alev almama ve yüksek sıcaklıkta özelliklerini kaybetmeme kabiliyeti ile yangından korunma sektöründe, ısı ve ses yalıtımı özellikleri ile izolatör olarak ve mükemmel kimyasal direnç göstermeleri nedeniyle korozif ortam uygulamalarında kullanılmaktadır.

Günümüzde bu malzemelerde en yaygın kullanılanlar cam elyaf ve karbon elyaftır. Ancak cam elyafın üretimi için gerekli olan malzemelerin doğada zamanla

azalacak olması, kompozit üretiminde en çok tercih edilen karbon elyafın ise çok yüksek maliyete sahip olması sebebiyle bazalt tekstil malzemesi takviyeli kompozitler üretilmiştir. Bazalt ürünler hava veya suyla toksik reaksiyona girmez, yanıcı yada patlayıcı değildirler. Bazalt elyaflar diğer kimyasallarla reaksiyona girdiğinde insan sağlığına veya doğaya herhangi bir zarar vermezler.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve artan tüketim ile birlikte kompozit malzemelerden beklentiler de artmıştır. Bu beklentilerin karşılanabilmesi için reçine ve tekstil malzemesine dolgu olarak kompozit içerisine nano ve mikro partiküller ilave edilmeye başlanmıştır. Bu modifikasyon sayesinde kompozitin mekanik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Kompozitin ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere erişebilmesi için kompozit içerisine seramik tozları, silisyum karbür gibi mikro veya makro partiküller ekleme yöntemiyle olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında bazalt elyaf ile güçlendirilmiş, dolgu malzemeleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ısı ve ses yalıtım özellikleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile mikro yapıları incelenmiştir. Kimyasal analizleri ise EDS ile incelenmiştir. Ayrıca karbon kumaş takviyeli kompozitler de üretilmiş ve böylece bazalt kompozitlerle, karbon kompozitlerin partikül takviyeli ve takviyesiz örneklerinin ısı ve ses yatılımı özellikleri karşılaştırılmıştır. En iyi ses ve ısı emici özellikleri veren kompozit malzemeyi belirlemek için Taguchi Gri İlişkiler Analizi optimizasyon tekniği yöntemi kullanılmıştır. Deneysel Tasarım L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal seçilmiştir. Test parametreleri (Giriş Değişkenleri) deney tasarımına göre kumaş (6 seviye), Al_2O_3 (3 seviye) ve SiC (3 seviye) olarak belirlenmiştir. Bu deney planına göre üretimi gerçekleştirilen kompozitlerin ısı iletim ve ses yalıtım katsayıları ile seçilmiş mekanik özellikleri araştırılmış ve sonuçlar literatür ile ilişkilendirilerek yorumlanmıştır. Araştırma sonuçları istatistiksel olarak da analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda optimum kompozit seçenekleri belirlenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, "Bazalt Tekstil Yapılarıyla Takviye Edilmiş Kompozitlerin Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması" konulu tez çalışmasını yapmamı sağlayan ve tez çalışmam süresince gösterdiği sabır, yardım ve ilgiden dolayı Danışman Hocam Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR'a ve Tez izleme komitesi üyeleri Tekstil Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Tuğrul OĞULATA ve Doç. Dr. Nergiz KILINÇ MİRDALI'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışma kapsamında üretilmiş olan numunelerin testlerini yaptırdığımız Kayseri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) laboratuvarları sorumlularından Öğr.Gör. Mehmet ÇADIR, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları sorumlusu Prof.Dr. Fatih MENGELOĞLU'na ve ekip ark.na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında desteklerini esirgemeyen Eşim Tuba ÖZGÜR'e ve varlığıyla huzur ve mutluluk veren canım kızım Ada Sarya ÖZGÜR'e sevgilerimi sunarım

Yapmış olduğum bu çalışmanın kaynak bulmanın zor olduğu tekstil sektörüne faydalı olmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER LİSTESİ X
ŞEKİLLER LİSTESİ XIV
1. GİRİŞ 1
1.1. Bazalt Elyaf 1
1.2. Karbon Elyafı 4
1.3. Kompozite İlave Parçacıklar 5
1.3.1. Alümina/Alüminyum Oksit (Al_2O_3) özellikleri 5
1.3.2. SiC (Silisyumkarbür) 6
1.4. Kompozitlerin Isı ve Ses Yalıtım Özellikleri 6
1.4.1. Isı Yalıtımı ve Genel Özellikleri 6
1.4.2. Ses Yalıtımı 10
1.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Metodlar 12
1.6. Çalışmanın Önemi ve Amacı 14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 17
2.1. Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozitlerle İlgili Çalışmalar 17
2.2. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerle İlgili Çalışmalar 20
2.3. Bazalt-Karbon Elyaf İçeren Çalışmalar 21
2.4. Al_2O_3 ve SiC Toz Katkılı Kompozitler Hakkında Çalışmalar 24

2.5. Taguchi Gri İlişkiler Analizi İle İlgili Yapılan Mühendislik Çalışmaları 29
3. MATERYAL VE METOT 33
3.1. Materyal 33
3.1.1. Karbon ve Bazalt Kumaşlar İle Dolgu Malzemelerinin SEM Analizleri 35
3.1.2. Karbon ve Bazalt Kumaşların EDS Analizleri 40
3.1.3. Al_2O_3 ve SiC'nin EDS Analizleri 42
3.2. Metot 43
3.2.1. Deneysel Çalışma Planı ve İstatistiksel Metodlar 43
3.2.2. Kompozit Plaka Üretimi ve Numune Kesimi 51
3.2.2.1. Numune Kesimi 54
3.2.3. Testler 55
3.2.3.1. Ses İletim Kaybının Belirlenmesi 55
3.2.3.2. Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi 59
3.2.3.3. İzod Darbe Mukavemet Tayini 62
3.2.3.4. Çekme Özelliklerinin Tayini 63
3.2.3.6. Elyaf Takviyeli Kompozitler İçin Üç Nokta Eğilme Özelliklerinin Tayini 66
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 69
4.1. Taguchi Optimizasyonuna Yönelik Analizler 69
4.1.1. Isı İletim Katsayısının Tespiti Testi 69
4.1.2. Ses İletim Kaybı Testi 78
4.1.3. İzod Darbe Testi 85
4.1.4. Çekme Direnci Testi 93
4.1.4.1. Çekme Direnci Testi 93

4.1.4.2. Çekmede Elastikiyet Modülü 100
4.1.4.3. Kopmada Uzama Testi 107
4.1.5. Üç Nokta Eğilme Testi 113
4.1.5.1. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları 113
4.1.5.2. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları 121
4.2. Taguchi Gri İlişkiler Analizi 128
4.2.1. Isı ve Ses Yalıtım Testleri İçin Taguchi Gri İlişkiler Analizi 128
4.3. Üretilen Kompozit Plakaların SEM Analizleri 139
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 143
5.1. Taguchi Metodu Analizleri İle İlgili Sonuçlar 143
5.2. Taguchi Gri İlişkiler Analizi İle İlgili Sonuçlar 145
5.3. Öneriler 145
KAYNAKLAR 147
ÖZGEÇMİŞ 159
EKLER 161

ÇİZELGELER LİSTESİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Bazalt, Cam ve Karbon Elyafların Özellikleri 3
Çizelge 3.1. Kompozit Malzemeleri ve Özellikleri 33
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Takviye Tekstil Malzemelerinin Elyaf Çapları 38
Çizelge 3.3. Karbon Kumaşın Bileşimindeki Elementler ve Oranları 41
Çizelge 3.4. Bazalt Kumaşın Bileşimindeki Elementler ve Oranları 41
Çizelge 3.5. Al_2O_3 Bileşimindeki Elementler ve Oranları 42
Çizelge 3.6. SiC Bileşimindeki Elementler ve Oranları 43
Çizelge 3.7. Deney Planı – Girdi Değişkenleri 44
Çizelge 3.8. L18 (3-6 Karma Düzen) Deney Tasarımı 46
Çizelge 3.9. Çalışmada Elde Edilecek Çıktılar İçin Kullanılacak Taguchi Metodu S/N Oranları ve Deney Standartları 47
Çizelge 3.10. Çıktı Parametrelerinin ağrılık seçimi 49
Çizelge 3.11. Çalışmada Yapılan Testler 55
Çizelge 4.1. Isı İletim Katsayısı Test Sonuçları 70
Çizelge 4.2. Al_2O_3 ve SiC malzemelerinin özellikleri 73
Çizelge 4.3. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletkenlik Katsayısının Tespiti Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 74
Çizelge 4.4. Isı Yalıtım Malzemesi olarak kullanılan bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları 75
Çizelge 4.5. Isı İletim Katsayısı Değerlerinin S/N Oran Değerleri 76
Çizelge 4.6. Isı İletim Katsayısı Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)Smaller is better 77
Çizelge 4.7. Ses İletim Kaybı Katsayısı 79

Çizelge 4.8. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletim Kaybı Değeri Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 82
Çizelge 4.9. Ses İletim Kaybı Değerlerinin S/N Oran Değerleri 83
Çizelge 4.10. Ses İletim Kaybı Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table) for Signal to Noise Orans 84
Çizelge 4.11. İzod Darbe Testi Sonuçları 86
Çizelge 4.12. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan İzod Darbe Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 89
Çizelge 4.13. İzod Darbe Direnci Test Değerlerinin S/N Oran Değerleri 91
Çizelge 4.14. İzod Darbe Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans) 92
Çizelge 4.15. Çekme Direnci Test Sonuçları 94
Çizelge 4.16. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekme Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 97
Çizelge 4.17. Çekme Direnci Test Değerlerinin S/N Oran Değerleri 98
Çizelge 4.18. Çekme Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table) for Signal to Noise Orans 99
Çizelge 4.19. Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları 101
Çizelge 4.20. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 104
Çizelge 4.21. Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerinin S/N Oran Değerleri 105
Çizelge 4.22. Çekmede Elastikiyet Modülü Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans) 106
Çizelge 4.23. Kopmada Uzama Test Sonuçları 108

Çizelge 4.24. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Kopmada Uzama Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 110
Çizelge 4.25. Kopmada Uzama Değerlerinin S/N Oran Değerleri 111
Çizelge 4.26. Kopmada Uzama Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans) 112
Çizelge 4.27. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları 114
Çizelge 4.28. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 118
Çizelge 4 29. Üç Nokta Eğilme Direnci Değerlerinin S/N Oran Değerleri 119
Çizelge 4.30. Üç Nokta Eğilme Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans) 120
Çizelge 4.31. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları 122
Çizelge 4.32. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means) 125
Çizelge 4.33. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerinin S/N Oran Değerleri 126
Çizelge 4.34. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans) 127
Çizelge 4.35. Referans Seriler 129
Çizelge 4.36. Normalize Edilmiş Referans Seri 130
Çizelge 4.37. Normalize Edilmiş Serinin Referans Serisine Olan Uzaklığı 131
Çizelge 4.38. Gri İlişkiler Katsayısı Matrisi 132
Çizelge 4.39. Gri İlişkiler Derecesi 133
Çizelge 4.40. Faktörlerin Etkinlik Derecesi 134
Çizelge 4.41. Gri İlişkiler Derecesinin ANOVA Testi 135
Çizelge 4.42. Hesaplanan S/N Oranları 136

Çizelge 4.43. Başlangıç ve Optimum Kompozit Bileşenleri Kullanılarak Üretilen Numunelerin Isı ve Ses Yalıtım Özellikleri (Isı İletim Katsayısı 0,5 ve Ses İletim Kaybı 0,5 Ağırlıklandırma İçin)... 137
Çizelge 5.1. Tüm Test Yöntemleri İçin Optimum Numuneler 144

ŞEKİLLER LİSTESİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Bazalt Volkanik Kayaç Görünümleri 2
Şekil 1.2. Bazalt Elyafın Alkali Ortamdaki Yapı Değişimi (Singha,2012) 4
Şekil 1.3. Binalarda Isı Akışı (bandirmasove.com, 2022) 7
Şekil 1.4. Isı Yalıtım Malzemeleri (kardesleryapi.net, 2022) 9
Şekil 1.5. Ses Yalıtımı (Dönmez, 2017) 11
Şekil 1.6. Ses Yalıtımında Kullanılan Malzemler (Erol, 2019) 12
Şekil 3.1. Quorum Q150R S Kaplama Makinesi 34
Şekil 3.2. FEI Quanta FEG650 Test Cihazı 35
Şekil 3.3. Karbon Kumaşın SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme 36
Şekil 3.4. Bazalt Kumaşın SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme) 37
Şekil 3.5. Al_2O_3 (Alümina) SEM Analizleri (a) 500.000 kat büyütme, (b) 400.000 Kat Büyütme, (c) 200.000 Kat Büyütme, (d) 100.000 Kat Büyütme) 39
Şekil 3.6. SiC SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme) 40
Şekil 3.7. EDS Analizi Sonucu Karbon Kumaşın Bileşenleri 41
Şekil 3.8. Bazalt Kumaşın EDS Analiz Sonuçları 42
Şekil 3.9. Gri Tabanlı Taguchi Metodu Uygulama Prosedürü (Sarpkaya,2014) .. 45
Şekil 3.10. El Yatırma Yöntemi Şematik görüntü 52
Şekil 3.11. Deney Numunelerinin Üretimi İçin Kullanılacak Kalıp ve Malzemeler 53
Şekil 3.12. Lazer Kesim Makinesi 54
Şekil 3.13. Günlük Hayatta Maruz Kalınan Sesler (Aydemir,2013) 56
Şekil 3.14. Durağan Dalga ve Durağan Dalganın Maksimum-Minimum Değeri ... 57

Şekil 3.15. Empedans Tüp 57
Şekil 3.16. Dört Mikrofonlu Empedans Tüp 59
Şekil 3.17. Sıcaklık Değişimine Bağlı Olarak Isı Geçiş Yönleri 61
Şekil 3.18. Isı İletim Katsayısı Tespiti Test Cihazı 62
Şekil 3.19. Zwick Roell Hıt5 Darbe Deneyi Test Cihazı 63
Şekil 3.20. Çekme Deney Makinesi 64
Şekil 3.21. Gerilim-Gerinim Eğrisi 64
Şekil 3.22. Zwick Roell Z010 Çekme ve Eğilme Test Cihazı 65
Şekil 3.23. Üç Nokta Eğme Deneyine Ait Moment Uzunluk Diyagramı 67
Şekil 4.1. Isı İletim Katsayısı Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 71
Şekil 4.2. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletim Katsayısının Tespiti Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 72
Şekil 4.3. Ses İletim Kaybı Katsayıları Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 80
Şekil 4.4. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Ses İletim Kaybı Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 81
Şekil 4.5. İzod Darbe Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 87
Şekil 4.6. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan İzod Darbe Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 88
Şekil 4.7. Çekme Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 95
Şekil 4.8. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekme Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 96
Şekil 4.9. Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 102
Şekil 4.10. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 103

Şekil 4.11. Kopmada Uzama Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 109
Şekil 4.12. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Kopmada Uzama Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 110
Şekil 4.13. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 115
Şekil 4.14. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 116
Şekil 4.15. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi 123
Şekil 4.16. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet ModülüTest Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği 124
Şekil 4.17. Gri İlişkiler Derecesinin Grafiği 134
Şekil 4.18. Bazalt Kompozitlerin Çekme Testi Numunelerinin Kırılma Bölgelerinin SEM Analizleri Sonucunda Alınan 250X ve 1000X Büyütme İle Alınan Görüntüleri 140
Şekil 4.19. Karbon Kompozitlerin Çekme Testi Numunelerinin Kırılma Bölgelerinin SEM Analizleri Sonucunda Alınan 250X ve 1000X Büyütme İle Alınan Görüntüleri 141

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, üretim aşaması zor, yüksek maliyetli ve yüksek hacimli malzemeler yerini mekanik özellikleri büyük oranda arttırılmış, daha düşük maliyetli, daha az hacim kaplayan ve daha hafif malzemelere bırakmıştır. Özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında gelişen bilim ve teknik ile birlikte daha hafif, daha ucuz ve daha dayanıklı malzemeler üretilmeye başlanmıştır.

Bu özellikleri en iyi karşılayan malzemeler de kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler birbirinin zayıf yönlerini kapatarak, bir araya gelen iki veya daha fazla malzemenin güçlü yanlarını ortaya çıkaran malzemelerdir.

21.yüzyılda kompozit malzemelerin geniş bir kullanım alanı bulmasıyla, kompozit üretimi için alternatif hammadde arayışı önem kazanmıştır. Kompozit malzemelerden beklentilerin artmasıyla daha hafif, sağlam, korozyona dayanaklı, yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemelere ihtiyaç duyulmuş ve bu ihtiyacı karşılayacak bileşenlere olan gereksinim artmıştır.

Kompozit malzeme üretiminde ilk kullanılan takviye malzemesi E-camı elyafdir. Endüstriyel olarak 40 yılı aşkın süredir kullanımı vardır. Mukavemet-maliyet özellikleri açısından optimum koşullar sergilemesi, günümüz endüstriyel uygulamalarında halen en çok tercih edilen takviye türü olmasının sebebidir.

Bazalt elyafler ise, yüksek mekanik özellikleri ve görece düşük maliyeti ile E-camı elyaflere alternatif olarak geliştirilmiş ve son 5 yılda çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmaya başlamıştır.

1.1. Bazalt Elyaf

Bazalt filamentler doğada yüksek oranda bulunan ve Şekil 1.1.'de gösterilen volkanik kayaçların yaklaşık 1500^{o}C'de eritilerek, içerisine hiçbir ilave malzeme koymaksızın filament halinde çekilmesi ile elde edilir. Bazalt içerisinde SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, CaO, TiO_2, P_2O_5 bileşikleri bulunmaktadır. Bazalt kayasının çekilmesi ile yüksek ısıl yalıtım özelliğine sahip, aside ve alkalilere dayanıklı lifler elde edilir.

Bazalt elyafler genel anlamda mükemmel mekanik özellikleri ile kompozit malzemeler için takviye malzemesi olarak, alev almama ve yüksek sıcaklıkta özelliklerini kaybetmeme kabiliyeti ile yangından korunma sektöründe, ısı ve ses yalıtımı özellikleri ile izolatör olarak ve mükemmel kimyasal direnç göstermeleri nedeniyle korozif ortam uygulamalarında kullanılmaktadır. Tüm bu özellikler bir araya geldiğinde bazalt elyafler; kompozit, otomotiv, inşaat, ulaşım endüstrileri, depolama tankları, kimyasal transfer sistemleri, makine imalatı, spor ve eğlence malzemeleri üretiminde alternatif bir hammaddedir (Gümülcine, 2012).



Şekil 1.1. Bazalt Volkanik Kayaç Görünümleri

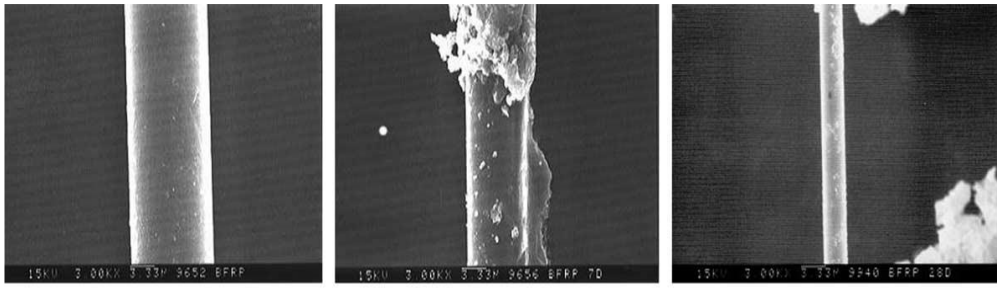
Bazalt ürünler hava veya suyla toksik reaksiyona girmez, yanıcı ya da patlayıcı değildirler. Bazalt elyaflar diğer kimyasallarla reaksiyona girdiğinde insan sağlığına veya doğaya herhangi bir zarar vermezler. Bazalt lifleri asbestle her uygulamada yer değiştirebilir (Van De Velde ve ark., 2003). Bazalt elyaflerin mekanik özellikleri E-camı ve S-camı arasında yer almaktadır. E-camına kıyasla 280°C daha yüksek operasyon sıcaklığında çalışabilmektedir. E-camı elyaflere göre daha yüksek elastik modülüne sahiptirler ve düşük uzama göstermektedirler. Bazalt

elyaflerin kimyasal direnç performansları da E-camı elyaflardan daha iyidir. Özellikle asit ortamında mükemmel korozyon direncine sahiptirler, su ve alkali ortamında ise E-camı elyaflara göre daha düşük bozulmaya uğramaktadırlar (Singha, 2012). Bazalt lifinin cam elyaf ve karbon elyaf ile mekanik özelliklerinin kıyaslanması Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazalt, Cam ve Karbon Elyafların Özellikleri (Singha, 2012)

Özellik	Bazalt Filament	Cam Elyaf (E-Glass)	Cam Elyaf (S-Glass)	Karbon Elyaf
Kırılma Mukavemeti (MPa)	3,000 – 4,840	3,1 00– 3,800	4,020– 4,650	3,500– 6,000
Elastisite Modülü (GPa)	79.3 – 93.1	72.5 – 75.5	83 - 86	230 - 600
Kırılma Uzaması (%)	3,1	4,7	5,3	1,5 - 2,0
Lif Çapı (µm)	6-21	6-21	6-21	5-15
Yoğunluk (tex)	60-4,200	40-4,200	40-4,200	60-2,400
Çalışma Aralığı (°C)	-260.+700	-50….+380	-50….+300	-50….+700

Bazalt elyafın en büyük avantajlarından birisi de yüksek alkalilere dayanıklılığıdır (Lipatov ve ark., 2015). Bazalt elyaf 13-14 pH lere kadar çalışılabilir. Ancak asitlere bu kadar dayanıklı değildir. NaOH içerisinde %92'ye kadar, HCl içerisinde ise %75'e kadar özelliklerini, %95'e kadar da ağırlıklarını koruyabilirler (Singha, 2012). Şekil 1.2.'de bazalt, karbon ve cam elyafının alkali koşullar altındaki yaralanmalarının kıyaslanması bulunmaktadır.



(a) Normal (b) 7 days (c) 28 days

Şekil 1.2. Bazalt Elyafın Alkali Ortamdaki Yapı Değişimi (Singha,2012)

1.2. Karbon Elyafı

Düşük yoğunluk, yüksek darbe dayanımı, tokluk, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımları karbon elyafların en önemli özellikleri arasında yer almaktadır. Karbon elyaflar çoğunlukla plastik matrislerden epoksi reçinelerle birlikte kullanılmakta olup, alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılmaktadır (Öztürk, 2015)

Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1,6-2,2 g/cm^3 arasında değişiklik göstermektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm^3 arasında değişmektedir. Karbon liflerinden yapılmış kompozitlere 1020 çelik konstrüksiyonlarda 5 kat daha dayanıklı ve 1/5 ağırlığındadır. Aynı şekilde 6061 alüminyum konstrüksiyonlarda 7 kat daha dayanıklı iken, 2 kat daha sert ve 1,5 kat daha hafiftir. Karbon liflerinin yorulma davranışı bilinen tüm metallerden daha iyidir. Uygun reçine ile kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı dayanımı iyi olmaktadır (Yaman ve ark., 2007).

Bütün bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda kompozit üretiminde en fazla kullanılan takviye elemanı karbon liflerdir. Ancak karbon elyafın epoksi reçinesi ile sağlam bağ kuramaması, yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye müsait olması ve üretilen malzemelerin tokluklarının düşük olması ayrıca yüksek maliyeti karbon takviyeli kompozitlerin en büyük dezavantajıdır (Seydibeyoğlu, 2012) .

1.3. Kompozite İlave Parçacıklar

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve artan tüketim ile birlikte kompozit malzemelerden beklentiler de artmıştır. Bu beklentilerin karşılanabilmesi için reçine ve tekstil malzemesine dolgu olarak kompozit içerisine nano ve mikro partiküller ilave edilmeye başlanmıştır. Bu modifikasyon sayesinde kompozitin mekanik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Kompozitin ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere erişebilmesi için kompozit içerisine seramik tozları, silisyum karbür gibi mikro veya makro partiküller ekleme yöntemiyle olabilmektedir.

Metal matrisli kompozitlerin, takviye edilmemiş alaşımlara göre mukavemette gösterdiği gelişim, sağlamlık ve aşınma dayanımında oluşturduğu artış nedeni ile, uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanımı giderek artmaktadır (Gül, 2010).

Literatürde karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş kompozitlere nano veya mikro partiküller ilave edilmesiyle kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirildiğini gösteren pek çok çalışma mevcuttur.

Bu takviye malzemeleri içerisinde silisyumkarbür ve alümina, kararlılık, inertlik ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi üstün özellikleri nedeni ile tercih edilmektedir (Karabulut ve ark., 2019). Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak Al_2O_3 (Alümina) ve SiC (Silisyumkarbür) kullanılmıştır.

1.3.1. Alümina/Alüminyum Oksit (Al_2O_3) özellikleri

Deneysel çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan Al_2O_3 (Alümina, Alüminyumoksit) aşağıdaki özelliklere sahiptir (Önal, 2021) :

- Sertlik 15-19 GPa
- Poisson oranı 0,22
- Termal iletkenlik 20-30 W/mK
- Teorik yoğunluk 3,95 g/cm^3

- Mekanik yük olmadan çalışma sıcaklığı 1000°C-1500°C
- Çekme Mukavemeti 240 MPa
- Elastisite modülü 340 GPa
- Elektrik direnci 1x1014 -1x1015 Ωcm

1.3.2. SiC (Silisyumkarbür)

Silisyum karbür en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. Silisyum karbürün bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (Akbaş, 2020) :

- Sertlik 31 GPa
- Poisson oranı 0,14
- Teorik yoğunluk 3,21 g/cm^3
- Termal iletkenlik 51,9 W/mK
- Erime Sıcaklığı 2730 ^{o}C
- Termal Genleşme Katsayısı 4,8.10^{-6} K^{-1}

Silisyum karbür çok sert, aşındırıcı bir malzeme olup, yüksek sürünme mukavemetine sahiptir. Sinterenmiş SiC sermaik malzemeler içerisinde en dayanıklı olanlardan bbiridir. Silisyum karbürün ticarileşmesini sağlayan özelliklerinden birisi sertliğidir. Achosan silisyum karbürün sertliğini keşfettiği zaman elması dahi kesebilecek bir yetenekten bahsetmiştir. (Turan, 2004)

1.4. Kompozitlerin Isı ve Ses Yalıtım Özellikleri

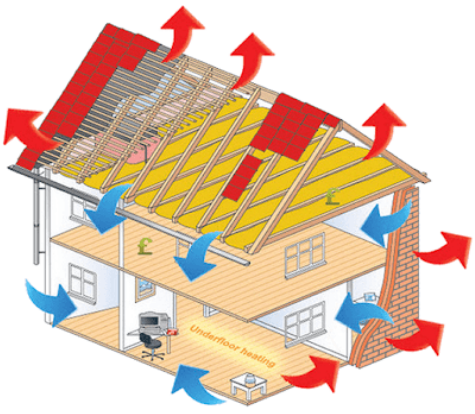
1.4.1. Isı Yalıtımı ve Genel Özellikleri

Enerji insan hayatı için olmazsa olmaz ihtiyaçlardan biridir. Nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme enerjiye olan talebi hızla artırmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması, enerji tüketimini de paralel olarak artırmaktadır.

Enerjide dışa bağımlı olan ülkelerden birisi de Türkiye'dir. Ayrıca artan enerji tüketimi, ülke ekonomisin yanında insan ve çevre sağlığına da ciddi anlamda zarar vermektedir. Bütün bu sebeplerden ötürü enerji tüketimini azaltmaya yönelik önemli bir uygulama olan ısı yalıtımı ortaya çıkmıştır. Isı yalıtımı uygulamaları ile binalarda ısı kayıplarının önüne geçerek israfın oluşmasını engellenebilmektedir (Bektaş, 2017).

Isı yalıtımının önemi, temel olarak enerji ve çevre olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji, sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de önemli, stratejik, makro bir kavramdır. Ülkemizin, enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı bir gerçektir. Enerji ihtiyacının %60- 65'lik bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Bu oran her geçen gün daha da artmaktadır (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007).

Isı, yüksek sıcaklıklı ortamdan, daha düşük sıcaklıklı ortama kendiliğinden transfer olan bir enerji türüdür. Kış aylarında iç mekândaki sıcak havanın, dışarıdaki soğuk ortama transfer olarak iç mekânın soğumasını önlemek, yaz aylarında ise dış ortamdaki sıcak havanın, daha az sıcak olan iç mekâna transfer olarak iç mekânın ısınmasını önlemek amacıyla, özel malzemelerle bina kabuğu (dış duvarlar, kapılar, döşeme, tavan, çatı ve pencereler) üzerinde yapılan ısı geçişlerini sınırlandırma işlemine "ısı yalıtımı" denir. Şekil 1.3.'te binalardaki ısı akışı gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Binalarda Isı Akışı (bandirmasove.com, 2022)

Isı Yalıtım Malzemelerinin Genel Özellikleri Şunlardır;

- Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının küçük olmalıdır. (λ' W/mK)
- Isı yalıtım malzemeleri hafif olmalıdır.
- Isı yalıtım malzemeleri kokusuz olmalıdır.
- Su ve nem absorbe etme özelliği olmalıdır.
- Bakteri ve haşerelerin yuva yapmasına elverişli olmamalıdır.
- Çürümeye karşı dayanıklı olmalıdır.
- İlk özelliğini kaybetmemelidir.
- Yanıcı olmamalıdır.
- Uzun ömürlü olmalıdır.
- Taşımaya elverişli ve insan sağlığına zarar vermemelidir.
- Ekonomik ve temin edilebilir olmalıdır.

Isı Yalıtımında kullanılan malzemeler ise şunlardır;

- Cam Yünü
- Taşyünü
- Genleştirilmiş Polistren (EPS) Isı Yalıtım Levhaları
- Extrüde Polistren (XPS) Isı Yalıtım Levhaları
- Poliüretan Köpük
- Fenol Köpüğü
- Cam Köpüğü

Şekil 1.4.'te bazı ısı yalıtım malzemeleri gösterilmektedir. Isı yalıtım malzemelerinde en önemli kriter malzemenin cinsi ve ısı iletim katsayısıdır. Isıl

direnç için ısı iletim katsayısı ve malzeme kalınlığı en önemli faktörlerdendir (TSE 825, 2008).



Şekil 1.4. Isı Yalıtım Malzemeleri (kardesleryapi.net, 2022)

Yalıtım malzemesinin kalınlıkları TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı içindeki Yalıtım malzemesinin kalınlığı ile ilgili olarak ısıl direnç formülünü incelendiğinde (TSE 825, 2008);

$$\text{R (Isıl direnç)} = \frac{\text{d (Kalınlık)}}{\lambda\ \text{(Isı iletim katsayısı)}} \quad (1.1)$$

Malzemenin (λ) ısı iletim katsayısı sabit olduğuna göre, (R) ısıl direnci artırmak için (d) malzemenin kalınlığını artırmak gerekir.

Isı iletim katsayısı (lambda değeri olarak da anılır), bir malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren değerdir ve bu değer her bir malzeme için farklıdır. Bu değerler TS825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında tanımlanmıştır. Bir

malzemenin ısı iletim katsayısı ne kadar küçükse, ısıyı o kadar az iletir. Isı yalıtım malzemelerinde bu değerin olabildiğince sıfıra yakın olması tercih edilen bir durumdur. Diğer bir değişle bu değer küçüldükçe malzemenin ısı yalıtım performansı da o kadar artar. 1 m kalınlığındaki iki yüzey arasında 1 K sıcaklık farkı için 1 saatte taşınan ısı miktarına, o malzemenin ısı iletkenliği denir.

Malzemelerin sadece ısı iletim değerlerinin birbiri ile karşılaştırılması, yalıtım performansını değerlendirmek ve malzeme seçiminde karar vermek için yeterli değildir. Isı iletim katsayısı düşük olan ürün, binada ihtiyaç duyulan çözüm için uygun olmayabilir. Ürünün ısı iletim katsayısı çok düşük olsa dahi, uygun kalınlıkta malzeme seçilmezse gereken ısı yalıtımı sağlanamaz. Isı yalıtım performansının değerlendirilebilmesi için "Yapıda kullanılan yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayılarının (U) ve sonrasında U değerleri kullanılarak yıllık ısıtma enerjisi ($Q_{yıl}$) değerinin hesaplanması gereklidir.

TSE 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı içindeki Çok Tabakalı Yapı Elemanının Isıl Direnç Katsayısı (TSE 825, 2008);

$$\frac{1}{U} = R_{iç} + R_1 + R_2 + R_3 + \ldots . R_n + \text{Dış} \qquad (1.2)$$

Burada; 1/U : Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (m^2 K/W),

$R_{İç}$: İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m^2 K/W),

R :Yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençlerine

$R_{Dış}$: Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m^2 K/W) şeklindedir.

1.4.2. Ses Yalıtımı

Yaşadığımız konut, okul, işyeri vb. binalar ile çevreyi istenmeyen seslerden yalıtarak gürültünün zararlı etkilerinden korunmak; kayıt stüdyoları, sinema, konser salonu vb. mekânları istenmeyen seslerden yalıtarak gerekli kullanım koşullarını oluşturmak; jeneratör, hidrofor, kalorifer vb. gürültülü mahalleri yalıtarak çevreye

yaydıkları gürültüyü azaltmak amacı ile yapılan uygulamalara “ses yalıtımı” denir (Dönmez, 2017).

Ses yalıtımı, temel olarak gürültünün insan üzerinde oluşturacağı zararlı etkileri en aza indirmek için alınacak önlemleri kapsar. Gürültü, düzensiz yapılı, farklı frekans bileşenlerine sahip olan ve genellikle zamana göre, değişken olan istenmeyen ses topluluğudur.

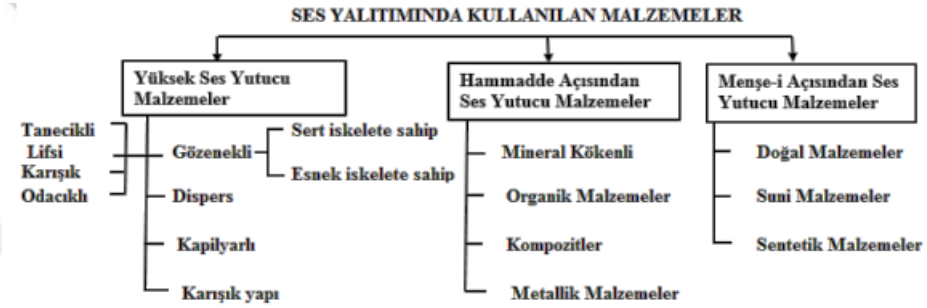


Şekil 1.5. Ses Yalıtımı (Dönmez, 2017)

Özellikle kentleşmenin plansız yürüdüğü bölgelerde, gürültü insan sağlığına ve konforuna zarar veren etkenler arasındadır. Çevredeki bir fabrikanın çıkardığı rahatsız edici sesler, havaalanı çevresindeki yerleşim bölgesinde duyulan şiddetli gürültü, satıcı sesleri, trafik sesleri, komsudan gelen konuşmalar insanlar tarafından farklı dozlarda gürültü olarak algılanarak, rahatsız edici olabilir. Bazı alanlarda ise, düşük ses seviyesi, isin en önemli gereklerinden biridir. Radyo yayıncılığında ve müzik stüdyolarında ses seviyesinin düşük olmasının gerekmesi, bir hastanede hastalara sessiz ve huzurlu ortam oluşturmak, okulda dışarıdan gelen gürültüleri kesmek, bina yapım aşamasında çözülmesi gereken sorunlardır. Yapılarda huzurlu bir ortam sağlamak için gürültüyle mücadele etmek gerekir.

İnsan sağlığına zarar veren ve istenmeyen ses olarak tanımlanabilen gürültü kişide fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına neden olur. Bu nedenle günümüzde gürültüyü engellemede çok çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerden biri de kapalı alanlarda kullanılan ses yalıtım amaçlı ses emici

materyallerdir. Piyasada farklı hammaddeler kullanılarak ses emici materyaller üretilmektedir (Kocatepe, 2019). Ses yalıtımında kullanılan malzemelerin sınıflandırılması Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Ses Yalıtımında Kullanılan Malzemler (Erol, 2019)

1.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Metodlar

Zaman içerisinde istatistiksel analizlerin öneminin artmasıyla birlikte deneysel tasarım yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak deneysel tasarımlarda sistemi etkileyen faktörlerin artmasıyla birlikte deney sayısının da artması büyük bir sorun halini almıştır. Deney sayısının azaltılması için geliştirilen ilk metot Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta daha az deney yapılarak ayrıntılı analizler yapılabilmektedir. Böylelikle hem deney maliyeti düşmekte hem de zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler. Buna, prosesin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı minimize ederek yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dâhildir (Savaşkan ve ark., 2004).

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir (Sarpkaya., 2014).

Taguchi tarafından önerilen ve gürbüz tasarımda gürültü faktörleri etkisini en küçükleyen üç farklı amaca uygun formülasyonlar bulunmaktadır. Bunlar; en küçük en iyi, en büyük en iyi, nominal en iyi fonksiyonlarıdır (İç ve ark., 2016; Özgür, 2013)

En Küçük En İyi Olduğu Durumda;

$$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2) \tag{1.3}$$

En Büyük en iyi olduğu durumda;

$$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2}) \tag{1.4}$$

Nominal en iyi olduğu durumda;

$$\frac{S}{N} = -10\log\frac{y^{-2}}{S^2} \tag{1.5}$$

$$\ddot{y} = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \tag{1.6}$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - y)^2 \tag{1.7}$$

Son zamanlarda Taguchi Yönteminin daha gelişmiş düzeyi olan Gri Taguchi Metodu mühendislik çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Gri Sistem Teorisi, yeni bir sistem olarak 1982 yılında Deng tarafından geliştirilmiş ve bilinmeyen üzerine kurulmuş iki veya daha fazla bileşenin ilişkisinin yönüne odaklanmıştır (Feng ve Wang, 2000). Gri İlişkiler Analizine Dayalı Taguchi Metodu (Grey Taguchi) çok farklı endüstrilerde kullanılan bir metottur. Bu metot kullanılarak çok kriterli karar verme metotları çoklu performans tepkilerini tekli tepkilere çevirir. (Sarpkaya, 2014)

1.6. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Bu tez çalışmasında bazalt elyaf ile güçlendirilmiş, dolgu malzemeleri ile takviye edilmiş kompozitlerin ısı ve ses yalıtım özellikleri incelenmiştir. Bazalt elyafın yüksek yalıtım özelliği, yüksek mukavemet değerleri ve artan kullanım oranı ile kompozit teknolojisinde yüksek oranda kullanılan cam elyafın üretimi için gerekli olan malzemelerin doğada zamanla azalacak olması, kompozit üretiminde en çok tercih edilen karbon elyafın ise çok yüksek maliyete sahip olması sebebiyle bazalt tekstil malzemesi takviyeli kompozitler üretilmiştir. Literatürde mikro ve makro boyutlarda malzemelerinin kompozitlere dolgu malzemesi olarak ilave edilmesiyle kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirildiği görüldüğü için de bazalt kompozite farklı oranlarda Al_2O_3 ve SiC dolgular eklenmiş ve kompozite kazandırdığı özellikler incelenmiştir. Ayrıca karbon kumaş takviyeli kompozitler de üretilmiş ve böylece bazalt kompozitlerle, karbon kompozitlerin partikül takviyeli ve takviyesiz örneklerinin ısı ve ses yatılımı özellikleri karşılaştırılmıştır. Seçilen parametrelerin sonucunda, optimum ısı ve ses yalıtım özelliği verecek tekstil bazlı kompozit yapılar elde edilmiştir. Bu kompozit yapılarda ısı ve ses yalıtım özelliği eşit ağırlıklı ürün, ses yalıtım özelliği iyi ürün ve ısı yalıtım özelliği iyi ürün gibi üç optimizasyon çıktısı elde edilmiştir.

Literatürde bazalt tekstil yapısı takviyeli kompozitler ile yapılan çok sayıda çalışma bulunmakta olup, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin araştırılması ile ilgili

çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ayrıca nano partikül dolgulu ve bazalt tekstil takviyeli Kompozit çalışmasına rastlanmamıştır. Bu açıdan yapılan bu çalışma literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

Bu deneysel çalışmada, son yıllarda mühendislik çalışmalarında kullanımının yaygınlaştığı Gri İlişkilere dayalı Taguchi Metodu (Gri Taguchi) kullanılmıştır.

Tez çalışmasında öncelikle bazalt tekstil yapısı takviyeli, karbon tekstil yapısı takviyeli, nano ve mikro parçacık ilaveli kompozitlere ve tekstil alanında yapılmış olan ve Gri Taguchi metodu kullanılan literatür çalışmaları özetlenmiştir.

Daha sonra deneysel çalışmada kullanılan bazalt kumaş ve karbon kumaşın, karakterizasyon işlemleri sonucunda elde edilen mekanik ve fiziksel özelliklerine yer verilmiş ve bu malzemelerden Taguchi Deney Tasarımına uygun şekilde 18 adet kompozit plaka üretimine yönelik bilgiler verilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen kompozitlerin ısı iletim ve ses yalıtım katsayıları ile seçilmiş mekanik özellikleri araştırılmış ve sonuçlar literatür ile ilişkilendirilerek yorumlanmıştır. Araştırma sonuçları istatistiksel olarak da analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda optimum kompozit seçenekleri belirlenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozitlerle İlgili Çalışmalar

Mıstık ve Merdan (2012) yapmış oldukları çalışmada bazalt ve cam dokuma kumaş ve fındık kabuklarının takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla polimer matrisli kompozitler üretmişler ve bu kompozitlerin eğilme dayanımı ve ısı geçirgenliği değerlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda bazalt dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin cam dokuma kumaş takviyeli kompozitlere göre eğilme dayanımı ve ısı geçirgenlik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Cerny ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada farklı çalışma ısılarında bazalt elyaf ve cam elyafının mekanik özellikleri ve üretim değişikliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada düşük sıcaklıklarda çalışmalarda kristallenmenin arttığı ve bu kristallenmenin mekanik özelliklere olumsuz etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Velde ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada bazalt elyafların kompozitler için güçlendirici olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada bazalt elyaftan yapılan boruların, bazalt elyafının düşük ısı iletkenliğinden dolayı tuz ve parafinin tortu olarak kalmasının daha güç olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bazalt elyafın gerilme kuvvetini e camı ile kıyasladıklarında bazalt elyafın daha düşük bir gerilme kuvvetine ve daha yüksek bir modüle sahip olduğu, bazalt elyaf ile daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışmaya müsaade ettiğine, bazalt elyafın kuvvetli alkalilere daha dirençli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bazalt elyafın birçok kompozitte e camı yerine kullanılabileceği görülmüştür.

Gilewicz ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada bazalt elyaf içeren kumaş balyalarının büküm yüklemesi sırasında meydana gelen yapısal ve kimyasal değişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada metre kare kütlesi ve tekstil paketinde farklılık gösteren 3 farklı tip alüminize edilmiş bazalt elyafı kullanılmıştır. Dışı alüminyum ile kaplanmış bazalt elyafların sarılması esnasında her sarılma işleminin ilerleyen aşamalarında alüminyum kaplı yüzeyde meydana gelen

çatlakların arttığı, yapısının hem atkı hem de çözgü yönünde gözle görülür oranda bozulduğu görülmüştür. Sarılma işleminden sonrasında da ısı iletkenliğinin de arttığı görülmüştür.

Deak ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada naylon 6 matrisi ile güçlendirilmiş bazalt elyaf kompoziti ile silane çiftleme ajanının ara yüz özelliklerinin güçlendirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmanın sonunda silane ajanının, cam elyaflarında olduğu gibi bazalt elyaflar ile de çalışılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Adekunle ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada esnek kumaşların ve lyocell ile güçlendirilmiş vücut temelli teromestlerin darbe ve eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada vücut temelli bir termoset reçine lyocell elyaf ve dört farklı örgü özelliğine sahip esnek kumaşlarla güçlendirilmiş ve dış katman kalınlığı çalışılmış ve darbe ve eğilme özellikleri araştırılmıştır. Dimi örgülü kumaşlarda dış katman kalınlığı artsa da esneme gücünde ve esneme modülünde herhangi bir artışa sebep olmamıştır. Bez ayağı ve dobby örgüler daha fazla güçlendirici bir etki yaratmış ve artan dış katman kalınlığı ile daha fazla esneme özelliği kazandırmıştır. Yapılan çalışmada lyocell liflerine bazalt elyafı da karıştırılmış ve daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Ayrıca bazalt elyaflı kompositlerin daha düşük su çekme özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Lopresto ve ark. (2011) e-camı ve bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemeleri karşılaştırmış ve e-camı takviyeli numunelerin daha yüksek çekme yükü taşırken, eğme ve basma yüklemelerine karşı bazalt elyaf takviyeli numunelerin daha yüksek mukavemet gösterdiklerini, çekme, eğme ve basma yüklemeleri karşısında bazalt elyaf takviyeli kompozit numunelerin elastik modüllerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gümülcine ve ark. (2012) izoftalik poyester matrisli sürekli e camı ve bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada öncelikle kompozitler üretilmiş ardından bu kompozitlere çekme, üç nokta eğme ve darbe testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmada elyaf hacminin artmasının mukavemeti artırdığı, bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin, e-camı

takviyeli kompozitlere göre çekme, eğme ve darbe deneylerinde çok daha iyi özellikler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Valentino ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada bazalt elyaftan dokunmuş kumaş kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada D2/2 ve D3/1 örgü kumaşlar kullanılmış ve D2/2 kumaşların atkı ve çözgü yönünde sıklık ve mukavemet değerlerinde değişimler gözlenmiş, D3/1 örgü de değişim gözlenmemiştir.

Parasath ve Krishan (2013) yaptıkları çalışmada basalt-jute kumaşlarla güçlendirilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada sadece jüte elyafıyla güçlendirilmiş kompozitlerin en yüksek mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Sabet ve ark. (2015) bazalt elyafların gerilme özelliklerine termal işlemlerin etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda bazalt kompozitin kuvveti 300-400 C'de yapılan çalışmalarda 20 dakika sonrasın gözle görülür oranda düştüğü, 400-500 C'de ise düşüşün 5 dakika sonra başladığı görülmüştür.

Fragassa ve ark. (2013) yeşil kompozitin (bazalt+vinilester matriks vs.) hibridlenmesini incelemiştir. Yapılan çalışmada bazalt elyafın cam elyaftan daha iyi gerilme direnci gösterdiği, bazalt elyafa daha esnek elyafların eklenmesiyle bazalt elyafın gevrekliğini ve kırılganlığının giderilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

De Rosa ve ark. (2011) cam elyaf/bazalt kumaşlardan oluşan katlı kompozitin darbe sonrası mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada farklı oranlarda ve farklı katlarda bazalt ve cam elyafı içeren kumaşlardan kompozit üretilmiş ve bu kompozitleri yırtılma mukavemeti ve akustik emisyon özellikler belirlenmiştir.

Ovalı (2015) hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde bazalt kumaşı takviye malzemesi, farklı boyutlardaki pomza taşını da dolgu malzemesi olarak kullanarak polipropilen matrisli kompozitler üretmiş ve bu kompozitlerin ısı ve ses yalıtım özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda pomza taşı kullanılmasının

kompozitin ısı ve ses yalıtım özelliklerimi iyileştirdiği ancak gerilme dayanımı, elastikiyet modülü ve uzama özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür.

2.2. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerle İlgili Çalışmalar

Vaidya ve Subramanian (1991) yaptıkları çalışmada kaplanmış karbon elyafı ile güçlendirilmiş cam seramikleri incelemişlerdir. Yapılan çalışmada karbon elyaf ile seramik matrisini güçlendirme işlemi yapılmasının en önemli probleminin karbonun oksitlenmesi problemi olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada karbon elyafın gümüş ve nikel ile sarılarak seramik matrise ilave edilmesi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kopma modülünün gümüş kaplı karbonda en yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yunus ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada kesme kaynaklı hizalama ile kısa lifle güçlendirilmiş 3 boyutlu seramik üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada %1 karbon elyaf ile güçlendirilmiş sıralı numunelerin esneme dayanımının %90 oranında arttığı görülmüştür.

Frueh ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada boron ve nitrit kullanarak yüzeyi sarılan karbon ile güçlendirilmiş seramikler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada seramikte oluşacak bir kırığın, seramik içeresindeki elyafe ulaştığında bu bölgede paslanma oluşturacağı ve karbon elyafının da oksitlenmeye müsait olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada bor ve nitritle sarılan karbon elyafının da oksitlenmeye daha dayanıklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Niu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada karbon dokuma kumaş ve karbon nanotüp içeren kompozitlerin yüksek gerilim oranları altında davranışlarını karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada dokuma karbon kumaş ile %0,5-1-1,5 oranlarında karbon nanotüp içeren epoksi kompozitlere karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda karbon nanotüp ilavesinin kompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Korkmaz ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada karbon elyaf takviyeli ve karbon nanotüp ile modifiye edilmiş epoksi kompozitlerin mekanik ve termal

özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada çok karbonlu karbon nanotüp içeren epoksi kompozit ve takviye elemanı olarak da 4/4 dimi karbon kumaş kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda karbon nanotüp takviyesinin kompozitin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Fan ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada üç boyutlu karbon dokuma kumaş takviyeli epoksi kompozitlerin elektro manyetik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada T300-3 K, T300-6 K ve T700-12K isimli üç farklı karbon dokuma kuşam kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda kompozitlerin üçünün de elektro manyetik dalgaları absorbe etme özelliklerinin çok iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaya ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada dokunmuş karbon elyaf takviyeli kompozitlerin sönümleme davranışlarının çevresel koşullar altında değişimini incelemişlerdir. Kompozitler vakum destekli reçine infüzyon tekniği ile üretilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, 1 yılsonunda mekanik özelliklerin en fazla değiştiği çevresel durumun gün sıcaklıkları ile birlikte su altı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca aynı çevresel koşullar altında karbon elyaf takviyeli kompozitlerin, aramid takviyeli kompozitlere oranla daha az sönüm oranı gösterdiği belirtilmiştir.

Yaman ve ark. (2007) hazırladıkları çalışmada karbon liflerinin özellikleri ve kullanım alanlarını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada karbon liflerinin çeşitleri, güçlü özellikleri ön plana çıkarılmış, karbon lifleri ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiş ve karbon liflerinin kullanım alanları anlatılmıştır.

2.3. Bazalt-Karbon Elyaf İçeren Çalışmalar

Francis ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada bazalt elyafı incelemişler ve bazalt elyafın karbon elyafı ile büyük uyum gösterdiği ve karbon ve seramik elyafı ile kullanıldığında en iyi sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Rajkumar ve ark. (2014) hazırladıkları çalışmada bazalt elyafın karbon elyafı ile yüksek uyumluluk özelliğine sahip olduğunu, bazalt elyafa düşük miktarda karbon elyafı eklenmesi ile yüksek verimlilikte kumaşlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bazalt elyafa küçük miktarda karbon elyafı ekleyerek, maliyeti çok

fazla artırmadan yüksek elastik modüle sahip kumaşlar elde edilebileceğini belirtilmiştir. Yapılan çalışmada farklı özelliklerde reçinelere bazalt elyaf eklenmiş ve oluşturulan bazalt elyaflı reçine çubukların gerilme, patlama ve elastikiyet özellikleri karşılaştırılmıştır.

Gururaja ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada hibrid kompozitlerin kullanımının gün geçtikçe daha da yaygınlaştığını ve hibrid kompozit kullanımının farklı maddelerin iyi özelliklerinin kombinasyonunu sağladığını belirtmişlerdir. Hazırlanan çalışmada hibrid kumaşla güçlendirilmiş materyallerin iki şekilde hazırlanacağı, bu iki yolun ilkinin önce farklı elyaflardan oluşan kumaşa laminasyon yapılması ikincisinin ise kumaşlara ayrı ayrı laminasyon işlemi uygulanması olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada karbon ve cam hibrid kumaşların en kararlı materyaller olduğu belirtilmiştir. Karbon ve bazalt karışımlı kumaşların kullanımının hem karbon elyafının yüksek maliyetini azalttığı hem de yüksek mukavemetli kompozitler elde edilmesini sağladığı belirtilmiştir.

Subagia ve Kim (2013) yaptıkları çalışmada karbon elyafına bazalt elyafını eklemenin karbon elyafı ile güçlendirilmiş plastiklerin üretimini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada bez ayağı karbon ve bazalt elyaflar kullanılmış, on kat bazalt/karbon elyafına epoksi uygulanmış ve kompozit tablaları oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozitlerde kumaşların oranı %62'dir. Üç farklı hibrid laminant hazırlanmıştır. Birincisi en dışa karbon kumaşlar konulmuş, ikincisi bazalt kumaşlar en dışa karbon kumaşlar en içe konulmuş, üçüncüsü ise karbon ve bazalt kumaşlar değişik şekilde konulmuş ve bu 3 farklı kompozite çeşitli testler uygulanmıştır. En dışta karbon kumaş olan kompozitlerin esneklik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fazio (2011) yaptığı çalışmada bazalt elyafın karbon kumaşla çok uyumlu çalışabildiğini belirtmiştir.

Tabi ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada aynı numarada, aynı yüzey sıklığında, aynı yüzey işlemi görmüş bazalt, karbon ve cam elyafı kullanmış ve bazalt karbon karışımlı kumaşların mekanik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bazalt elyafın

çalışma sıcaklığının geniş olmasının büyük avantaj olduğu, bazalt elyaf eklemenin karbon kumaşların yüzey direncini arttırdığı gözlenmiştir.

Ferrante ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada bazalt ve karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi kullanmışlardır. Yapılan çalışmada sandviç kumaş ve araya eklenerek (intercalated) oluşturulan kumaş kullanılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda sandviç kumaşların daha iyi statik özellikler (esneklik ve makaslama) özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Araya eklenerek oluşturulan kumaşlarda ara yüzeylerin fazlalığının daha fazla darbe yok etme özelliği gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Lim ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada iki farklı çeşit karbon/bazalt/epoksi kumaşlar üretmişlerdir. Bu kumaşlardan birisi bazalt yüzeyli diğeri karbon yüzeyli kumaşlardır. Üretilen bu iki farklı kumaşın esneklik ve kırılma özellikleri test edilmiştir. Yapılan çalışmada karbon/bazalt/epoksi kumaşların esnekliğini kumaşların yerleşimine göre farklılık gösterdiği yüzeyde karbon olan kompozitlerin esnekliğinin daha fazla olduğu, kırılma dayanımının ise yüzeyde bazalt elyaf olan kompozitin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dorigato ve Pegoretti (2014) yaptıkları çalışmada karbon ve bazalt elyaflarla oluşturdukları hibrid kompozit kullanmış, bu kompozitin esneklik ve darbe özelliklerini test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda karbon kumaşa bazalt kumaş eklemenin darbe emme özelliğini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Seydibeyoğlu ve ark. (2012) bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme dayanım özelliklerini grafen nanopartikül ve karbon nanotüp kompozitler yardımıyla artırmaya çalışmışlardır. Bu doğrultuda %0,1 ve 0,5 katkılı grafen nanotüp ve karbon nanotüp içeren epoksi kompozitlere elle yatırma yöntemi ile bazalt dokuma elyaf üzerine nüfuz ettirilmiştir. Çalışmanın sonunda bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımlar artışlar meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

2.4. Al_2O_3 ve SiC Toz Katkılı Kompozitler Hakkında Çalışmalar

Ramesh ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada Al_2O_3 / SiO_2 / TiO_2 ile modifiyenin cam elyaf/epoksi kompozitin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada reçine içerisine aynı oranlarda 3 malzemeden de eklenmiş ve el yatırma yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Çalışmada $Si0_2$ nin kompozitin esneme gücü, esneme modülünü diğerlerine kıyasla daha fazla artırdığı tespit etmişler ve bunun da silisyum dioksitin daha küçük parçacıklardan meydana gelmesinden olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Sudheer ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda iki farklı doldurucu (filler) kullanarak cam elyaf / epoksi kompozitin mekanik ve kuru kayma dayanım davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada doldurucu olarak %7,5 oranında seramik ve %2,5 oranında katı lübrikant kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda seramik whisker ın tek başına katılmasıyla kompozitin sertlik, sürtünme katsayısı ve antiwear özelliklerini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Khan ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada epoksi kompozitlere düşük maliyetli karbon dolgu eklenmesinin kompozitin mekanik özellikleri ve iletkenliğine etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada dolgu maddesi olarak 2 farklı tür bio kömür farklı oranlarda kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda %2 oranında bio kömür kullanımında çekme dayanımının en yüksek olduğu belirtilmiştir.

Agarwal ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada silikon karbid dolgu kullanımının kesikli cam elyaf / epoksi kompozitlerin termo mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada 5 – 10 cm boyutunda cam elyaf kırpıntısı ve %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında SiC dolgusu kullanılarak numuneler üretilmiştir. Çalışmanın sonunda sertliği %15 e kadar arttığı, gerilme kuvvetinin %10 a kadar arttığı, esneme gücünün %10 a kadar arttığı, interlaminar yırtılma kuvvetinin dolgu maddesi eklenmesiyle hep arttığı, patlama mukavemetinin %15 e kadar arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Vaidya ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada cam elyaf / epoksi kompozitlerin farklı dolgu maddeleri eklenmesiyle ve farklı ısıl şartlarda mekanik davranışları ile ilgili literatürde yapılan çalışmaları incelenmiştir.

Kaybal ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada nano Al_2O_3 epoksi kompozitlerin gerilme ve sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada karbon elyafle güçlendirilmiş kompozitlere %1 – 5 arasında farklı oranlarda Al_2O_3 eklenmiş, iki farklı yöntemle kompozit oluşturulmuş ve bu kompozitlerin gerilme ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda; en iyi gerilme özelliğinin %2 Al_2O_3 eklenmesiyle ve %34-50 oranında karbon lifi eklenmesiyle elde edilmiştir.

Prasanna ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada cam – bazalt elyaf epoksi kompozite SiC (silikonkarbid) eklenmesinin kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada aynı oranlarda ve 4 kat olmak üzere cam elyaf ve bazalt elyaf kullanılmıştır. Hazırlanan kompozite % 0-2-4-6 oranlarında SiC eklenerek kompozit oluşturulmuştur. Yapılan testler sonunda esneme gücü, esneme modülü, tensil modülünün SiC ilavesiyle gözle görülür bir şekilde arttığı görülmüştür.

Zeng ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada karbon elyaf / epoksi kompozite nano pariküller eklenmesinin kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada nano partikül kullanımının, kompozitin katmanlar arası yırtılma mukavemeti artırdığı tespit edilmiştir.

Bulut ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada SiC kullanımının karbon/epoksi ve kevlar/epoksi kompozitlerin titreşim analizine etkisini incelemişler ve yapılan çalışma sonucunda SiC kullanımının iki kompozitte de önemli bir etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada %0-5-10-15-20 oranlarında SiC iki farklı kompozite de uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonunda bazalt kompozitlere %10, kevlar kompozitlere ise %15 SiC ilavesinin en büyük iyileştirmeyi sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Gün ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada seramik toz parçacıkları ilavesinin cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini

incelemişlerdir. Çalışmada %5-10-15 oranlarında Al_2O_3- TiO2 ilavesiyle kompozit üretilmiştir. Çalışmanın sonunda çekme dayanımı ve elastisite modülünün %5 seramik toz parçacığı ilavesinde en yüksek olduğu ve seramik toz parçacığı oranının %5'in üzerine çıkmasıyla bu değerlerin düştüğü gözlenmiştir.

Ghosh ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada seramik tozlarıyla ve silikon karbid ile güçlendirilmiş cam elyaf kompozitlerin mekanik davranışlarını analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada %3 + 3 ve %2 + 2 oranlarında Al_2O_3 ve SiC kullanılarak epoksi ve polyester kompozitler hazırlamışlarıdır. Yapılan testler sonucunda SiC dolgusunun ilave edilmesiyle kompozitin sertlik ve büzülme özelliklerinin iyileştiği, çift eksenli gerilme ve yırtılma mukavemetinin poliester reçine kullanımında daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Baptista ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada epoksi matrisli kompozitlere grafit dolgu maddesi eklemenin kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada %5 ile %30 arasında grafit ve %7,5 – 10 – 11,5 oranlarında karbon lifi kullanılarak kompozitler hazırlanmış ve bu kompozitler gerilme ve üç noktalı eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Çalışma sonunda grafit ve karbon lif oranının artmasıyla gerilme mukavemetinin arttığı, grafit ilaveli karbon/epoksi kompozitlerin kovansiyonel karbon/epoksi kompozitlerden çok daha iyi mekanik özellikler gösterdiği sonucunda ulaşılmıştır.

İslam ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada nano kül ve karbon nanotüp ilaveli karbon lifi ile güçlendirilmiş kompozitlerin karakteristiğini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit %2 kül ve %0,3 karbon nanotüp ile güçlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonunda esneme kuvveti, modülü ve bozulmada gerginlik değerinin iki takviye malzemesinde de benzer oranlarda arttığı görülmüştür.

Mohanty ve ark. (2021) dağınık kısa cam karbon elyaf ile güçkendirilmiş alümina nano parçacıkları takviyeli kompozitlerin basınç kaybını analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada alümina nano partikül oranı %2 de sabit tutulmuş ve kompozit içerisindeki cam ve karbon elyaf oranı %1-2-3-4-5-10 ve 15 olarak değiştirilmiştir.

Yapılan çalışma sonunda karbon elyafın cam elyaftan daha iyi sonuçlar gösterdiği, alümina nano partikül eklemenin de kompozitin özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Gün ve Asi. (2017) yaptıkları çalışmada seramik parçacıkları takviyeli cam elyaf elyaf ile güçlendirilmiş kompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada takviyesiz, %5-10 ve 15 oranlarında ve farklı boyutlarda takviyeli kompozitler üretilmiş ve kompozitlerin esneme özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda gerilme kuvveti ve esneme kuvvetinin dolgu maddesi kullanımıyla düştüğü, esneme özelliklerinin seramik parçacıkları eklenmesiyle %7 arttığı görülmüştür.

Konstantin ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada bazalt elyaf ile güçlendirilmiş epoksi kompozitlere silane ve nano silica katkısının etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada bazalt elyafın yüzeyi silane ve nano silica ile kaplanmış ve bazalt elyafın gerilme mukavemetinin %23 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Özsoy (2015) yaptıkları çalışmada epoksi reçineli kompozite mikro ve nano seramik parçacıkları eklemenin kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada mikro dolgu maddeleri (Al_2O_3 – TiO2 ve uçucu küller) %10-30 oranında, nano dolgu maddeleri ise %2,5-10 oranında ilave edilmiştir. Yapılan testler sonucunda gerilme mukavemetinin nano partiküller kullanımında arttığı, gerilme modülünün hem nano hem mikro partiküllerin kullanımında arttığı, kırılmada uzama değerinin dolgu maddesi kullanımıyla azaldığı, esneme modülünün belirli seviyeye kadar dolgu maddesi kullanımıyla arttığı ancak belirli seviyeden sonra azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Modak ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada alüminyum pudra kullanımının cam elyaf kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada %5-15 oranlarında alüminyum pudra kullanarak el yatırma yöntemiyle kompozitler hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda alüminyum pudra kullanımının mekanik özellikleri etkilediği, kompozitin yoğunluk ve boşluk oranının arttığı, gerilme mukavemetinin ise azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Naslain (2005) yaptığı çalışmada seramik matris kompozitlerle ilgili incelemeler yapmıştır. Yapılan çalışmada seramiklerin genellikle yüksek erime noktası, sertlik, tokluk, düşük yoğunluk ve paslanma direnci özellikleri gösterdiği ancak bunun tersine yük altında kırılgan olduğu ve güvenilmez olduğu belirtilmiştir. Çalışmada seramik matris kompozitlerin mekanik davranış, ısıl yalıtkanlık, boyutsal stabilite, sürtünme oksitli atmosfer ve nükleer radyasyonun seramiğe etkisi de dahil, asıl faydaları sunulmuş ve tartışılmıştır. Son olarak da seramik matrisli kompozitlerin roket motoru, uzay aracı, ısıl korunma, aerojet motoru, gaz türbinleri, fren sistemleri ve yük ısı nükleer reaktörlerde kullanımı incelenmiştir.

Güven (2017) hazırladığı yüksek lisans tezinde bazaltlardan işlenebilir cam seramik üretim imkanlarının araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada Konya yöresinden elde edilen doğal volkanik bazalt kayaçlarından işlenebilir cam-seramik malzemelerin üretim imkânları araştırılmıştır. Bazalta işlenebilirlik özelliklerini kazandırmak amacıyla sabit oranda K_2O ve değişen oranlarda MgF_2 ilavesi yapılarak üç farklı bileşim hazırlanmıştır. Sinterleme ve ergitme yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak cam-seramikler üretilmiştir. Çalışmanın sonunda bazalt elyaf oranının artmasıyla kırılganlığın azaldığı, cam dönüşümünün ve kırılma tokluğu değerinin arttığı ve işlenebilirliğin bazalt oranın artmasıyla zorlaştığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Fomichev ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada bazalt elyaf sinterleyerek seramik matris üretmiş ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonunda bazalt seramiğin asit dayanımı doğal bazalttan daha yüksek olduğu görülmüştür. İncelemeler bazalt seramik üretmenin prensibinin bağlayıcı bileşen olmadan homojen dağılmış bazalt tozlarıyla üretim olduğunu göstermiştir.

Pãcurariu ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada bazalttan üretilmiş cam seramiklerin kristalizasyon prosesinin termal analizler vasıtasıyla kinetik çalışmasını yapmışlardır. Bazalttan üretilmiş cam seramikler yüksek mekanik ve aşınma dayanımının yanında kimyasal stabilite göstermekte olup, bazıları zirai araçlarda da

kullanılabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada 3 farklı kimyasal bileşene sahip bazalt kullanılmıştır.

Longbiao (2015) hazırladığı çalışmada oksitli atmosfer ve yüksek sıcaklıklarda elyafle güçlendirilmiş seramiklerin kopma stresi ve döngüsel yükleme altındaki hasar artışını incelemiştir. Yapılan çalışmada sürekli elyaf takviyeli seramik-matriks kompozitleri, elyaflerin seramik matrislere dâhil edilmesiyle, sadece yüksek-sıcaklık mukavemetinden faydalanmakla kalmayıp, aynı zamanda kırılma eğilimini de azalttığı belirtilmiştir.

Yilmaz (2004) hazırlamış olduğu çalışmada cam seramik matrisli kompozitlerde numune kalınlığının ısıl yayınıma etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada 1-2,3 mm arasında dört farklı cam seramik matrisli kompozit kullanılarak bunların ısıl yayınımları ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda ısıl yayınım değerlerinin numune kalınlığı ile arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Gemi ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada çift duvarlı karbon nanotüp ve 3 farklı seramik nanopartikül (Fe_2O_3, SiO_2 ve Al_2O_3) kullanarak kompozitleringüçlendirilmesini incelemişlerdir. Yapılan testlerin tamamında dolgu maddelerinin kullanım oranı %0,5'te sabit tutulmuştur. Yapılan çalışmanın sonunda eklenen bütün dolgu malzemelerinin, en fazla Fe_2O_3 ile SiO_2'de olmak üzere, gerilme mukavemetini artırdığı, uzamanın parça ilavesinden etkilenmediği, en büyük yeniden üretilebilirliğin ise Al_2O_3' te olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2.5. Taguchi Gri İlişkiler Analizi İle İlgili Yapılan Mühendislik Çalışmaları

Sarpkaya ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada kumaş kopma mukavemetinin optimizasyonunu gri ilişkiler analizine dayalı Taguchi metodu kullanarak yapmışlardır. Yapılan çalışmada şardon durumu, boya şiddeti ve örgü yapısı olmak üzere 3 farklı seviyede 3 faktörlü deney numuneleri kullanılmıştır. Çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak 27 deney yapılmış ve Taguchi Metodundaki L9 ortogonal deney dizaynı kullanılarak elde sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada Gri İlişkiler Analizine dayalı Taguchi Metodunun proses basamakları ve

kullanılan formüller açıklanmış ve bu yöntem kullanılarak en iyi özelliklere sahip kumaş belirlenmiştir.

Sarpkaya (2014) hazırlamış olduğu doktora tezinde Taguchi Metoduna dayalı Gri İlişkiler Analizi kullanarak haşıl prosesinin optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada 3 seviyeye sahip iplik numarası, 6 seviyeli iplik sevk hızı ve 3 seviyeli viskozite değerlerine sahip numuneler hazırlanmış ve Taguchi Metodu ve Gri İlişkiler Analizine Dayalı Taguchi Metodu ile haşıl prosesinin optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır.

Kopac ve Krajnik (2007) yan frezeleme parametrelerinin Gri Taguchi Metodu kullanarak robot dizaynı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada optimum proses parametre kombinasyonunun bulmak için L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal dizisi kullanılmıştır.

Türksoy ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada denim kumaşlarının aşınma sonrası renk farklılığı için kaplama işlem parametrelerini Taguchi metodu kullanarak optimize etmeye çalışmışlardır. Deney çalışmasında her biri üçer parametreli sıkma basıncı, kaplama maddesi viskozitesi, kumaşın geçiş hızı, kurutma sıcaklığı ve atkı sıklığı olmak üzere 5 parametre seçilmiş ve L27 (3^5) ortogonal dizisi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimum işlem parametreleri tespit edilmiştir.

Kurşun ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada gri ilişkiler analizi kullanılarak bütünleştirilmiş hata türü ve etkilerini analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada buğday eleme makinesi üretimindeki hataların tespiti ve bu hataların önlenebilmesi için alınacak önlemlerin optimizasyonu amacıyla öncelikle klasik Hata Türü ve Etkileri analiz yapılmış daha sonra da hem eşit ağırlıklı hem de farklı ağırlıklara sahip olduğu varsayımı ile Gri İlişkilere Dayalı Taguchi Metodu kullanılarak risk öncelik sayıları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Su ve ark. (2011) open-end rotor ile üretilmiş penye ipliklerinin kalitesinin Grey Taguchi Metodu kullanarak artırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada rotor hızı, çıkış hızı, çekme silindiri hızı ve besleme hızı parametreleri 3'er seviyede seçilmiş ve L9 (3^4) ortogonal dizisi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada iplik mukavemeti ve düzgünsüzlüğü optimizasyonu için gerekli olan faktörlerin seviyeleri belirlenmiştir.

Hasani ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada open-end iplik üretimi için proses parametrelerinin optimizasyonunu gri ilişkilere dayalı Taguchi Metodu ile yapmışlardır. Bunun için 3'er seviyeli iplik numarası, rotor hızı, rotor çapı, açıcı tipi ve navel cinsi olmak üzere 5 faktör belirlemişler ve L27 (3^5) ortogonal dizisi kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonunuda open end iplik üretimi için optimum parametreler tespit edilmiştir.

Subbaya ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada SiC dolgulu bazalt kompozitlerin aşınma özelliklerinin Grey Taguchi metodu ile optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada %0 - 5 - 10 oranlarında SiC dolgusu kullanılarak, 3'er faktörlü tane büyüklüğü, yükleme ve kayma mesafesi faktörleri ile kompozitler üretilmiş ve L9 ortogonal dizisi ile aşınma oranı, aşınma katsayısı ve sertlik özellikleri optimize edilmeye çalışılmıştır.

Tzeng ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada tornalama operasyonun, çoklu performans karakteri ile ve gri ilişkiler analizi kullanarak optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada kesme hızı, besleme oranı, kesme derinliği ve kesme sıvısı oranı olmak üzere 4 faktör belirlenmiş ve bu faktörlerin üçer seviyesi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Gri İlişkiler Analizi kullanılarak mamul kalitesinin tornalama işlemi esnasındaki parametrelerden nasıl etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan malzemeler; kompoziti oluşturmak için kullanılan takviye tekstil malzemeleri, reçine ve reçineye eklenecek dolgu malzemeleri olup, Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Takviye tekstil yapıları; 200 g/m^2 ağırlığında ve 2/1 sıklıkta bez ayağı bazalt kumaş ve karbon kumaştır. Kumaş kalınlıkları TS7128 EN ISO 5084:1998 standarına göre ölçülmüş olup, bazalt kumaşın kalınlığı 0,19 mm, karbon kumaşın kalınlığı ise 0,3 mm'dir. Reçine malzemesi epoksi olup, reçineye dâhil edilen dolgu malzemeleri ise nano Al_2O_3 ile micro SiC partikülleridir. Kompozit reçinesi tez çalışmasında sabit değişken olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kompozit Malzemeleri ve Özellikleri

No	Kod	Adı	Yapısal Özellikleri
1	B	Bazalt Kumaş	200 g/m^2, 100 cm en Bezayağı Örgü
2	K	Karbon Kumaş	200 g/m^2, 100 cm en Bezayağı Örgü
3	NP1	Al_2O_3	Nano Partikül toz (28 nanometre)
4	NP2	SiC	Micro Partikül toz (3 micrometre)

Çalışmada kullanılan bazalt kumaş ve karbon kumaş ile sertleşticisi içerisinde olan (LR 160 marka) epoksi reçine ile (LH 160 marka) kobalt hızlandırıcı *Dost Kimya Endüstriyel Hammadeler San. Tic. Ltd. Şti.*'den temin edilmiş olup, bu malzemeler Çukurova Üniversitesi Bireysel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimindeki FDK -2017-8490 nolu proje kapsamında alınmıştır.

Çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan nano Al_2O_3 malzemesi Çin'de faaliyet gösteren *Hongwu International Group Ltd'den,* micro SiC malzemesi ise İzmir firması olan *Ege Nanotek* firmasından satın alınmıştır.

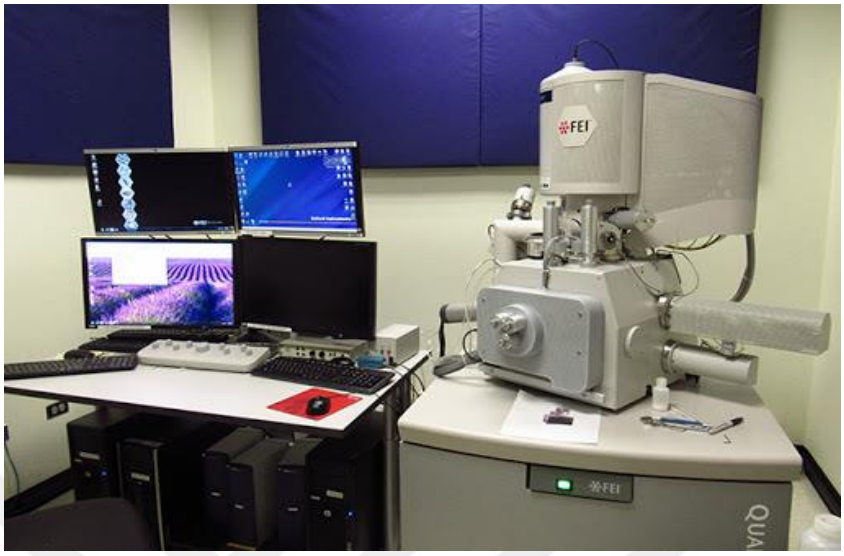
Karekterizasyon:

Çalışmada kullanılan bazalt kumaş ve karbon kumaşlar karakterizasyon işlemine (Çukurova Üniversitesi ÇÜMERLAB Merkez Laboratuvarı/Adana) tabi tutulmuştur. Karakterizasyon işlemi için öncelikle Şekil 3.1'de gösterilen Quorum Q150R S makinesi ile 2 numuneye de kaplama işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Quorum Q150R S Kaplama Makinesi

Daha sonra kaplama işlemine tabi tutulan numunelerin, Şekil 3.2.'de gösterilen FEI Quanta FEG650 test cihazında SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) (Scanning Electrone Microscobe) ve EDS analizleri yapılmıştır.

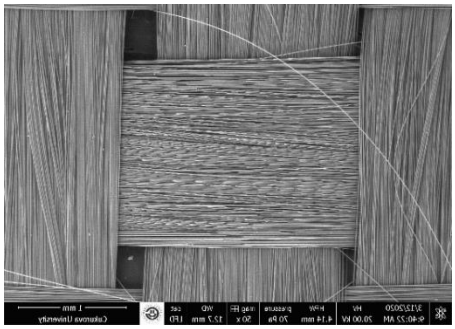


Şekil 3.2. FEI Quanta FEG650 Test Cihazı

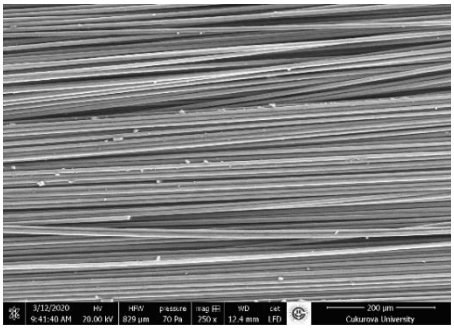
3.1.1. Karbon ve Bazalt Kumaşlar İle Dolgu Malzemelerinin SEM Analizleri

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) tarafından numuneler üzerine gönderilen elektron demeti numunenin yüzeyine çarpar, bu elektron demeti numunedeki atomlarla etkileşir ve farklı sinyaller üretir. Üretilen bu sinyaller analiz cihazı tarafından alınır ve numune hakkında bilgiler edinilir.

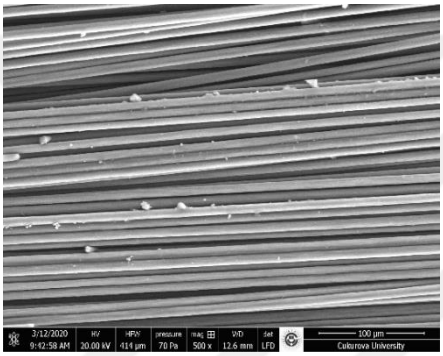
Çalışma kapsamında karbon kumaşın SEM analizleri sonucunda alınan 50-250-500-1000 kat büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.3.'de gösterilmektedir. Bu büyütme işlemi yapılırken 20.00 kV Hv, 70 Pa basınç ve 12,4 mm WD özellikleri kullanılmış olup, SEM cihaz özelliklerinin göründüğü kısım (örnek olarak Şekil 3.3-d için) Ek-1'de geniş görüntü olarak verilmiştir.



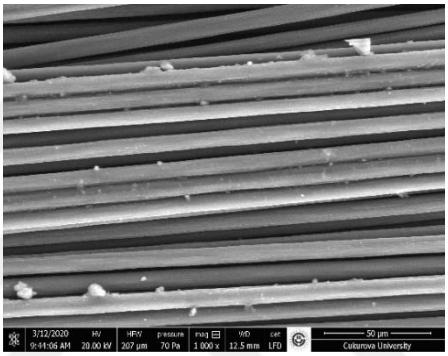
a) Karbon Kumaş 50 x büyütme



b) Karbon Kumaş 250 x büyütme



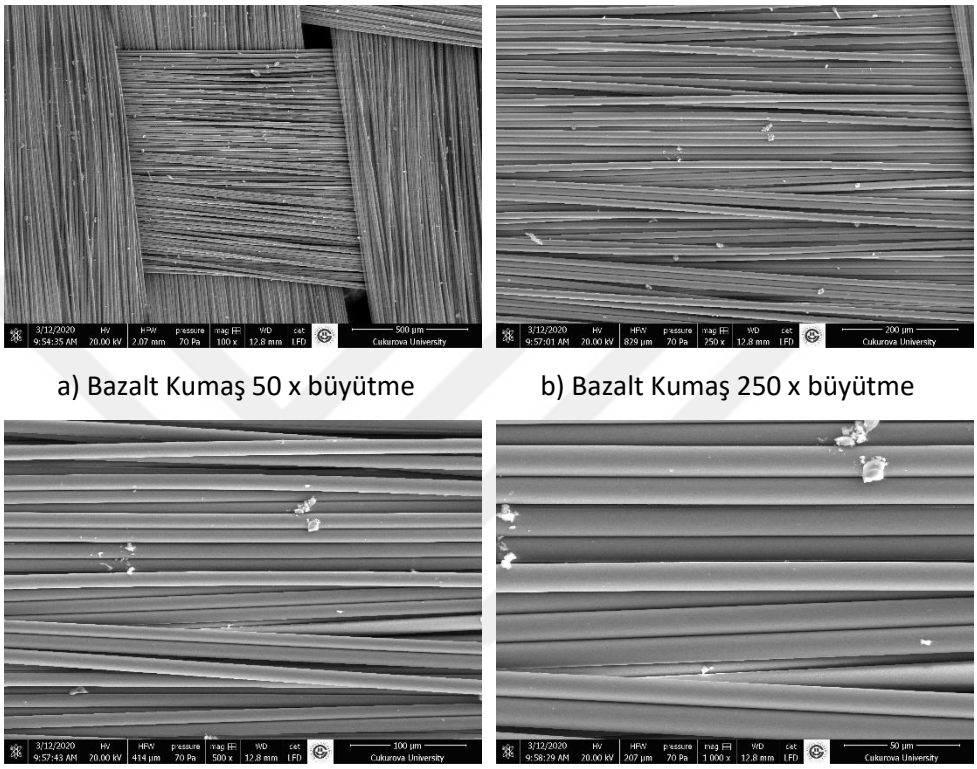
c) Karbon Kumaş 500 x büyütme



d) Karbon Kumaş 1000 x büyütme

Şekil 3.3. Karbon Kumaşın SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme

Çalışma kapsamında kullanılan bazalt kumaşların SEM analizleri de Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.



a) Bazalt Kumaş 50 x büyütme b) Bazalt Kumaş 250 x büyütme

c) Bazalt Kumaş 500 x büyütme d) Bazalt Kumaş 1000 x büyütme

Şekil 3.4. Bazalt Kumaşın SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme)

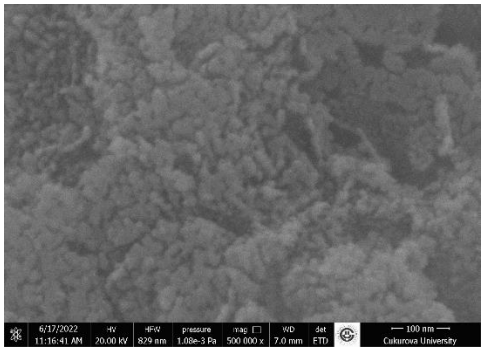
Yapılan SEM analizlerinde kullanılan karbon kumaş ve bazalt kumaş içerisindeki liflerin çapı Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Takviye Tekstil Malzemelerinin Elyaf Çapları

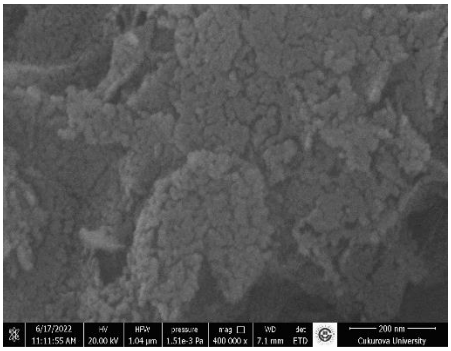
Sıra No	Takviye Tekstil Malzemesi	Elyaf Çapı
1	Karbon Kumaş	7µm
2	Bazalt Kumaş	12 µm

Yapılan literatür çalışmalarında kullanılan tekstil takviye malzemelerinin çapları incelendiğinde de bu çalışmada kullanılan tekstil takviye malzemelerinin çaplarına yakın malzemeler kullanıldığı görülmüştür. Örneğin Tabi (2016) yaptığı çalışmada 13 µm bazalt elyaf, Cerny ve ark. (2007) yaptığı çalışmada 8-19 µm arasında değişen bazalt lifler, Deak (2010) yaptığı çalışmada 14,2 µm çapa sahip bazalt lifler kullanmıştır.

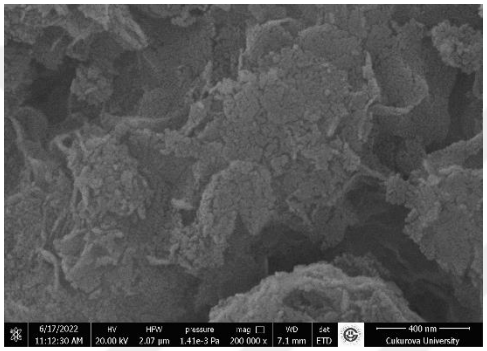
Çalışma kapsamında kullanılan Al_2O_3 (Alümina) dolgu malzemesinin SEM analizleri de Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Tez kapsamında kullanılan Al_2O_3 nano ölçekte olduğu için 100.000, 200.000, 400.000 ve 500.000 kat büyütme yapılarak malzemelerin SEM analizleri yapılmıştır. SEM analizler kapsamında yapılan ölçümlerde Al_2O_3 malzemesinin partikül büyüklüğü de 20-30 nm olarak ölçülmüştür.



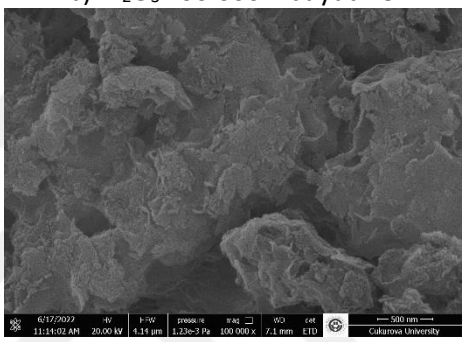
a) Al_2O_3 500.000 x büyütme



b) Al_2O_3 400.000 x büyütme



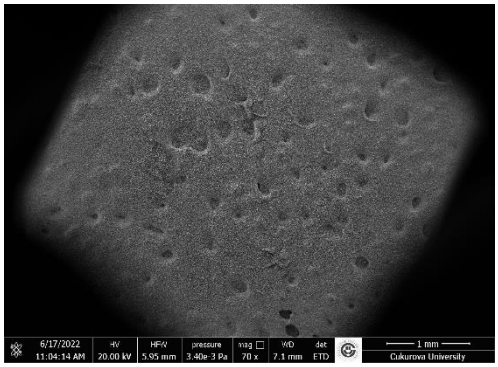
c) Al_2O_3 200.000 x büyütme



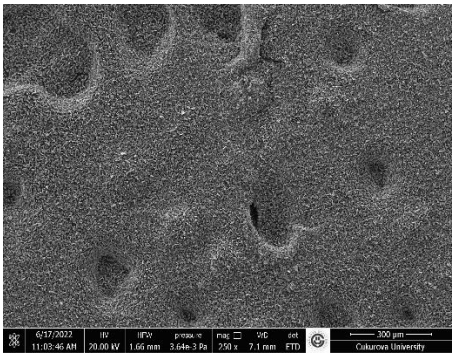
d) Al_2O_3 100.000 x büyütme

Şekil 3.5. Al_2O_3 (Alümina) SEM Analizleri (a) 500.000 kat büyütme, (b) 400.000 Kat Büyütme, (c) 200.000 Kat Büyütme, (d) 100.000 Kat Büyütme)

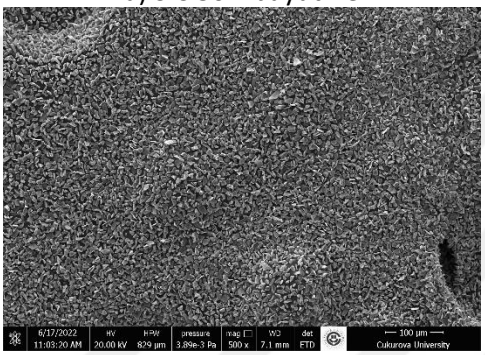
Çalışma kapsamında kullanılan SiC (Silika) dolgu malzemesinin SEM analizleri de Şekil 3.6'da gösterilmektedir. SEM analizler kapsamında yapılan ölçümlerde SiC malzemesinin partikül büyüklüğü da 3-10 µm olarak ölçülmüştür. Analiz sonucunda SiC malzemesinin köşeli yapısı görülmektedir.



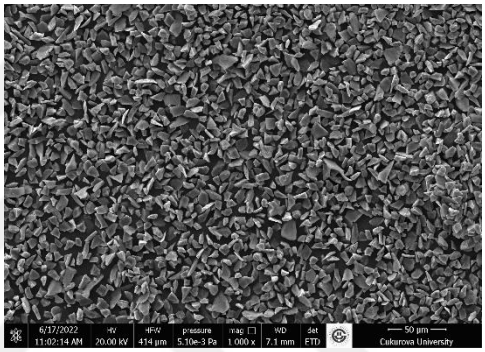
a) SiC 50 x büyütme



b) SiC 250 x büyütme



c) SiC 500 x büyütme



d) SiC 1000 x büyütme

Şekil 3.6. SiC SEM Analizleri (a) 50 kat büyütme, (b) 250 Kat Büyütme, (c) 500 Kat Büyütme, (d) 1000 Kat Büyütme)

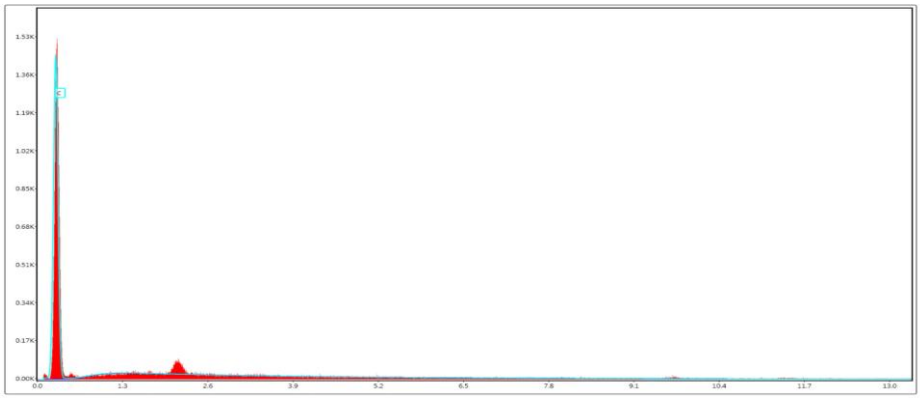
3.1.2. Karbon ve Bazalt Kumaşların EDS Analizleri

EDS analizi, numune üzerine taramalı elektron demeti gönderilerek numune içerisindeki elementlerin ne olduğunu ve elementlerin numune içerisindeki yüzdelerini gösteren analizdir.

Yapılan çalışmada kullanılan karbon kumaşı oluşturan bileşikler taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla kumaşın yüzeyi analiz edilmiş olup, kumaşın içerisinde %100 karbon elementi bulunmuştur. Bu sonuç Çizelge 3.3. ve Şekil 3.7.'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Karbon Kumaşın Bileşimindeki Elementler ve Oranları

Element	% Ağırlık	% Atomik	Net Int.
C	100	100	510,5

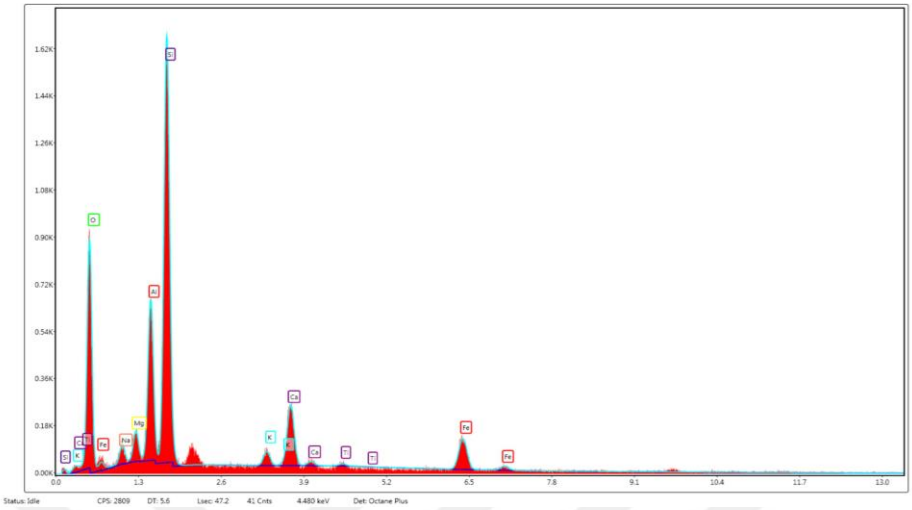


Şekil 3.7. EDS Analizi Sonucu Karbon Kumaşın Bileşenleri

Çalışma kapsamında kullanılan bazalt kumaşlar da taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve içerisinde hangi elementlerden hangi oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 3.4 ve Şekil 3.8'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Bazalt Kumaşın Bileşimindeki Elementler ve Oranları

Element	% Ağırlık	% Atomik	Net Int.
O	41.71	58.05	331.89
Na	2.34	2.26	28.83
Mg	2.17	1.98	47.73
Al	10.07	8.31	268.34
Si	27.08	21.47	736.5
K	1.29	0.73	28.29
Ca	6.74	3.74	128.01
Ti	0.27	0.13	4.46
Fe	8.34	3.32	79.06



Şekil 3.8. Bazalt Kumaşın EDS Analiz Sonuçları

3.1.3. Al_2O_3 ve SiC'nin EDS Analizleri

Yapılan çalışmada kullanılan Al_2O_3 ve SiC'nin içeriğindeki bileşikler taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla analiz edilmiş olup, Al_2O_3 bileşiği içerisindeki Al ve O elementlerinin oranları Çizelge 3.5'te; SiC bileşiği içerisindeki Si ve C oranları da Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Al_2O_3 Bileşimindeki Elementler ve Oranları

Element	% Ağırlık	% Atomik	Net Int.
C*	37,68	48,06	181,33
O	42,52	40,7	336,37
Al	19,8	11,24	777,62

Burada gösterilen C (karbon) elementi bileşiğin içerisindeki değildir. Bu element analiz esnasında numunenin altında konulan karbon parçasıdır. Ayrıca SiC bileşiğinin EDS analizinde C elementinin olmamasının sebebi ise analiz cihazında bu C elementinin numune altına konulan karbon parçacığı olmasındandır.

Çizelge 3.6. SiC Bileşimindeki Elementler ve Oranları

Element	% Ağırlık	% Atomik	Net Int.
Si	100	100	1241,66

3.2. Metot

Yapılan kapsamlı literatür taramasının ardından çalışmada hangi takviye tekstil malzemesi ve nano ve mikro dolgu partiküllerinin kullanılacağına karar verilmiş ve deney planı tasarlanmıştır.

3.2.1. Deneysel Çalışma Planı ve İstatistiksel Metodlar

Deneysel çalışmada değişkenler (faktörler) ve planlanan değerleri Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında 6 seviyeli takviye tekstil malzemesi ve 3'er seviyeli dolgu malzemeleri kullanılmıştır. Burada B, bazalt kumaşı; K, karbon kumaşı; bu harflerin yanındaki sayılar da takviye tekstil malzemesinin kompozit içerisindeki ağırlıkça oranını göstermektedir. Örneğin B40, ağırlıkça %40 oranında bazalt kumaş içeren kompoziti; K50 ağrılıkça %50 oranında karbon kumaş içeren kompoziti sembolize etmektedir. Ayrıca bu kodlamalarda testler esnasında B1, B2 gibi kısaltmalar da kullanılmıştır. Burada B1 %30 bazalt kumaş, %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numuneyi göstermektedir. Çizelge 3.7'deki Alümina için P1 ifadesi, SiC için ise P2 ise kodu kullanılmıştır. Bu malzemelerin kompozit içerisindeki miktarları toplam kompozit ağırlığı üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.7. Deney Planı – Girdi Değişkenleri

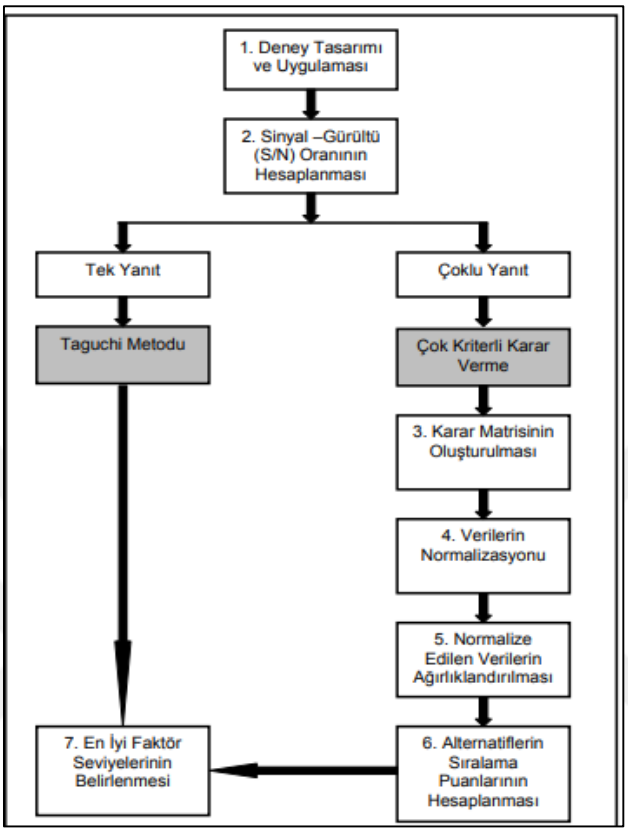
Faktör No (Harf Kodu)	Adı	Seviye	Birimi	Değer (Kompozitteki Ağırlıkça Payı)
1(A)	Takviye Tekstil Malzemesi	6 (B,K)	-	B30, B40, B50, K30, K40, K50,
2(B)	Al_2O_3 Dolgu	3 (P1)	%	0, 2, 4
3(C)	SiC Dolgu	3 (P2)	%	0, 5, 10

B: Bazalt K: Karbon

Kompozit malzemesini oluşturmak için deneyde kullanılacak reçine epoksi olarak belirlenmiştir. Epoksi reçine içerisine %25 oranında hızlandırıcı eklenmiş, dolgu malzemeleri ve takviye tekstil malzemeleri ile birleştirilerek kompozit oluşturulmuştur.

Taguchi Deney Planı:

Tez çalışmasında seçilmiş girdi parametreleri (faktörleri) kullanılarak optimize edilmek istenen çıktı parametreleri için Taguchi metodu kullanılmıştır. Herbir çıktı optimizasyonu için Taguchi Metodu ısı ve ses yalıtım özelliklerinin her ikisinin optimizasyonu için Gri İlişkilere Dayalı Taguchi Metodu kullanılmıştır. Her iki metot benzer olmakla birlikte ayrı ayrı yöntemler olup, metot işleyişi Şekil 3.9'da verilmiştir (Sarpkaya,2014).



Şekil 3.9. Gri Tabanlı Taguchi Metodu Uygulama Prosedürü (Sarpkaya,2014)

Çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı yapılmış olsaydı 6x3x3 olmak üzere toplam da 54 adet numune üretilmesi gerekecekti ancak bunun yerine öncelikle bütün test sonuçları için Taguchi Metodu ve daha sonra da ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri için Gri İlişkilere Dayalı Taguchi Metodu kullanılarak yapılan deney planlarında L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal deney dizaynı ile 18 adet numune üretimi yeterli olmuştur. Çizelge 3.8'de 1. Sütun deney numunesinin kodunu, 2. Sütun deneysel çalışmada kullanılan deney kodunu ve diğer 3 sütun ise faktörlerin Taguchi planındaki kodlu (faktörlerin değer olarak karşılığı) halini göstermektedir. Bu deney tasarımı Çizelge 3.8.'da gösterilmektedir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere deneysel çalışmada 18 farklı Kompozit malzeme oluşturulmuştur.

Çizelge 3.8. L18 (Karma 3-6 Düzey) Ortogonal Deney Tasarımı

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al2O3)	C (SiC)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)

Çalışmada çıktı değişkenleri ısı iletim katsayısı, ses iletim kaybı, izod darbe testi, çekme özelliklerinin tayini testi ve üç nokta eğilme testi olup bu çıktı değişkenleri için Taguchi yaklaşımıyla elde edilen sinyal gürültü (Signal/Noise, S/N) oran hesabı formülleri ile test standartları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Üretilen kompozitin yalıtım özelliklerinin mukavemet değerlerinin iyi olması hedeflendiği için yapılan testlerde ısı iletim katsayısının düşük, ses iletim kaybı ile çekme değeri ile üç nokta eğilme testi sonucunun da yüksek olması beklenmiştir. Bu beklentiler doğrultusunda de S/N oran grupları da en yüksek en iyi ve en düşük en

iyi olacak şekilde belirlenmiştir. Sinyal gürültü oranlarına ait tanımlamalar Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Çalışmada Elde Edilecek Çıktılar İçin Kullanılacak Taguchi Metodu S/N Oranları ve Deney Standartları

Yanıt Değişkenleri	**Deney standardı**	**Seçilen S/N Oranı**	
Ses İletim Kaybı	ASTM E-2611:2009	En Yüksek- En İyi	$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2})$
Isı İletim Katsayısı	TS EN 12667	En Düşük- En İyi	$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2$
İzod Darbe Mukavemet Tayini	ASTM D 256, 2005	En Yüksek- En İyi	$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2})$
Çekme Özelliklerinin Tayini Testi	DIN EN ISO 527-1	En Yüksek- En İyi	$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2})$
Üç Nokta Eğilme Testi	DIN EN ISO 178	En Yüksek- En İyi	$\frac{S}{N} = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2})$

Çıktı değişkenleri için Sinyal/Gürültü (S/N) oran grupları belirlendikten sonra Gri İlişkilere dayalı Taguchi Metodu uygulaması yapılmıştır.

Gri İlişkilere Dayalı Taguchi Metodu

Gri sistem teorisi, 1982 yılında J. Deng tarafından geliştirilmiştir. Deng'in geliştirmiş olduğu gri sistem teorisinin temelinde bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilginin "gri eleman" olarak tanımlanması yer almaktadır. Karar göstergelerini belirleyebilmek için gri bölge çözümlemesi kullanılmaktadır. "Gri ilişki" belirli bir sistem içerisinde iki eleman ya da iki alt sistem arasında değişen ilişkinin ölçümünü ifade etmektedir. Analiz edilen elemanlar arasındaki benzerlikler ya da farklılıklar

"gri ilişki" olarak isimlendirilmektedir. Sistem geliştirme süreci içerisinde iki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, gerçekleşen değişimler uyumlu olarak oluşuyorsa elemanlar arası daha yüksek, aksi durumda ise daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır. Gri ilişki çözümlemesi, sistemi temsil edecek göstergelerin seçiminde ve sıralanmasında kullanılmaktadır (Eşme ve ark., 2009).

Gri İlişkiler Analiz Metodunun hesaplama adımları aşağıdaki gibidir (Sarpkaya, 2014).

1. Referans Serinin Belirlenmesi

n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun.

$$x_0 = \left(x_0(1), x_0(2), x_0(3), \ldots, x_0(n)\right) \tag{3.1}$$

2. Verilerin normalize edilmesi

Serinin elemanları için "En Yüksek-En İyi" durumunda normalizasyon matrisi Eşitlik (3.2), En Düşük-En İyi durumunda ise eşiklik (3.3)'deki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \tag{3.2}$$

$$x_i(k) = \frac{max\ x_i(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \tag{3.3}$$

3. Normalize edilmiş serinin referans serisine olan uzaklık matrisi Eşitlik (3.4)'e göre hesaplanır

$$\Delta_{oi}(k) = \left| x_0(k) - x_j(k) \right| \tag{3.4}$$

4. Uzaklık matrisi hesaplanmış serinin Eşitlik (3.5)'e göre gri ilişkiler katsayı matrisi elde edilir.

$$\varepsilon\left(x_0(k), x_i(k)\right) = \frac{\Delta_{\min} + \xi\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi\Delta_{\max}} \tag{3.5}$$

5. Bu adımda çıktıların performansa olan etkileri (ağırlıkları) belirlenir. Bu çalışma kapsamında eşit ağırlıklar belirlenmiştir.

Çizelge 3.10. Çıktı Parametrelerinin ağrılık seçimi

	AĞIRLIKLAR
Ses İletim Kaybı	0,5
Isı iletim katsayısı	0,5

Ağırlıklar belirlendikten sonra Gri İlişkiler Derecesi Eşitlik 3.6 ile hesaplanır. Gri ilişkiler Derecesi büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu sıralama sonucunda en büyük Gri İlişkiler Dereceye sahip deney kombinasyonu, en iyi çoklu performans karakteristiğine sahiptir. Daha sonra Gri İlişkiler Derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenir.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \tag{3.6}$$

Eğer; performansa etkileri farklı derecede (ağırlıklarda) ise hesaplamada bu ağırlıklar da dikkate alınmalıdır. Ağırlıklı Gri İlişki Derece hesaplaması için Eşitlik 3.7 kullanılır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} W_k \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \tag{3.7}$$

$$\sum_{1}^{n} W_k = 1$$

6. Bu adımda ise hesaplanan Gri ilişkiler Derecesi büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu sıralama sonucunda en büyük Gri İlişkiler Derecesine sahip deney kombinasyonu, en iyi çoklu performans karakteristiğine sahiptir.

7. Gri İlişkiler Derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenir.

8. ANOVA testi yapılır. F değeri en yüksek olan faktör proses performansına etkisi en yüksek olan faktör olarak tespit edilir.

ANOVA Testi

Varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA), üç ya da daha fazla grup ortalaması arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Amaç, deneyi etkileyen faktör veya faktörlerin etkisinin belirlenmesidir. Deneyi etkileyen yalnız bir tane faktör olduğunda bir yönlü varyans analizi kullanılmaktadır (Çelik ve Şenoğlu, 2016). Bu çalışmada yapılan varyans analizi ile kompoziti oluşturmada kullanılan takviye tekstil malzemelerinin ve dolgu malzemelerinin kompozitin ısı ve ses yalıtım ile mekanik özelliklerini nasıl etkiledikleri bulunmuştur.

9. S/N oranları minitab programından hesaplanır. Önerilen deney koşulu için doğrulama deneyi yapılır.

Doğrulama Deneyi:

Taguchi deney tasarımını kullanarak yapılan çalışmalarda amaç optimal sonuçlara ulaşmaktır. Bu sonuç, bazen tasarımda verilen mevcut deneylerden herhangi birisi olabilirken bazen de tasarımın önerdiği deney sonucu olabilmektedir.

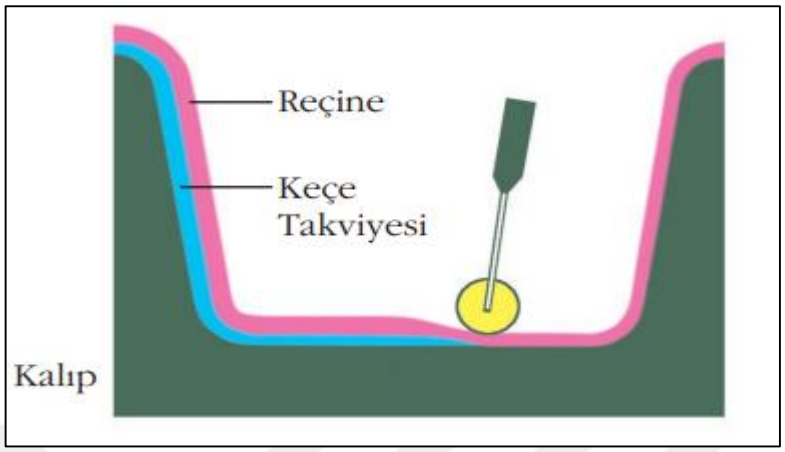
Bu nedenle doğrulama deneyinin yapılması gerekmektedir (Düzyol, 2016). Doğrulama deneyinde, deney analiz sonucunda seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deney doğrulama deneyidir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur (Taylan, 2009).

Doğrulama deneyleri için Eşitlik 3.8 kullanılmıştır. Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{3.8}$$

3.2.2. Kompozit Plaka Üretimi ve Numune Kesimi

Kompozit üretimi için kullanılan el yatırma yöntemi düşük üretim adetlerinde yaygın kullanımı olan, ilk zamanlardan beri endüstride sürekli gelişime açık olan ve üzerinde çalışılan üretim yöntemlerinden olmuştur. Çizelge 3.6.'da verilen deney tasarımına göre kompozit plakaların üretimi el yatırma metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem bir kalıba elle yerleştirilen elyaflara/kumaşlara bir rulo veya fırça ile reçine emdirilmesi sonucunda kalıbın şeklinin verilmesi işlemidir (Şekil 3.10). Parçanın şekli kalıbın şekli tarafından tayin edilir ve kalıp yüzeyi tipik olarak parçanın dış yüzeyiyle temas halindedir. Kullanılacak kalıp düz bir levha olabileceği gibi sonsuz kenarlardan ve eğrilerden de oluşabilir (Durgun, 2014).



Şekil 3.10. El Yatırma Yöntemi Şematik görüntü

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan epoksi reçine, hızlandırıcı ve deney numunelerinin içerisinde oluşturulduğu kalıp ve deneylerde kullanılan kompozit malzemeler (reçine, hızlandırıcı, rakle, kalıp ayırıcı vb. gibi), bazalt ve karbon kumaşlar ile Al_2O_3 ve SiC Şekil 3.11.'de gösterilmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında %75 epoksi, %25 hızlandırıcı kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki deney planına uygun olarak, toplam kompozit ağırlığı üzerinden yüzdeler hesaplanarak kullanılacak malzemeler tartılmış ve bir kap içerisinde elle en az 2 dakika olacak şekilde karıştırılmıştır. Karıştırılan reçine karışımı numune üzerine elle uygulanmış ve tek katlı kompozit plakalar elde edilmiştir. Üretilen kompozit plakaların kalınlıkları TS 7128 EN ISO 5084:19988 standardına göre ölçülmüş olup, ortalama kalınlık değerleri her bir numune için EK-2'de bir çizelge halinde verilmiştir (Kalınlık değerleri 0,35-0,8 mm aralığındadır). Takviye malzemesi olan kumaşlar bez ayağı dokuda olup, aynı materyalden oluşmuştur ve kompozit plakalar üretilirken atkı ve çözgü şeklinde özel bir yön belirlemesi yapılmamıştır.



a) Kalıp (30*30 cm)



b) Epoksi reçine ve Sertleştirici



c) Bazalt Kumaş



d)Karbon Kumaş



e) Al_2O_3 (Alümina)



f) SiC (Silisyum Karbür)

Şekil 3.11. Deney Numunelerinin Üretimi İçin Kullanılacak Kalıp ve Malzemeler

3.2.2.1. Numune Kesimi

Çalışma kapsamında el yatırma yöntemi ile üretilmiş olan numuneler lazer kesim cihazında test standartlarında belirtilen ölçülerde kesilmiştir. Lazer kesim cihazında kesim yapılırken karbon elyaf içeren numunelerin kesilmesi, bazalt elyaf içeren numunelerin kesimine kıyasla daha zor olmuştur ve makinenin hızı düşürülerek kesilmiştir. Lazer kesim makinesi Şekil 3.12.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Lazer Kesim Makinesi

3.2.3. Testler

Çalışmada üretilen kompozitlerden, Çizelge 3.11.'de gösterilen standartlarda belirtilen numune boyutlarına göre numuneler hazırlanmış ve testler uygulanmıştır.

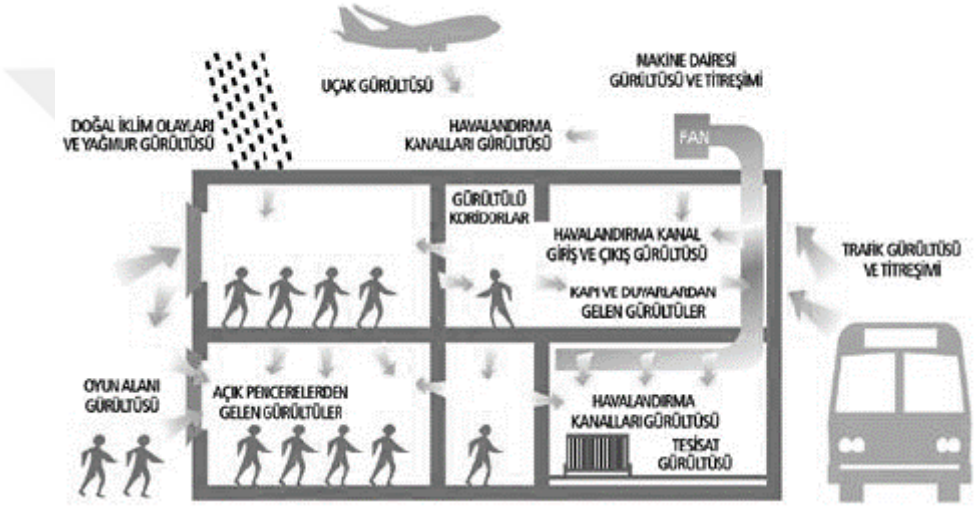
Çizelge 3.11. Çalışmada Yapılan Testler

Test adı	Deney standardı	Numune Sayısı	Numune boyutları (cm)	Cihaz adı ve modeli
Ses İletim Kaybı	ASTM E-2611:2009	3	3 * 3	Empedans Tüp
Yapı Malzemeleri ve Mamullerinin Isıl Performansı – Mahfazalı Sıcak Plaka ve Isı Akış Sayacı Metotlarıyla Isıl Direnci Tayini	TS EN 12667	3	30*30	Thermtest Cihazı
İzod Darbe Mukavemet Tayini	ASTM D 256, 2005	5	8*1	Zwick Roell Hıt5 Darbe Deneyi Test Cihazı
Çekme Özelliklerinin Tayini	DIN EN ISO 527-1	8	15*2	Zwick Roell Z010
Elyaf Takviyeli Kompozitler İçin Üç Nokta Eğilme Özelliklerinin Tayini	DIN EN ISO 178	5	8*1,5	Zwick Roell Z010

3.2.3.1. Ses İletim Kaybının Belirlenmesi

Ses, uygun bir ortam içerisinde (hava, su vb.) bir yerden başka bir yere, sıkışma ve genleşmeler şeklinde ilerleyen bir dalgadır. Dolayısıyla ses bir basınç dalgasıdır (Aydemir, 2013). Ses bulunduğu ortamda tıpkı su dalgaları gibi dalgalar halinde yayılır ve bu yayılmanın hızı bulunduğu ortama göre değişim gösterir. Ses dalgaları harmonik dalgalar olmak suretiyle sinüs eğrisi ile ifade edilmektedir. Bu eğrinin birim zamanda verilen bir noktadan geçen tepe, çukur veya dalga üzerindeki

herhangi bir noktanın sayısına frekans denilmekte ve birimi Hertz (Hz) olarak ölçülmektedir. İnsanların işitebildikleri frekans değerleri, 20Hz ile 20000Hz aralığında değişmektedir. Seslerin kulak tarafından ayırt edilmesinin en önemli unsuru frekansıdır ve ses frekansının değişimi, işitmede sesin incelmesi ve kalınlaşması şeklinde algılanmaktadır (Erol, 2019). Günlük hayatta insanlar birçok sese maruz kalmaktadırlar. Şekil 3.13'de bu ses kaynakları görülmektedir.

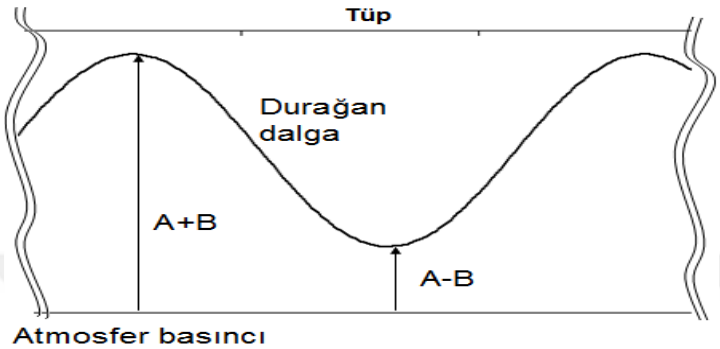


Şekil 3.13. Günlük Hayatta Maruz Kalınan Sesler (Aydemir,2013)

Günümüzde insanlar Şekil 3.13'de de gösterildiği gibi birçok sese maruz kalmaktadırlar. Oluşan bu gürültülerin yaşadığımız ortama daha az gelmesi ve bizim oluşturduğumuz gürültünün de başka ortamlara giderek diğer insanları rahatsız etmemesi için ses iletim kaybı değerleri yüksek olan ses yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.

Ses yutum katsayısı değerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi de empedans tüpü yöntemidir. Şekil 3.15'de gösterilen bu test cihazında tüp içerisine A genliğine sahip bir ses basınç dalgası gönderilir ve bu ses dalgası tüpün diğer ucundaki numuneye çarparak enerjisinin bir bölümünü kaybeder. Enerjisinin bir bölümünü kaybeden bu ses dalgası genliği B olarak tüp içerisine geri döner. Şekil

3.14'de de görüldüğü gibi oluşan bu durağan dalganın maksimum değer A+B, minimum değeri A-B olur.



Şekil 3.14. Durağan Dalga ve Durağan Dalganın Maksimum-Minimum Değeri



Şekil 3.15. Empedans Tüp

Burada ses yutum katsayısı gelen dalganın enerjisi A ile yansıyan dalganın enerjisi B arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Bu katsayı α ses basınç genliklerinin karesiyle orantılıdır. Bu bağlamda bu test cihazı için ses yutum katsayısı Eşitlik 3.8'de gösterilmektedir.

Ses iletim kaybı ise ses yutuculuk özelliğine sahip olan malzemelerin üzerine gelen ses dalgalarını yalıtma seviyesinin desibel (dB) cinsinden değeridir. Ses iletim kaybı Eşitlik 3.9, 3.10 ve 3.11'deki gibi gösterilmektedir (Günal, 2020).

$$TL = 10\log\left(\frac{W_S}{W_R}\right) = 10\log\frac{1}{r} \tag{3.9}$$

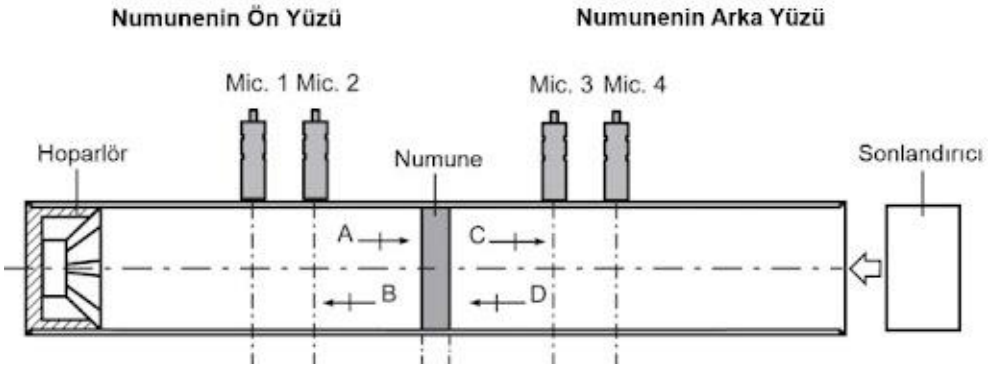
$$\tau = \frac{W_S}{W_R} \tag{3.10}$$

$$TL = L_S - L_R + 10\log\frac{A_M}{A_R} \tag{3.11}$$

şeklinde ifade edilir . Burada, :

L_S : kaynak odasındaki ortalama ses basıncı düzeyi, (dB)
L_R : alıcı odasındaki ortalama ses basıncı düzeyi, (dB)
A_M : incelenen malzemenin yüzey alanı, m^2
A_R : Alıcı odanın eşdeğer yutum alanıdır, m^2.

Ses iletim kaybının ölçülmesinde dört mikrofonlu empedans kullanılmaktadır. Bu yöntemde birincil tüp ve ikincil tüp arasına numune yerleştirilir ve sesin birincil ve ikincil tüp arasındaki numuneden iletilirken yaşadığı kayıp desibel cinsinden hesaplanır. Şekil 3.16'da dört mikrofonlu empedans tüp görülmektedir.



Şekil 3.16. Dört Mikrofonlu Empedans Tüp

3.2.3.2. Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi

Günümüzde dünya nüfusunun ve sanayileşmenin hızla artması ile birlikte tüketilen enerji miktarı da büyük oranda artmıştır. Bu enerji tüketimini karşılamak için enerji üretimini artırmanın yanı sıra çok önemli olan bir başka unsur da enerji kaybının azaltılmasıdır. Enerjinin etkin kullanılması için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de ısı enerji kaybını azaltmak için üretilen ısı yalıtım malzemeleridir. Isı yalıtım malzemeleri binalarda ısı kaybını yani içerden dışarıya ve dışarıdan içeriye ısı transferini önleyerek daha az enerji tüketilmesini sağlamaktadır.

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir. Diğer bir deyişle ısı yalıtımı, kışın ısınmak, yazın da serinlemek için harcadığımız enerjiyi azaltmak ve daha rahat ortamlarda yaşamak amacıyla binaların dış cephe duvarları, cam ve doğramaları, çatıları, döşemeleri ve tesisatlarında, ısı geçişini azaltan önlemlerin alınmasıdır. Bunu sağlayan malzemelere ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir (Turak, 2013). Isı yalıtım malzemelerinin en önemli özelliklerinden bir tanesi de ısı iletim katsayısının düşük olmasıdır. Isı iletim katsayısı ne kadar düşük olursa malzemenin ısı transferine izin vermesi de o oranda zor olmaktadır.

Isı iletim hesap değeri (lambda (λ) (Bazı yerlerde de (K)) değeri olarak da anılır), bir malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren değerdir ve bu değer her bir

malzeme için farklıdır. Bu değerler TS825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında tanımlanmıştır. Bir malzemenin ısı iletim hesap değeri ne kadar küçükse, ısıyı o kadar az iletir. Isı yalıtım malzemelerinde bu değerin olabildiğince sıfıra yakın olması tercih edilen bir durumdur. Diğer bir değişle bu değer küçüldükçe malzemenin ısı yalıtım performansı da o kadar artar.

1 m kalınlığındaki iki yüzey arasında 1 K sıcaklık farkı için 1 saatte taşınan ısı miktarına, o malzemenin ısı iletkenliği denir. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısının hesaplanması Eşitlik 3.12 kullanılmaktadır.

$$\lambda = \frac{Q*dx}{A*\Delta T} \tag{3.12}$$

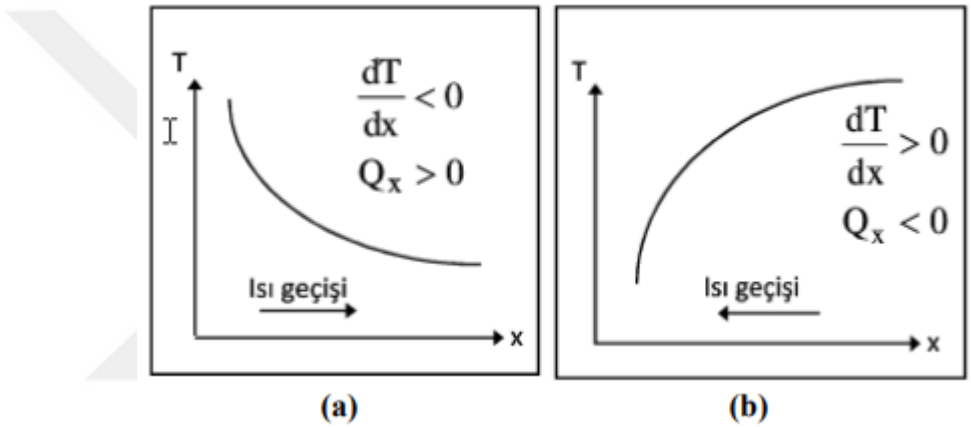
Burada;

Q = Isı akışı (W)
A = Isı geçişinin meydana geldiği alan(yüzey alanı) (m^2)
dx= Kompozit malzemenin kalınlığı (m)
ΔT= Sıcaklık farkı (^oC)
λ = Isı iletim katsayısı (W/m°C)

İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenmektedir. Fourier kanununa göre herhangi bir yönde (örneğin x yönünde) geçen ısı miktarı, x yönündeki sıcaklık gradyanı (sıcaklık değişim miktarı) dT/dx ve ısı geçiş yönüne dik alan A ile orantılıdır (Turak, 2013). Fourier kanununun matematiksel ifadesi;

$$Qx = -kA = \frac{dT}{dx} \tag{3.13}$$

şeklindedir. Burada; Qx, x yönünde ve bu x yönüne dik A alanı üzerinden geçen ısı miktarıdır. Orantı sabiti k, ısı iletim katsayısı olarak adlandırılır ve maddenin bir özelliğidir. Eşitlik (3.13)' daki (-) işareti ısı geçiş yönünü belirlemektedir. Şekil 3.15.a'da görüldüğü gibi eğer sıcaklık x yönünde azalıyorsa dT/dx negatiftir ve ısı geçişi pozitif x yönünde olmalıdır. Şekil 3.17.b'de görüldüğü gibi eğer dT/dx pozitifse Qx negatif olur ve bu durumda da ısı akışı negatif x yönündedir (Turak, 2013)



Şekil 3.17. Sıcaklık Değişimine Bağlı Olarak Isı Geçiş Yönleri

Malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının, ısı iletim özelliklerinin belirlenmesinde birçok faktör önemli olmaktadır. Kompozit malzemelerin ısıl özelliklerini etkileyen faktörler şunlardır;

- Liflerin ısıl yalıtımı ve kumaş içerisindeki hava miktarı
- Kompozitin kalınlığı
- Liflerin kompozit içerisindeki dağılımı
- Kompoziti oluşturan elemanlar arasındaki ısı kaybı
- Sıcaklık, ortam nemi, ortamdaki havanın akışı gibi dış etkenler

Çalışma kapsamında yapılan ısı iletim katsayısının tespiti Erciyes Üniversitesi Merkez Laboratuvarında (TAUM) bulunan ısı iletim katsayısı tespiti test cihazında TS EN 12667 standardına göre Thermtest cihazında yapılmıştır. Bahse konu test cihazı Şekil 3.18'te gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Isı İletim Katsayısı Tespiti Test Cihazı

Şekil 3.18'de gösterilen Thermtest test cihazının fırın ünitesine konan kompozit malzemelere alt ve üst tabakaları arasında 20^{o}C sıcaklık farkı oluşturulmuş ve ısının malzeme arasından geçişi ölçülmüştür.

3.2.3.3. İzod Darbe Mukavemet Tayini

İzod darbe deneyi dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine sabitlenen numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikteki bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanması ve malzeme üzerinde meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için gerekli enerjiyi belirleme işlemidir (Bektaş ve ark., 2017).

Çalışma kapsamında İzod Darbe deneyi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında Zwick Roell

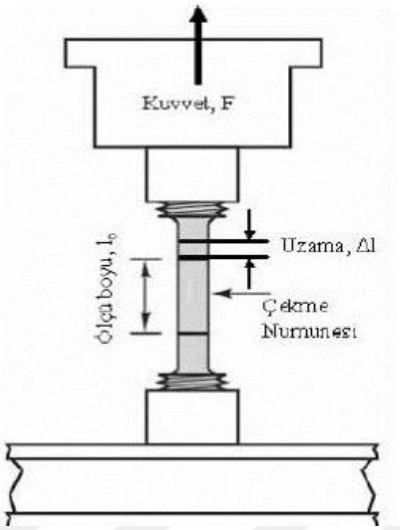
Hit5.5P test cihazında 5 joule enerji ile yapılmıştır. Söz konusu test cihazı Şekil 3.19'de gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Zwick Roell Hıt5 Darbe Deneyi Test Cihazı

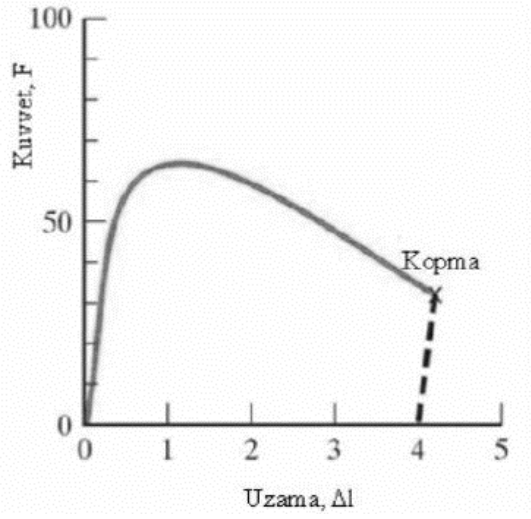
3.2.3.4. Çekme Özelliklerinin Tayini

Çekme özelliklerinin tayini testi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın test yöntemlerinden biridir. Çekme özelliklerinin tayini deneyinde malzemenin yatay yönde uygulanan kuvvete karşı dayanımı ölçülür. Hazırlanan test numunesi Şekil 3.20'de gösterilen makineye yerleştirilir ve numuneye yatay yönde kuvvet (yük) uygulanır.



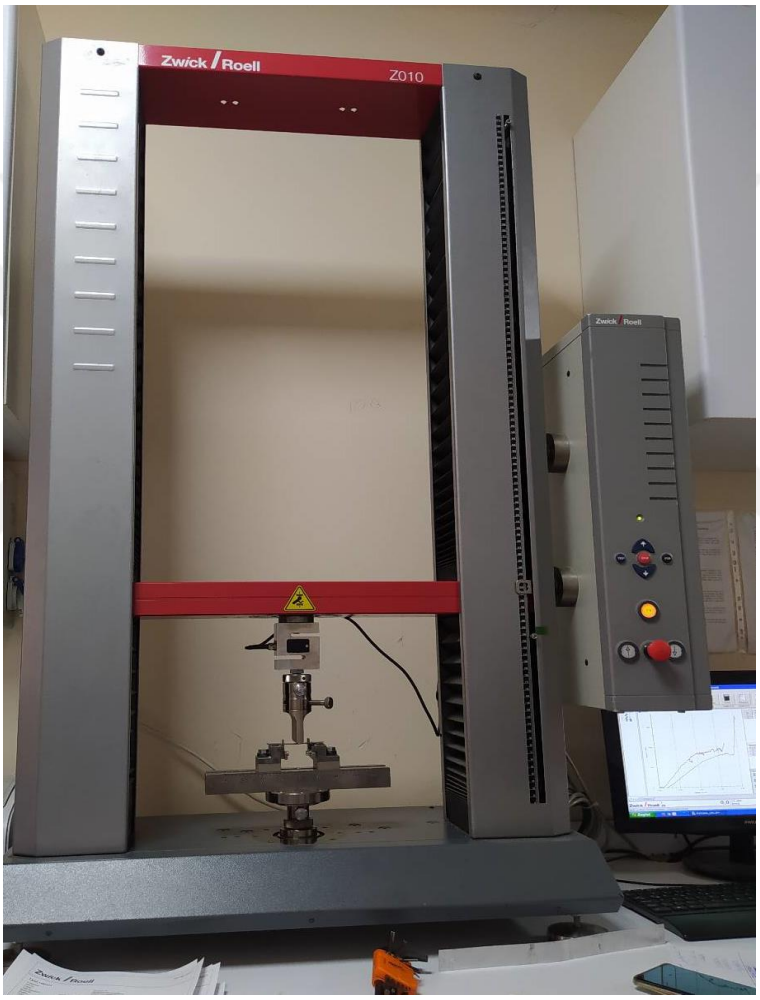
Şekil 3.20. Çekme Deney Makinesi

Numuneye uygulanan kuvvet karşısında numunedeki uzama ölçülür ve bu numune için Şekil 3.21'daki gibi bir gerilim - gerinim eğrisi elde edilir. Böylece numunenin sünekliği, rijitliği ve mukavemeti belirlenir.



Şekil 3.21. Gerilim-Gerinim Eğrisi

Çalışma kapsamında Çekme Özelliklerinin Tayini Testi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında Zwick Roell Z010 test cihazında 5 mm/min makine hızında ve 0,1 MPa önyükleme ile yapılmıştır. Bahse konu test cihazı Şekil 3.22'de gösterilmektedir.

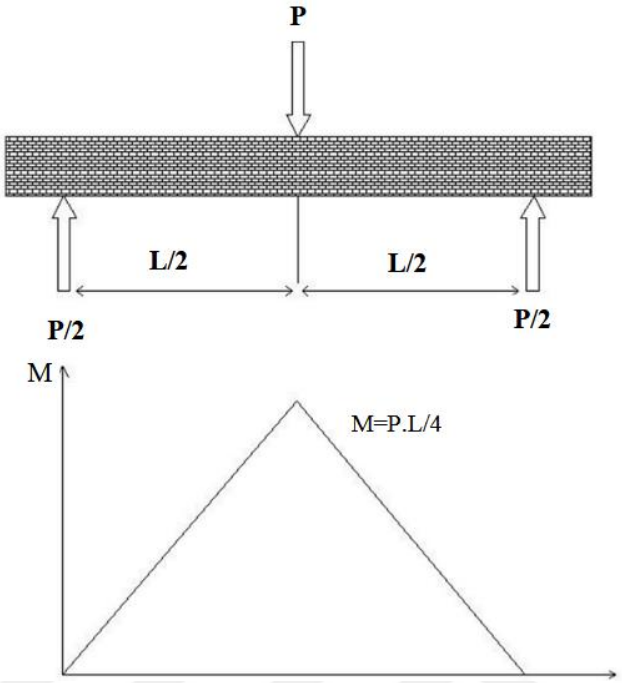


Şekil 3.22. Zwick Roell Z010 Çekme ve Eğilme Test Cihazı

3.2.3.6. Elyaf Takviyeli Kompozitler İçin Üç Nokta Eğilme Özelliklerinin Tayini

Eğme, daire veya dikdörtgen kesitli numunin alt köşelerine destek konulması ve malzemenin üstünden tam ortasına gelecek şekilde kuvvet uygulanması sonucu göstermiş olduğu şekil değiştirmedir. Eğme için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Basit eğme, silindirik yüzey üzerinden eğme, V Blok içerisinde eğme, serbest katlama ve 180^{o} eğme bunlara örnek gösterilebilir. Bütün bu yöntemlerinin hepsinde amaç malzemeyi şekil değiştirinceye ya da çatlayıncaya kadar eğmektir.

Bu çalışma kapsamında yapılan üç nokta eğilme testi ise eğilme testleri içerisinde en yaygın kullanılan deney yöntemidir. Deneyin temel prensibi, kullanılan malzemeyi "kiriş" modeli olarak kabul etmesidir. Kiriş denklemi ideal moment durumuna göre çıkarılmasından dolayı, kirişte oluşan kayma gerilmesinin normal gerilmelere göre ihmal edilebilir düzeyde kalması istenmektedir. Test numunesi uzunlamasına yatay bir pozisyonda destekler üzerine konurken, üzerine tam ortasından kuvvet uygulanır. Üç noktalı eğme deneyine ait moment ve uzunluk diyagramı şematik gösterimi Şekil 3.23'de verilmiştir (Başbuğ, 2012).



Şekil 3.23. Üç Nokta Eğme Deneyine Ait Moment Uzunluk Diyagramı (Başbuğ, 2012)

Deney boyunca, P kuvveti arttırılırken, malzemenin tam ortasında oluşan sehim değeri ölçülür. Ölçülen değerler sonucu kuvvete karşılık gelen sehim grafiği elde edilir. Bu ölçümler, tüm malzeme için en yüksek sehim ve momentin oluştuğu orta noktasında yapılır (Başbuğ, 2012).

Çalışma kapsamında Üç Nokta Eğilme Testi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında Zwick Roell Z010 test cihazında 8 mm/min makine hızında yapılmıştır. Bahse konu test cihazı Şekil 3.22'da gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde öncelikle, üretilmiş olan bazalt ve karbon kompozit numunelere uygulanan ısı iletim katsayısı, ses yutuculuk, izod darbe testi, çekme testi, üç nokta eğilme testi sonuçları verilmiştir. Daha sonra L18 (Karma 3-6 Düzen) ortogonal deney dizaynına göre öncelikle Taguchi analizi yapılmış ve tespit edilen optimum numunelerin üretimi yapılarak doğrulama deneyleri yapılmıştır. Daha sonra ısı ve ses yalıtım özellikleri için "en büyük en iyi" şeklinde seçilen deney tasarımına göre yapılan çok amaçlı optimizasyon tekniği olarak Grey Taguchi optimizasyonu analiz sonuçları verilmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

4.1. Taguchi Optimizasyonuna Yönelik Analizler

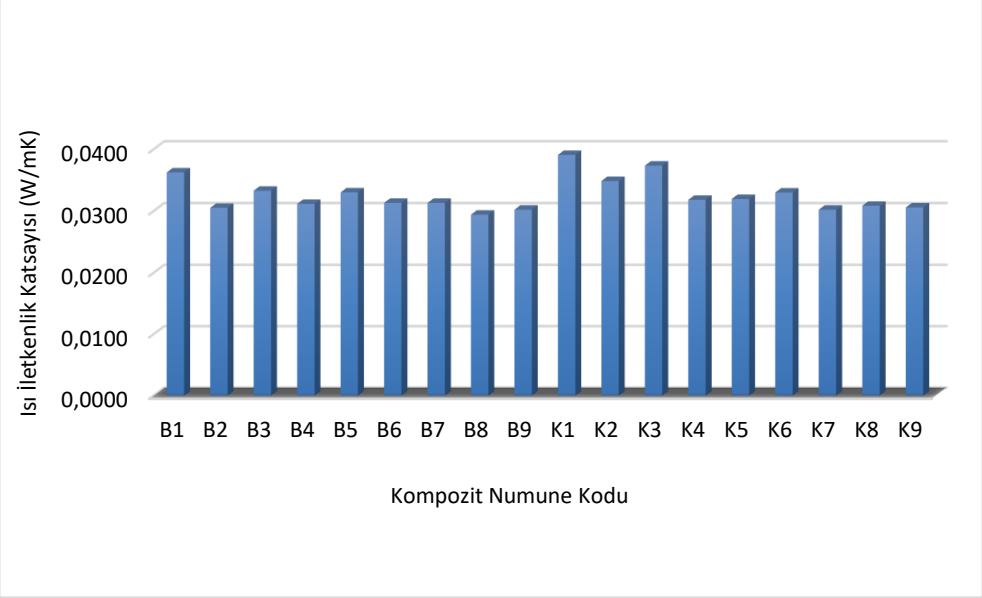
4.1.1. Isı İletim Katsayısının Tespiti Testi

Tez kapsamında hazırlanan 18 adet numuneye TS EN ISO 10534-2 standartlarına göre yapılan testler sonucunda elde edilen ısı iletim katsayıları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Testler, Kayseri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.1'de verilmiş olup, en düşük ısı iletim katsayısı değeri 8 nolu numunede (B50, %2 Al_2O_3, %10 SiC), en yüksek ısı iletim katsayısı ise 10 nolu numunede (K30, %0 Al_2O_3, %10 SiC) görülmüştür.

Çizelge 4.1. Isı İletim Katsayısı Test Sonuçları

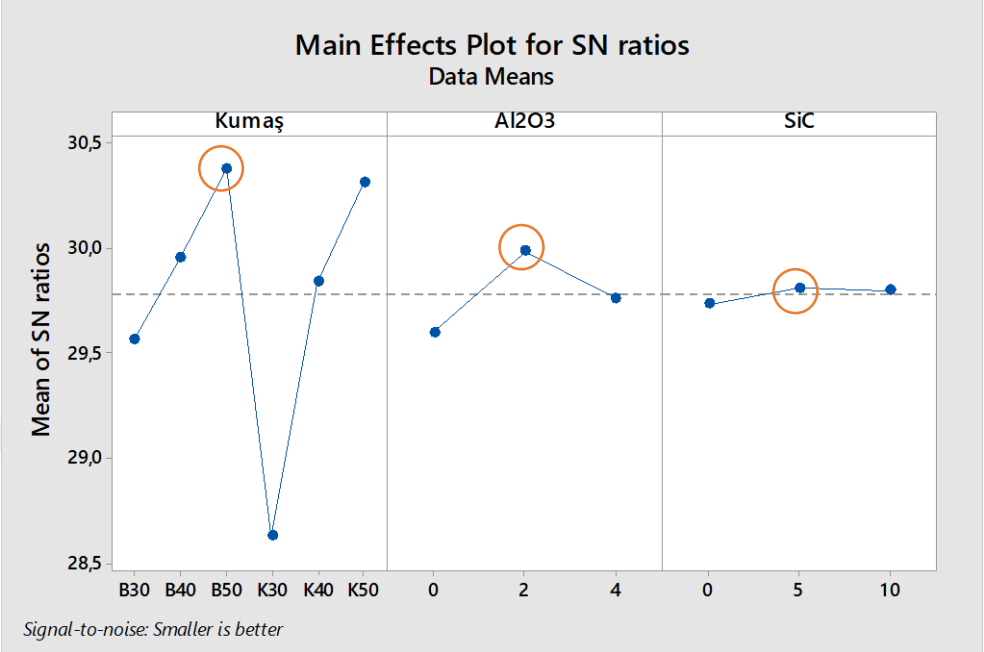
Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Isı İletim Kaysayısı (W/mK)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	0,0362
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	0,0305
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	0,0333
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	0,0311
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	0,0330
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	0,0313
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	0,0313
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	0,0294
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	0,0302
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	0,0391
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	0,0348
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	0,0373
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	0,0318
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	0,0319
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	0,0330
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	0,0302
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	0,0308
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	0,0306



Şekil 4.1. Isı İletim Katsayısı Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en düşük en iyi (smallar is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde B50 (%50 bazalt içeren), %2 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin en düşük ısı iletim katsayısına sahip olacağı anlaşılmıştır. Kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça kompozitin ısı iletim katsayısı düşmektedir. Bu durum literatürde elde edilen bilgilerle uyum sağlamaktadır. Kompozit içerindeki ısı yalıtım özelliğine sahip tekstil takviye malzemesinin oranının artması ile ısı iletim katsayısının düşmesi beklenen bir durumdur.



Şekil 4.2. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletim Katsayısının Tespiti Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Al_2O_3 (Alümina) oranının %2'ye kadar artırılması ile ısı iletim katsayısı değeri düşmekte ancak %2 oranını üzerine çıkması durumunda ısı iletim katsayısı değeri yükselmektedir. Bu durum SiC (Silisyum karbür) içinde benzer bir durum göstermektedir. SiC oranı %5'e kadar çıkarıldığında ısı iletim katsayısı düşmekte, %5'in üzerine çıkarılması ile ısı iletim katsayısı yükselmektedir. Bunun sebebinin ise SiC ve Al_2O_3'nın ısı iletim özelliklerinin çok iyi olmaması olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca dolgu malzemelerinin kompozit yüzeyine yayılması sonucu dolgu malzemelerinin oranının belirli bir seviyenin üzerine çıkması ile ısının kompozit yüzeyinden geçişinin kolaylaşabileceği sonucu da çıkarılabilmektedir.

Ovalı (2015) hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde bazalt kumaşı takviye malzemesi, farklı boyutlardaki pomza taşını da dolgu malzemesi olarak kullanarak polipropilen matrisli kompozitler üretmiş ve bu kompozitlerin ısı ve ses yalıtım özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda pomza taşı kullanılmasının

kompozitin ısı ve ses yalıtım özelliklerimi iyileştirdiği görülmüştür. Bu tez çalışmasında da dolgu malzemelerinin belirli bir seviyenin üzerine çıkarılması ile ısı iletim katsayısı değerinin yükseldiği görülmüştür. Bu durumun sebebi kullanılan dolgu malzemelerinin ısıl geçirgenlik özellikleri ile ilgili olabileceği düşünülmüştür.

Deniz (2000) hazırlamış olduğu doktora tezinde alüminyum matrisli kompozitlere eklenen Al_2O_3 ve SiC dolgu malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.2'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Al_2O_3 ve SiC malzemelerinin özellikleri (Deniz,2000)

Partikül	**Al_2O_3**	**SiC**
Elastik Modülü (GOa)	380 – 450	420 – 450
Yoğunluk (g/cm^3)	3,96	3,20
Termal Genleşme Katsayısı (1/K)	$7,0 * 10^{-6}$	$4,3 * 10^{-6}$
Termal İletkenlik (W/mK)	5 - 10	10 - 440
Poisson Oranı	0,25	0,17
Sertlik (HV)	2.100,0	2.400,0

Çizelge 4.'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) ısı iletim katsayısına en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir (Rank 1).

Çizelge 4.3. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletkenlik Katsayısının Tespiti Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	0,03333	0,03329	0,03270
2	0,03181	0,03175	0,03242
3	0,03030	0,03261	0,03253
4	0,03708		
5	0,03223		
6	0,03053		
Delta	0,00678	0,00154	0,00028
Rank	1	2	3

Bektaş ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Çizelge 4.4'te gösterilen ısı iletim katsayısı değerleri ile karşılaştırıldığında bazalt kompozitin ısı iletim katsayısının çok iyi olduğu görülmektedir. Bazalt kompozitin, binalarda ısı yalıtım malzemesi olarak sıklıklar kullanılan EPS ve XPS malzemesinden daha iyi ısı iletim katsayısı değerine sahip olduğu görülmektedir. Bazalt kompozitin küçük hacmi ve maliyet avantajları düşünüldüğünde çok iyi bir ısı yalıtım malzemesi olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. Isı Yalıtım Malzemesi olarak kullanılan bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları (Bektaş, 2017)

Isı Yalıtım Malzemesi	**Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)**
Cam Yünü	0,04
Taş Yünü	0,04
Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)	0,028 (Yüzey Pürüzsüz) 0,031 (Yüzey Pürüzlü)
Espande Polistren Köpük (EPS)	0,04
Poliüretan	0,035
Odun Talaşı Levhalar	0,09 – 0,15
Cam Köpüğü	0,052
Fenol Köpüğü	0,04
Mantar Levhalar	0,04 – 0,055

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle ısı iletim katsayısı değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalaması tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.5.'te gösterilmektedir. Burada B harfleri bazalt kumaşı, K harfleri de karbon kumaşı sembolize etmektedir. Örneğin B1 kodlu numune %30 bazalt, %0 Al_2O_3 ve % 0 SiC içeren numuneyi; K1 ise %30 karbon, %0 Al_2O_3 ve % 10 SiC içeren numuneyi göstermektedir.

Daha sonra ısı iletim katsayısının tespiti testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.1. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.1}$$

Çizelge 4.5. Isı İletim Katsayısı Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Isı İletim Katsayısı S/N Oran Değeri
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	28,8178
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	30,3140
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	29,5598
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	30,1355
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	29,6297
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	30,0891
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	30,0891
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	30,6331
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	30,3999
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	28,1639
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	29,1601
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	28,5581
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	29,9515
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	29,9151
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	29,6385
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	30,3999
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	30,2196
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	30,2950
Isı İletim Katsayısı (W/mK)					**29,77609**

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Isı iletim katsayısı için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi 29,78'dir. Deneylerde ısı iletim katsayısı için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Isı İletim Katsayısı Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)Smaller is better

Level	Kumaş	Al2O3	SiC
1	29,56	29,59	29,73
2	29,95	29,98	29,81
3	30,37	29,76	29,79
4	28,63		
5	29,84		
6	30,30		
Delta	1,75	0,39	0,08
Rank	1	2	3

Isı İletim Katsayısı için;

$\eta = \eta m + (\eta A3 - \eta m) + (\eta B2 - \eta m) + (\eta C2 - \eta m)$

η = **29,77609 + (30,37 - 29,77609) + (29,98 - 29,77609) + (29,81 - 29,77609)**

η **= 30,61**

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.5'te 8 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.3'te gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

d = Optimum Tasarım S/N – Başlangıç Tasarım S/N (4.2)

d = 30,63 – 30,61

d = 0,02 dB

Daha sonra eşitlik 4.4 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/\ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,02/10} = 1,01 \quad (4.3)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda ısı iletim katsayısının tespiti için bulunan optimum numunenin %1 oranında iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda ısı iletim katsayısı değeri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en düşük ısı iletim kaysayısı değerine sahip olacağı öngörülen B50 (%50 bazalt içeren), %2 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numuneye ısı iletim kaysayısı değeri testi uygulanmış ve 0,026 W /mK bulunmuştur.

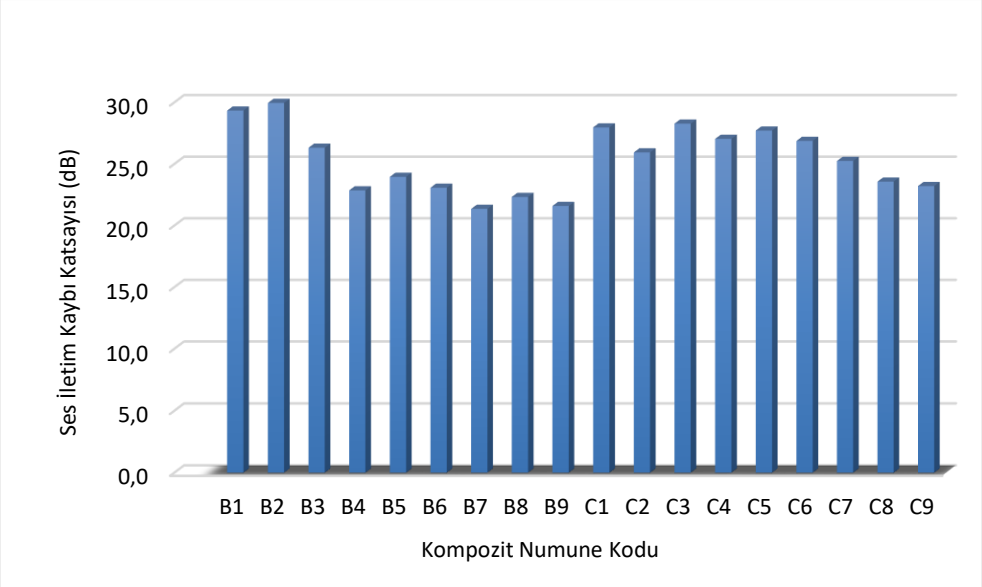
4.1.2. Ses İletim Kaybı Testi

Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi laboratuvarlarında 18 adet numuneye ASTM E-2611:2009 standartlarına göre, 200 – 6400 Hz frekans aralığında yapılan testler sonucunda elde edilen ortalama ses iletim kaybı katsayıları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ses İletim Kaybı Katsayısı

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Ses İletim Kaybı (dB)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	29,3322
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	29,9524
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	26,3147
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	22,8541
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	23,9550
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	23,0685
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	21,3560
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	22,3237
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	21,5871
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	27,9643
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	25,9352
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	28,2670
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	27,0351
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	27,7120
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	26,8678
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	25,2448
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	23,5680
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	23,2088

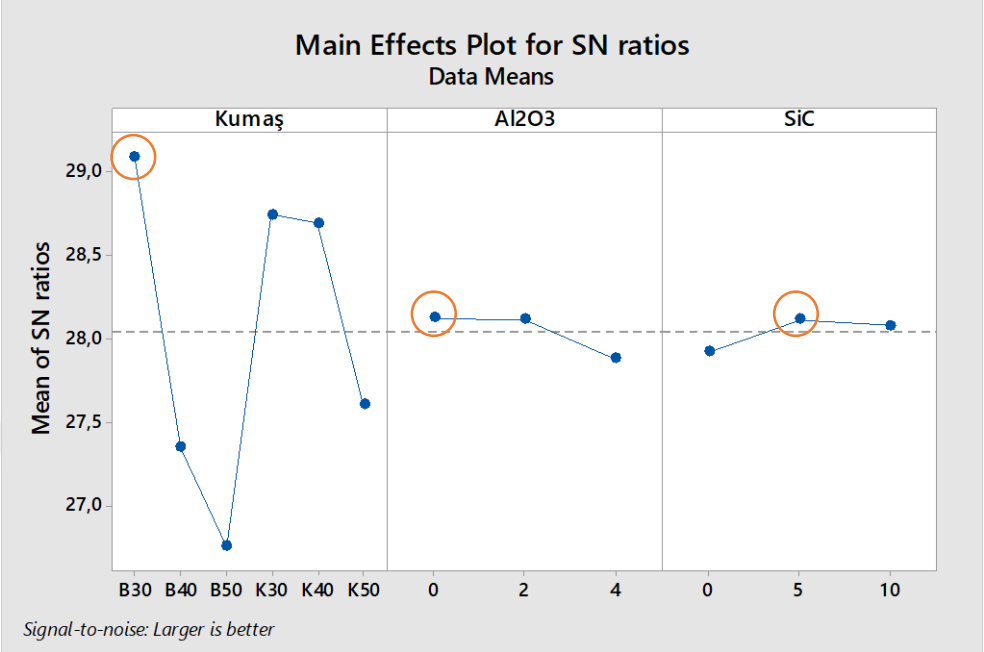
Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.3'de gösterilmiş olup, en düşük ses iletim kaybı değeri 7 nolu numunede (B50, %0 Al_2O_3, %5 SiC), en yüksek ses iletim kaybı değeri ise 2 nolu numunede (B30, %2 Al_2O_3, %5 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.3. Ses İletim Kaybı Katsayıları Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Yapılan bu deney çalışmasında kompozit malzemelerin ses yalıtım özelliklerinin ölçülmesinde ses iletim kaybı değeri (sound transmission loss) kullanılmıştır. Ses iletim kaybı değeri malzemenin ses yalıtma kapasitesinin desibel (dB) cinsinden ifadesidir. Malzemenin ses iletim kaybı ne kadar büyük olursa malzemenin ses yalıtım kapasitesi o ölçüde büyük olmaktadır.

Yapılan ses iletim kaybı katsayısı değerlerine ait frekans – iletim kaybı grafikleri incelendiğinde düşük frekanslarda ses iletim kaybı katsayısının yüksek olduğu, frekans 3000 Hz civarına çıktığında ses iletim kaybı değerinin düştüğü ancak frekansın daha da yükselmesi ile ses iletim kaybı değerinin tekrar yükseldiği görülmüştür. Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Ses İletim Kaybı Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde B30 (%30 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin en büyük ses iletim kaybı değerine sahip olacağı anlaşılmıştır. Kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça kompozitin ses iletim kaybı katsayısı düşmektedir. Ayrıca çizilen bu grafikten bazalt kompozitlerin ses yalıtım özelliklerinin karbon kompozitlerden daha iyi olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu durum literatürde de belirtilmiştir ve beklenen bir sonuçtur.

Al_2O_3 (Alümina) oranının artırılması ile ses iletim kaybı değeri düşmektedir. Bu durum SiC (Silisyum karbür) içinde benzer bir durum göstermemektedir. SiC oranı %5'e kadar çıkarıldığında ses iletim kaybı değeri artmakta, %5'in üzerine çıkarılması ile ses iletim kaybı değeri düşmektedir. Bu durumunun sebebinin malzemelerin numune yüzeyine homojen dağılmaması ve Al_2O_3 (Alümina) ile SiC malzemelerinin ses yalıtım özelliklerinin iyi olmaması olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8.'da gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) ses iletim kaybı değerine en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Isı İletim Kaybı Değeri Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al2O3	SiC
1	28,53	25,63	25,02
2	23,29	25,57	25,63
3	21,76	24,89	25,44
4	27,39		
5	27,20		
6	24,01		
Delta	6,78	0,75	0,60
Rank	1	2	3

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle ses iletim kaybı değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.9.'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. Ses İletim Kaybı Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Ses İletim Kaybı S/N Oranı Değeri
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	29,3469
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	29,5286
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	28,4040
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	27,1793
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	27,5879
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	27,2604
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	26,5904
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	26,9753
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	26,6839
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	28,9321
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	28,2778
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	29,0256
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	28,6385
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	28,8534
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	28,5846
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	28,0435
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	27,4465
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	27,3131
Ses İletim Kaybı (dB)					**28,03732**

Daha sonra ısı iletim katsayısının tespiti testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.5. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.5}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, ηm hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve ηi hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Ses iletim kaybı değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi 28,04'dir. Deneylerde ses iletim kaybı değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.10.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Ses İletim Kaybı Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	29,09	28,12	27,92
2	27,34	28,11	28,11
3	26,75	27,88	28,08
4	28,75		
5	28,69		
6	27,60		
Delta	2,34	0,24	0,19
Rank	1	2	3

Ses İletim Kaybı Değerleri için;

$$\eta = \eta m + (\eta A3 - \eta m) + (\eta B2 - \eta m) + (\eta C2 - \eta m) \quad (4.6)$$

η = **28,03732 + (29,09 - 28,03732) + (28,12 - 28,03732) + (28,11 - 28,03732)**

η = 29,24536

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.9'da 1 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.7.'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 29,35 - 29,25 \quad (4.7)$$
$$d = 0,1 \text{ dB}$$

Daha sonra eşitlik 4.8 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/\ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,1/10} = 1,02 \quad (4.8)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda ses iletim kaybı değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin %2 oranında iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda ses iletim kaybı değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük ses iletim kaybı değerine sahip olacağı öngörülen B30 (%30 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numuneye ses iletim kaybı değeri testi uygulanmış ve 27,08 dB bulunmuştur.

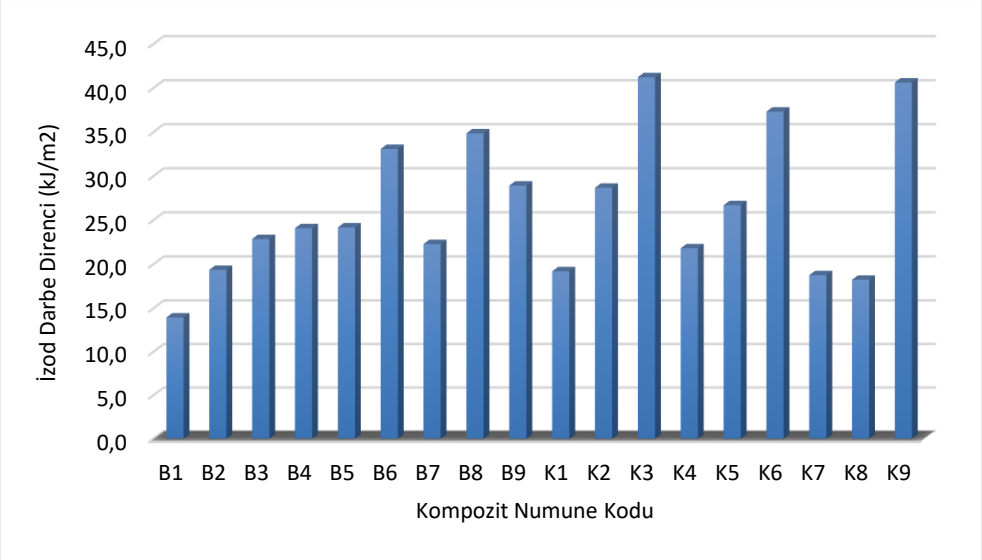
4.1.3. İzod Darbe Testi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Fakültesi laboratuvarlarında 18 adet numuneye ASTM D 256, 2005 standartlarına göre yapılan testler sonucunda elde edilen izod darbe direnci değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. İzod Darbe Testi Sonuçları

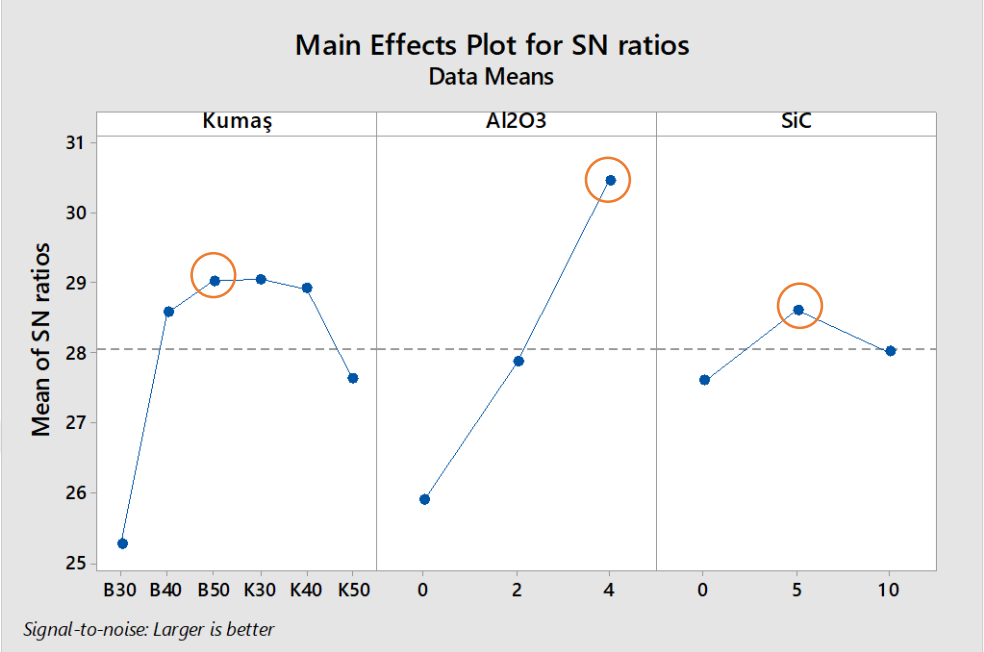
Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	İzod Darbe Testi (kJ/m2)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	13,94
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	19,35
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	22,85
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	24,08
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	24,17
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	33,07
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	22,28
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	34,85
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	28,92
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	19,19
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	28,67
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	41,22
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	21,80
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	26,69
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	37,31
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	18,75
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	18,23
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	40,62

Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.5'de gösterilmiş olup, en düşük izod darbe direnci 1 nolu numunede (B30, %0 Al_2O_3, %0 SiC), en yüksek izod darbe direnci ise 12 nolu numunede (K30, %4 Al_2O_3, %5 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.5. İzod Darbe Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.6'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan İzod Darbe Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde B50 (%50 bazalt içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin en yüksek izod darbe direncine sahip olacağı anlaşılmıştır. Bazalt kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça kompozitin izod darbe direncinin yükseldiği ancak karbon kompozit içerisindeki karbon oranı arttıkça izod darbe direncinin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca bazalt kompozitlerin izod darbe direncinin karbon kompozitlerden daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum bazalt liflerin daha iyi enerji absorbe etme özelliğine sahip olmasından olabilmektedir.

Gümülcine ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada izoftalik poyester matrisli sürekli e camı ve bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiş ve sonuç olarak bazalt kompozitlerin çok iyi darbe deneyi sonucuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışması ile birlikte değerlendirildiğinden bazalt kompozitlerin hem cam kompozitlerden hem de karbon kompozitlerden daha iyi

darbe direnci özelliklerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Dorigato ve Pegoretti (2014) yaptıkları çalışmada karbon ve bazalt elyaflarla oluşturdukları hibrid kompozit kullanmış, bu kompozitin esneklik ve darbe özelliklerini test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda karbon kumaşa bazalt kumaş eklemenin darbe emme özelliğini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.12'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) izod darbe direncine en çok etki eden faktörün Al_2O_3 faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan İzod Darbe Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	18,71	20,01	25,19
2	27,11	25,33	28,24
3	28,68	34,00	25,90
4	29,69		
5	28,60		
6	25,87		
Delta	10,98	13,99	3,05
Rank	2	1	3

Al_2O_3 (Alümina) oranının artırılması ile izod darbe direnci değeri yükselmektedir. Bu durum SiC (Silisyum karbür) için benzer bir durum göstermemektedir. SiC oranı %5'e kadar çıkarıldığında izod darbe direnci yükselmekte, %5'in üzerine çıkarılması ile izod darbe direnci düşmektedir. Bu duruma kompozit yapısına eklenen partikül oranının artmasıyla partiküllerin birbirlerine yapışmasının (aglemerasyon) sebep olabileceğin düşünülmüştür.

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle izod darbe direnci test değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.13.'te gösterilmektedir.

Daha sonra izod darbe direnci testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.9. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.9}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, ηm hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve ηi hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. İzod darbe direnci için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi 28,07'dir. Deneylerde izod darbe direnci değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. İzod Darbe Direnci Test Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	İzod Darbe Direnci Testi S/N Oran Değeri
1	B1	22,8853	22,8853	22,8853	22,8853
2	B2	25,7336	25,7336	25,7336	25,7336
3	B3	27,1777	27,1777	27,1777	27,1777
4	B4	27,6331	27,6331	27,6331	27,6331
5	B5	27,6655	27,6655	27,6655	27,6655
6	B6	30,3887	30,3887	30,3887	30,3887
7	B7	26,9583	26,9583	26,9583	26,9583
8	B8	30,8441	30,8441	30,8441	30,8441
9	B9	29,2240	29,2240	29,2240	29,2240
10	K1	25,6615	25,6615	25,6615	25,6615
11	K2	29,1486	29,1486	29,1486	29,1486
12	K3	32,3022	32,3022	32,3022	32,3022
13	K4	26,7691	26,7691	26,7691	26,7691
14	K5	28,5270	28,5270	28,5270	28,5270
15	K6	31,4365	31,4365	31,4365	31,4365
16	K7	25,4600	25,4600	25,4600	25,4600
17	K8	25,2157	25,2157	25,2157	25,2157
18	K9	32,1748	32,1748	32,1748	32,1748
İzod Darbe Testi (kJ/m2)					**28,07**

Çizelge 4.14. İzod Darbe Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	25,27	25,89	27,59
2	28,56	27,86	28,60
3	29,01	30,45	28,01
4	29,04		
5	28,91		
6	27,62		
Delta	3,77	4,56	1,01
Rank	2	1	3

İzod Darbe Direnci Testi Değerleri için;

$$\eta = \eta m + (\eta A3 - \eta m) + (\eta B3 - \eta m) + (\eta C2 - \eta m) \quad (4.6)$$

η = **28,07 + (29,01 - 28,07) + (30,45 - 28,07) + (28,60 - 28,07)**

η = 31,92

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.13'de 12 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.10.'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 32,30 - 31,92 \quad (4.10)$$

d = 0,38 dB

Daha sonra eşitlik 4.11 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/\ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,38/10} = 1,09 \quad (4.11)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda izod darbe direnci değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 9 oranında iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda izod darbe direnci değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük izod darbe direnci değerine sahip olacağı öngörülen B50 (%50 bazalt içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numuneye izod darbe direnci testi uygulanmış ve 96,92 kJ/m^2 bulunmuştur.

4.1.4. Çekme Direnci Testi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Fakültesi laboratuvarlarında 18 adet numuneye DIN EN ISO 527-1 standartlarına göre yapılan testler sonucunda elde edilen çekme testi sonuçları Çizelge 4.15, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.19'da verilmiştir.

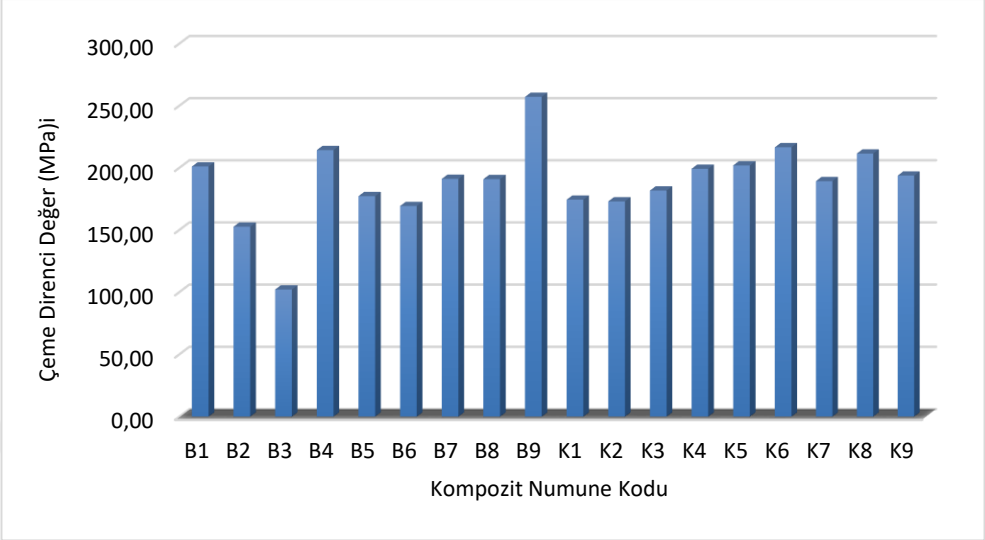
4.1.4.1. Çekme Direnci Testi

Yapılan testler sonucunda elde edilen çekme direnci değerleri Çizelge 4.15'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.15. Çekme Direnci Test Sonuçları

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Çekme Direnci (MPa)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	201,05
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	152,57
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	102,05
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	214,25
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	177,19
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	169,21
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	191,03
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	190,88
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	257,09
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	174,34
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	172,94
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	181,68
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	199,16
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	201,88
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	216,50
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	189,26
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	211,45
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	193,72

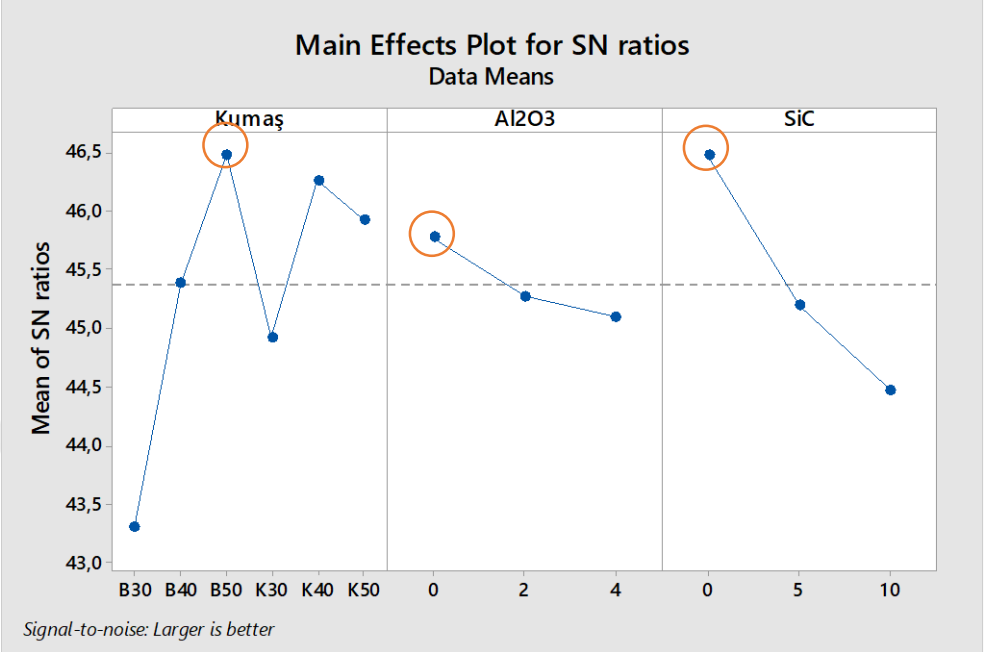
Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.7.'de gösterilmiş olup, en düşük çekme direnci değerinin 3 nolu numunede (B30, %4 Al_2O_3, %10 SiC), en yüksek çekme direnci değerinin ise 9 nolu numunede (B50, %4 Al_2O_3, %0 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.7. Çekme Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde B50 (%50 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numunenin en yüksek çekme direncine sahip olacağı anlaşılmıştır. Bazalt kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça kompozitin çekme direncinin yükseldiği ancak karbon kompozit içerisindeki karbon oranı %40 olana kadar çekme direncinin yükseldiği ancak karbon kumaş oranı %40 üzerine çıktığında çekme direncinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun sebebinin numune içerisindeki kumaş oranının artmasıyla epoksi oranının düşmesi ve böylece düzgün ıslanmanın sağlanamaması olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.8. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekme Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiğinde Al_2O_3 ve SiC dolgu malzemelerinin eklenmesi ile çekme direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Dolgu malzemelerinin eklenmesi ile kompozitin çekme kuvvetine karşı göstermiş olduğu direncin azaldığı ve bundan dolayı çekme direncinin azaldığı düşünülmüştür. Dolgu malzemelerinin eklenmesi ile dolgu malzemeleri kumaşın yüzeyine ve lifler arasına homojen olarak dağılmamış ve bu durum liflerin çekme kuvvetine karşı gösterdiği direncin düşmesine sebep olmuştur.

Gün ve Asi (2017) yaptığı çalışmada Al_2O_3 ile güçlendirilmiş cam elyaf katkılı kompozitlerine mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada %2.5 – 5 – 7,5 – 12,5 ve 15 oranlarında Al_2O_3 kullanılarak kompozitler hazırlanmıştır. Çalışmanın sonunda çekme dayanımı ve elastisite modülünün Al_2O_3 eklenmesiyle azaldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında dolgu malzemesi eklenmesi ile çekme özelliklerinin azalması literatürü desteklemektedir. Lopresto ve ark. (2011) e-camı

ve bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin çekme özelliklerini incelemiş ve bazalt kompozitlerin daha iyi çekme özelliklerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu tez çalışmasında da bazalt kumaş takviyeli kompozitlerin karbon kumaş takviyeli kompozitlerde daha iyi çekme özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 4.16'da gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) çekme direncine en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekme Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	151,9	194,8	212,2
2	186,9	184,5	182,6
3	213,0	186,7	171,3
4	176,3		
5	205,8		
6	198,1		
Delta	61,1	10,4	40,9
Rank	1	3	2

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle çekme direnci test değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.17.'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. Çekme Direnci Test Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Çekme Direnci S/N Oran Değeri
1	B1	46,0660	46,0660	46,0660	46,0660
2	B2	43,6692	43,6692	43,6692	43,6692
3	B3	40,1759	40,1759	40,1759	40,1759
4	B4	46,6184	46,6184	46,6184	46,6184
5	B5	44,9688	44,9688	44,9688	44,9688
6	B6	44,5687	44,5687	44,5687	44,5687
7	B7	45,6220	45,6220	45,6220	45,6220
8	B8	45,6152	45,6152	45,6152	45,6152
9	B9	48,2018	48,2018	48,2018	48,2018
10	K1	44,8279	44,8279	44,8279	44,8279
11	K2	44,7577	44,7577	44,7577	44,7577
12	K3	45,1861	45,1861	45,1861	45,1861
13	K4	45,9841	45,9841	45,9841	45,9841
14	K5	46,1019	46,1019	46,1019	46,1019
15	K6	46,7092	46,7092	46,7092	46,7092
16	K7	45,5411	45,5411	45,5411	45,5411
17	K8	46,5040	46,5040	46,5040	46,5040
18	K9	45,7433	45,7433	45,7433	45,7433
Çekme Direnci (MPa)					**45,381**

Daha sonra çekme direnci testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.12. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.12}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Çekme direnci test değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.17'de görüldüğü gibi 45,38'dir. Deneylerde çekme direnci test değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.1.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Çekme Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	43,30	45,78	46,48
2	45,39	45,27	45,20
3	46,48	45,10	44,47
4	44,92		
5	46,27		
6	45,93		
Delta	3,18	0,68	2,00
Rank	1	3	2

Çekme Direnci Testi Değerleri için Eşitlik 4.13 kullanılmıştır.

$$\eta = \eta m + (\eta A3 - \eta m) + (\eta B1 - \eta m) + (\eta C1 - \eta m) \quad (4.13)$$

η = **45,38 + (46,48 - 45,38) + (45,78 - 45,38) + (46,48 - 45,38)**

η = 47,98

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.19.'da 9 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.14.'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 48,20 – 47,98 \quad (4.14)$$

$$d = 0,22 \text{ dB}$$

Daha sonra eşitlik 4.15 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,22/10} = 1,05 \quad (4.15)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda çekme direnci değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 5 oranında iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda çekme direnci değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük çekme direnci değerine sahip olacağı öngörülen B50 (%50 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numuneye çekme direnci testi uygulanmış ve 260 MPa bulunmuştur.

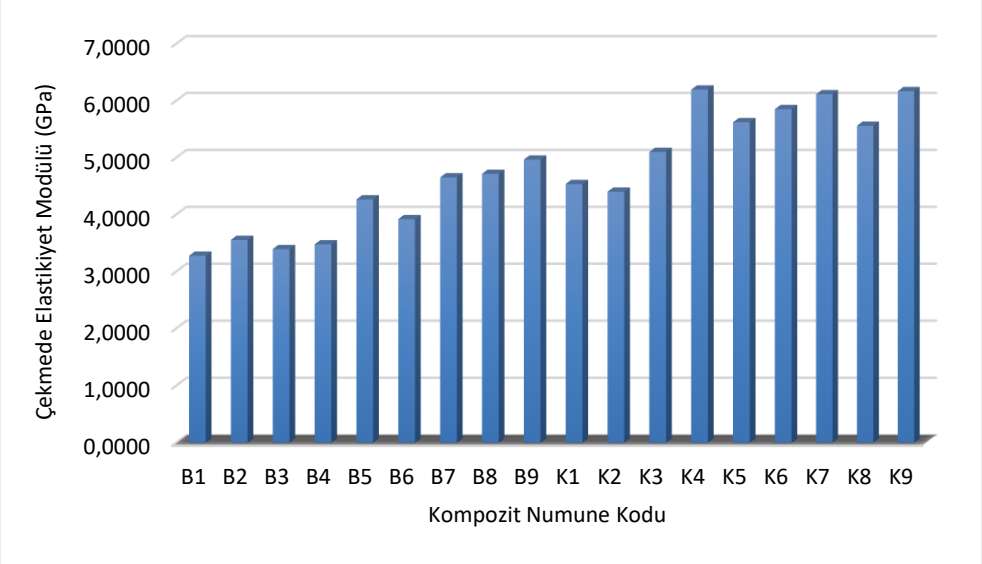
4.1.4.2. Çekmede Elastikiyet Modülü

Yapılan testler sonucunda elde edilen çekmede elastikiyet modülü (çekme modülü) değerleri Çizelge 4.19'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.19. Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları

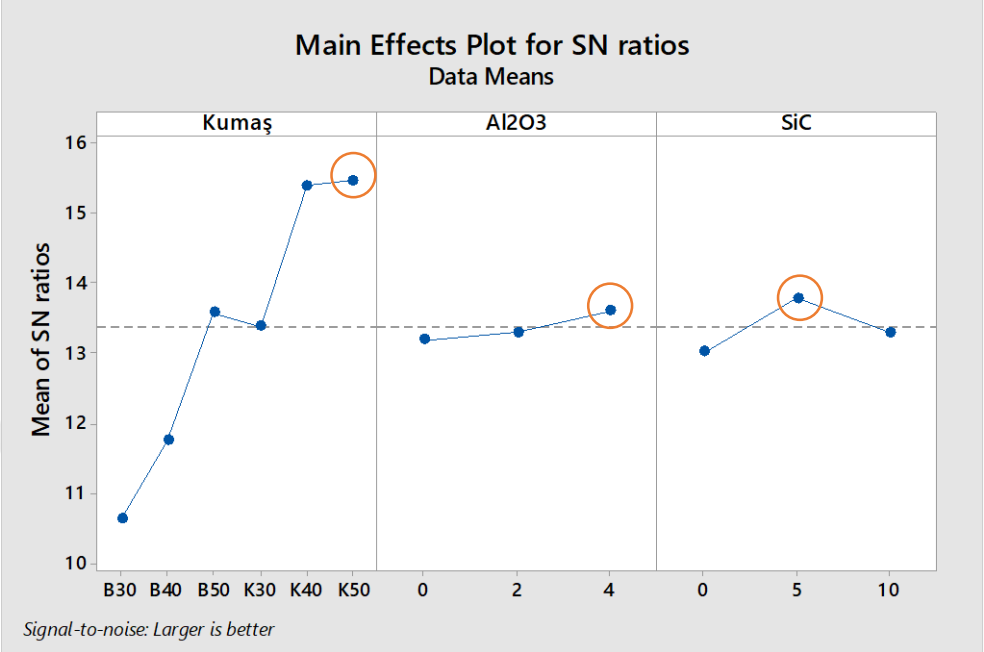
Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Çekmede Elastikiyet Modulü (GPa)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	3,2711
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	3,5503
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	3,3883
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	3,4719
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	4,2620
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	3,9139
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	4,6486
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	4,7111
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	4,9611
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	4,5313
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	4,3967
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	5,0961
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	6,1911
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	5,6184
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	5,8479
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	6,1093
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	5,5543
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	6,1631

Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.9'da gösterilmiş olup, en düşük çekmede elastikiyet modülü değerinin 1 nolu numunede (B30, %0 Al_2O_3, %0 SiC), en yüksek çekmede elastikiyet modülü değerinin ise 13 nolu numunede (K40, %0 Al_2O_3, %5 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.9. Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde K50 (%50 karbon içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin en yüksek çekmede elastikiyet modülü değerine sahip olacağı anlaşılmıştır. Kompozit içerisindeki bazalt ve karbon oranları arttıkça kompozitin çekmede elastikiyet modülü değerinin yükseldiği gözlenmiştir. Karbon kumaşın elastikiyet modülü bazalt kumaştan yüksek olduğu için bu durum literatüre uygunluk göstermektedir.

Lopresto ve ark. (2011) e-camı ve bazalt elyaf takviyeli kompozit malzemeleri karşılaştırmış ve bazalt takviyeli numunelerin daha yüksek elastik modüle sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elastiklik modülü kıyaslandığında karbon kompozitin en iyi, bazalt lifin ikinci sırada, cam elyaf kompozitin ise en kötü olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.

Çizilen S/N Oran grafiğinde Al_2O_3 dolgu malzemesinin eklenmesi ile çekmede elastikiyet modülünün arttığı, SiC dolgu malzemesinin eklenmesi ile

çekmede elastikiyet modülünün %5'e kadar arttığı ancak daha sonra bu değerin azalmaya başladığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.18'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) tablosunda çekmede elastikiyet modülüne en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.20. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Çekmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	3,403	4,704	4,584
2	3,883	4,682	4,985
3	4,774	4,895	4,712
4	4,675		
5	5,886		
6	5,942		
Delta	2,539	0,213	0,401
Rank	1	3	2

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle çekmede elastikiyet modülü değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.21'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.21. Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Çekmede Elastikiyet Modülü S/N Oran Değeri
1	B1	10,2940	10,2940	10,2940	10,2940
2	B2	11,0054	11,0054	11,0054	11,0054
3	B3	10,5996	10,5996	10,5996	10,5996
4	B4	10,8112	10,8112	10,8112	10,8112
5	B5	12,5923	12,5923	12,5923	12,5923
6	B6	11,8521	11,8521	11,8521	11,8521
7	B7	13,3464	13,3464	13,3464	13,3464
8	B8	13,4625	13,4625	13,4625	13,4625
9	B9	13,9116	13,9116	13,9116	13,9116
10	K1	13,1244	13,1244	13,1244	13,1244
11	K2	12,8626	12,8626	12,8626	12,8626
12	K3	14,1448	14,1448	14,1448	14,1448
13	K4	15,8354	15,8354	15,8354	15,8354
14	K5	14,9923	14,9923	14,9923	14,9923
15	K6	15,3399	15,3399	15,3399	15,3399
16	K7	15,7198	15,7198	15,7198	15,7198
17	K8	14,8926	14,8926	14,8926	14,8926
18	K9	15,7960	15,7960	15,7960	15,7960
Çekmede Elastikiyet Modulü (GPa)					**13,37**

Daha sonra çekmede elastikiyet modülü testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.16. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.16}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Çekmede elastikiyet modülü test değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.19'de görüldüğü gibi 13,37'dir. Deneylerde çekmede elastikiyet modülü test değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.22.'de gösterilmiştir. Çekmede Elastikiyet Modülü Testi Değerlerine en çok etki eden faktör kumaş faktörüdür (Rank 1).

Çizelge 4.22. Çekmede Elastikiyet Modülü Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	10,63	13,19	13,02
2	11,75	13,30	13,79
3	13,57	13,61	13,29
4	13,38		
5	15,39		
6	15,47		
Delta	4,84	0,42	0,77
Rank	1	3	2

Çekmede elastikiyet modülü değerleri için Eşitlik 4.17 kullanılmıştır.

$$\eta = \eta m + (\eta A6 - \eta m) + (\eta B3 - \eta m) + (\eta C2 - \eta m) \quad (4.17)$$

η = **13,37 + (15,47 - 13,37) + (13,61 - 13,37) + (13,79 - 13,37)**

η = 16,13

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.17.'da 13 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.18.'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 15,84 – 16,13 \quad (4.18)$$

$$d = - 0,29 \text{ dB}$$

Daha sonra eşitlik 4.19 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/ L0 = 10^{d/10} = 10^{-0,29/10} = 0,94 \quad (4.19)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda çekmede elastikiyet modülü değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 6 oranında düşmesi sonucu çıkarılabilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda çekmede elastikiyet modülü değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük çekmede elastikiyet modülü değerine sahip olacağı öngörülen K50 (%50 karbon içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin 18 numaralı numune olduğu görülmüştür ve bu numunenin çekmede elastikiyet modülü değeri 6,1631 GPa'dır.

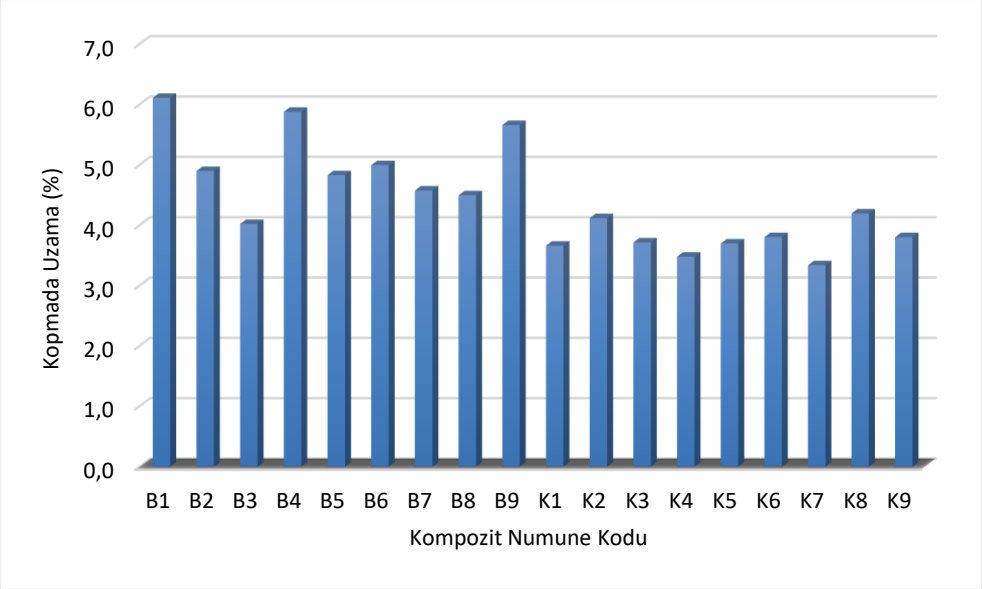
4.1.4.3. Kopmada Uzama Testi

Yapılan testler sonucunda elde edilen kopmada uzama değerleri Çizelge 4.23'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.23. Kopmada Uzama Test Sonuçları

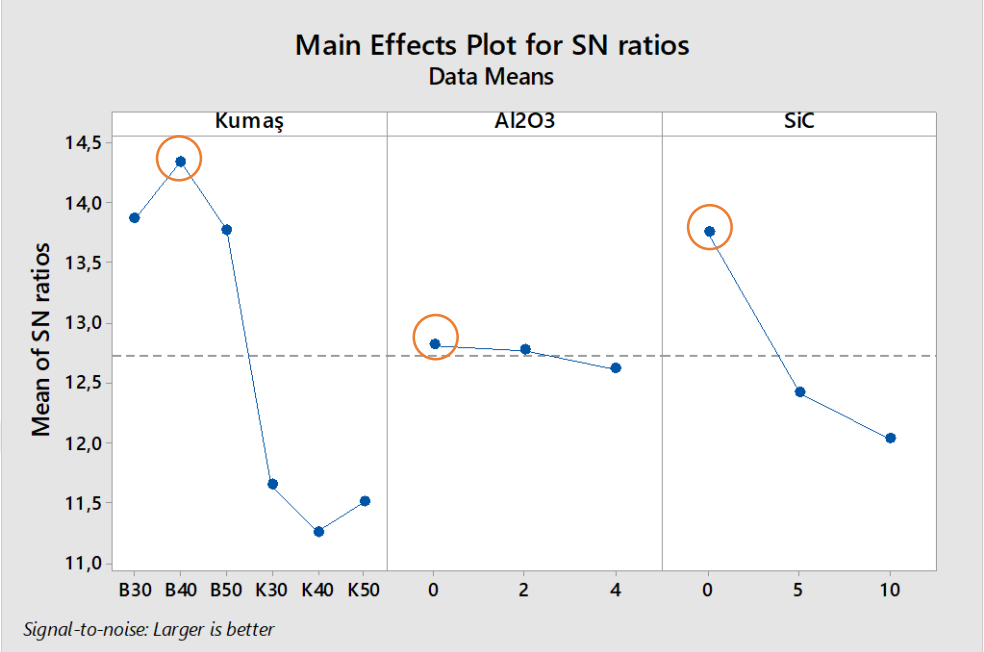
Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Kopmada Uzama (%)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	6,1071
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	4,8950
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	4,0171
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	5,8757
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	4,8257
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	4,9929
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	4,5714
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	4,4929
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	5,6571
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	3,6571
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	4,1143
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	3,7114
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	3,4757
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	3,6943
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	3,8000
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	3,3343
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	4,1914
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	3,7986

Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.11.'de gösterilmiş olup, en düşük kopmada uzama değerinin 16 nolu numunede (K50, %0 Al_2O_3, %10 SiC), en yüksek kopmada uzama değerinin ise 1 nolu numunede (B30, %0 Al_2O_3, %0 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.11. Kopmada Uzama Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde B40 (%40 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numunenin en yüksek kopmada uzama değerine sahip olacağı anlaşılmıştır. Bazalt kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça kopmada uzama değerinin azaldığı, karbon kompozit içerisindeki karbon oranının %40'a kadar artması ile kopmada uzamanın azaldığı ancak daha sonra kopmada uzaman değerinin arttığı gözlenmiştir. Çizilen S/N Oran grafiğinde Al_2O_3 ve SiC dolgu malzemelerinin eklenmesi ile kopmada uzama değerinin azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 4.24'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) kopmada uzama değerine en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Kopmada Uzama Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizelge 4.24. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Kopmada Uzama Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	5,006	4,504	4,958
2	5,231	4,369	4,213
3	4,907	4,330	4,031
4	3,828		
5	3,657		
6	3,775		
Delta	1,575	0,174	0,926
Rank	1	3	2

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle kopmada uzama değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.25.'te gösterilmektedir.

Daha sonra kopmada uzama testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.20. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \qquad (4.20)$$

Çizelge 4.25. Kopmada Uzama Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Kopmada Uzama S/N Oran Değeri
1	B1	15,7168	15,7168	15,7168	15,7168
2	B2	13,7951	13,7951	13,7951	13,7951
3	B3	12,0783	12,0783	12,0783	12,0783
4	B4	15,3812	15,3812	15,3812	15,3812
5	B5	13,6712	13,6712	13,6712	13,6712
6	B6	13,9670	13,9670	13,9670	13,9670
7	B7	13,2010	13,2010	13,2010	13,2010
8	B8	13,0505	13,0505	13,0505	13,0505
9	B9	15,0519	15,0519	15,0519	15,0519
10	K1	11,2628	11,2628	11,2628	11,2628
11	K2	12,2859	12,2859	12,2859	12,2859
12	K3	11,3908	11,3908	11,3908	11,3908
13	K4	10,8209	10,8209	10,8209	10,8209
14	K5	11,3506	11,3506	11,3506	11,3506
15	K6	11,5957	11,5957	11,5957	11,5957
16	K7	10,4601	10,4601	10,4601	10,4601
17	K8	12,4472	12,4472	12,4472	12,4472
18	K9	11,5924	11,5924	11,5924	11,5924
Kopmada Uzama (%)					**12,73**

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Kopmada uzama test değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.23.'de görüldüğü gibi 12,73'dir. Deneylerde kopmada uzama test değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Kopmada Uzama Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	13,86	12,81	13,75
2	14,34	12,77	12,41
3	13,77	12,61	12,03
4	11,65		
5	11,26		
6	11,50		
Delta	3,08	0,19	1,72
Rank	1	3	2

Kopmada uzama değerleri için Eşitlik 4.21 kullanılmıştır.

$$\eta = \eta m + (\eta A2 - \eta m) + (\eta B1 - \eta m) + (\eta C1 - \eta m) \quad (4.21)$$

η = **12,73 + (14,34- 12,73) + (12,81 - 12,73) + (13,75 - 12,73)**

η = 15,44

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.23'da 1 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.22'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 15,72 – 15,44 \quad (4.22)$$

$$d = 0,28 \text{ dB}$$

Daha sonra eşitlik 4.23 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,28/10} = 1,07 \quad (4.23)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda kopmada uzama değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 7 oranında iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda kopmada uzama değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük kopmada uzama değerine sahip olacağı öngörülen B40 (%40 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numunenin 4 numaralı numune olduğu görülmüştür ve bu numunenin kopmada uzama değer %5,88'dir.

4.1.5. Üç Nokta Eğilme Testi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Fakültesi laboratuvarlarında 18 adet numuneye DIN EN ISO 178 standartlarına göre yapılan testler sonucunda elde edilen üç nokta eğilme testi sonuçları Çizelge 4.27. ve Çizelge 4.29'da verilmiştir.

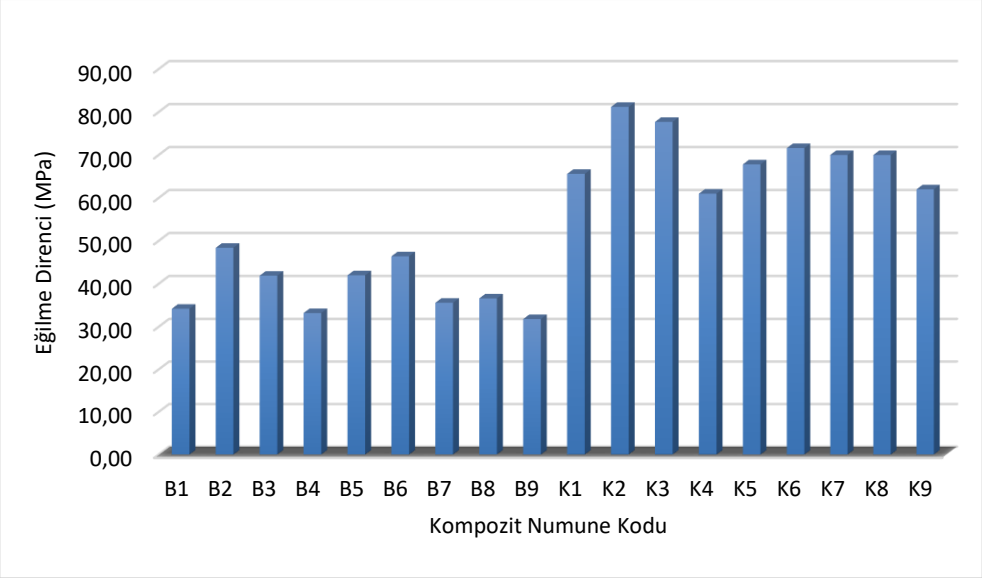
4.1.5.1. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları

Yapılan testler sonucunda elde edilen üç nokta eğilme direnci değerleri Çizelge 4.27'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.27. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları

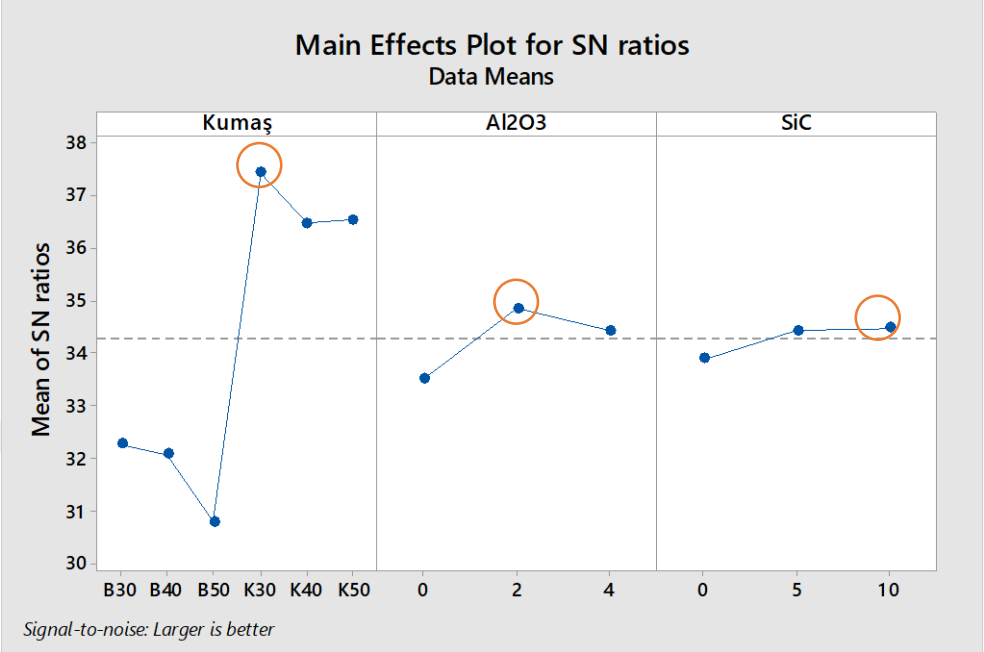
Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Üç Nokta Eğilme Direnci (MPa)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	34,20
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	48,40
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	41,90
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	33,20
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	42,00
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	46,40
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	35,60
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	36,60
9	B1	3 (B50)	3 (4)	1(0)	31,80
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	65,60
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	81,20
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	77,70
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	61,00
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	67,80
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	71,60
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	70,00
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	70,00
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	62,00

Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.13'de gösterilmiş olup, en düşük üç nokta eğilme direnci değerinin 9 nolu numunede (B50, %4 Al_2O_3, %0 SiC), en yüksek üç nokta eğilme direnci değerinin ise 11 nolu numunede (K30, %2 Al_2O_3, %0 SiC) görülmüştür.



Şekil 4.13. Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Daha sonra elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde K30 (%30 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numunenin en yüksek üç nokta eğilme direnci değerine sahip olacağı anlaşılmıştır. Bazalt kompozit içerisindeki bazalt oranı arttıkça üç nokta eğilme direnci değerinin azaldığı, karbon kompozit içerisindeki karbon oranının %40'a kadar artması ile üç nokta eğilme direncinin azaldığı ancak daha sonra üç nokta eğilme direnci değerinin az da olsa arttığı gözlenmiştir.

Çizilen S/N Oran grafiğinde Al_2O_3 dolgu malzemesinin %2'ye kadar artmasıyla üç nokta eğilme direncinin arttığı ancak daha sonra üç nokta eğilme direncinin azaldığı; SiC dolgu malzemesinin %5'e kadar eklenmesi ile üç nokta eğilme direnci değerinin arttığı ancak daha sonra kayda değer bir değişim olmadığı gözlenmiştir.

Mıstık ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada bazalt ve cam dokuma kumaş ve fındık kabuklarının takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla polimer

matrisli kompozitler üretmişler ve bu kompozitlerin üç nokta eğilme dayanımı ve ısı geçirgenliği değerlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda bazalt dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin cam dokuma kumaş takviyeli kompozitlere göre üç nokta eğilme dayanımı ve ısı geçirgenlik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Seydibeyoğlu ve ark. (2015) bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme dayanım özelliklerini grafen nanopartikül ve karbon nanotüp kompozitler yardımıyla artırmaya çalışmışlardır. Bu doğrultuda %0,1 ve 0,5 katkılı grafen nanotüp ve karbon nanotüp içeren epoksi kompozitlere elle yatırma yöntemi ile bazalt dokuma elyaf üzerine nüfuz ettirilmiştir. Çalışmanın sonunda bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımlarında artışlar meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ancak yapılan bu tez çalışmasında bazalt elyaf ilavesinin üç nokta eğilme direnci değerlerinin düşmesine yol açtığı görülmüştür. Bunun sebebinin dolgu malzemesi olarak kullanılan malzemelerin farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Çizelge 4.28'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) üç nokta eğilme direnci değerine en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.28. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilme Direnci Test Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	41,50	49,93	53,67
2	40,53	57,67	54,45
3	34,67	55,23	54,72
4	74,83		
5	66,80		
6	67,33		
Delta	40,17	7,73	1,05
Rank	1	2	3

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle üç nokta eğilme direnci değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.29.'da gösterilmektedir.

Çizelge 4 29. Üç Nokta Eğilme Direnci Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Üç Nokta Eğilme Direnci S/N Oran Değeri
1	B1	30,6805	30,6805	30,6805	30,6805
2	B2	33,6969	33,6969	33,6969	33,6969
3	B3	32,4443	32,4443	32,4443	32,4443
4	B4	30,4228	30,4228	30,4228	30,4228
5	B5	32,4650	32,4650	32,4650	32,4650
6	B6	33,3304	33,3304	33,3304	33,3304
7	B7	31,0290	31,0290	31,0290	31,0290
8	B8	31,2696	31,2696	31,2696	31,2696
9	B9	30,0485	30,0485	30,0485	30,0485
10	K1	36,3381	36,3381	36,3381	36,3381
11	K2	38,1911	38,1911	38,1911	38,1911
12	K3	37,8084	37,8084	37,8084	37,8084
13	K4	35,7066	35,7066	35,7066	35,7066
14	K5	36,6246	36,6246	36,6246	36,6246
15	K6	37,0983	37,0983	37,0983	37,0983
16	K7	36,9020	36,9020	36,9020	36,9020
17	K8	36,9020	36,9020	36,9020	36,9020
18	K9	35,8478	35,8478	35,8478	35,8478
Üç Nokta Eğilme Direnci (MPa)					**34,266**

Daha sonra üç nokta eğilme direnci testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.24. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.24}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, ηm hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve ηi hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Üç nokta eğilme direnci test değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.29.'da görüldüğü gibi 34,27'dir. Deneylerde üç nokta eğilme direnci test değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.30.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. Üç Nokta Eğilme Direnci Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	32,27	33,51	33,89
2	32,07	34,86	34,43
3	30,78	34,43	34,48
4	37,45		
5	36,48		
6	36,55		
Delta	6,66	1,35	0,59
Rank	1	2	3

Üç nokta eğilme direnci değerleri için Eşitlik 4.25 kullanılmıştır.

$$\eta = \eta m + (\eta A4 - \eta m) + (\eta B2 - \eta m) + (\eta C3 - \eta m) \quad (4.25)$$

$$\eta = \mathbf{34,27 + (37,45- 34,27) + (34,86 - 34,27) + (34,48 - 34,27)}$$

$$\eta = 38,20$$

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.29.'da 11 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.26'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 38,19 – 38,20 \quad (4.26)$$

$$d = 0,01 \text{ dB}$$

Daha sonra eşitlik 4.27 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/ L0 = 10^{d/10} = 10^{0,01/10} = 1,002 \quad (4.27)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda üç nokta eğilme direnci değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 0,2 oranında artması sonucu çıkarılabilmektedir.

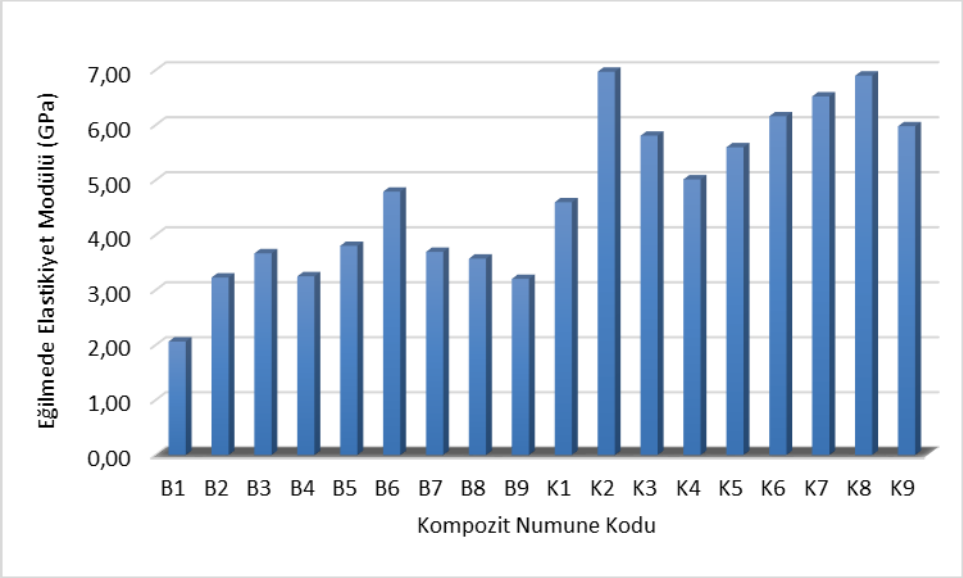
Yapılan analizler sonucunda üç nokta eğilme direnci değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük üç nokta eğilme direnci değerine sahip olacağı öngörülen K30 (%30 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numuneye çekme direnci testi uygulanmış ve 81,98 MPa bulunmuştur.

4.1.5.2. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları

Yapılan testler sonucunda elde edilen üç nokta eğilmede elastikiyet modülü (eğilme modülü) değerleri Çizelge 4.31'de gösterilmektedir. Yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin dağılımı Şekil 4.15.'de gösterilmiş olup, en düşük üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin 1 nolu numunede (B30, %0 Al_2O_3, %0 SiC), en yüksek üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin ise 11 nolu numunede (K30, %2 Al_2O_3, %0 SiC) görülmüştür.

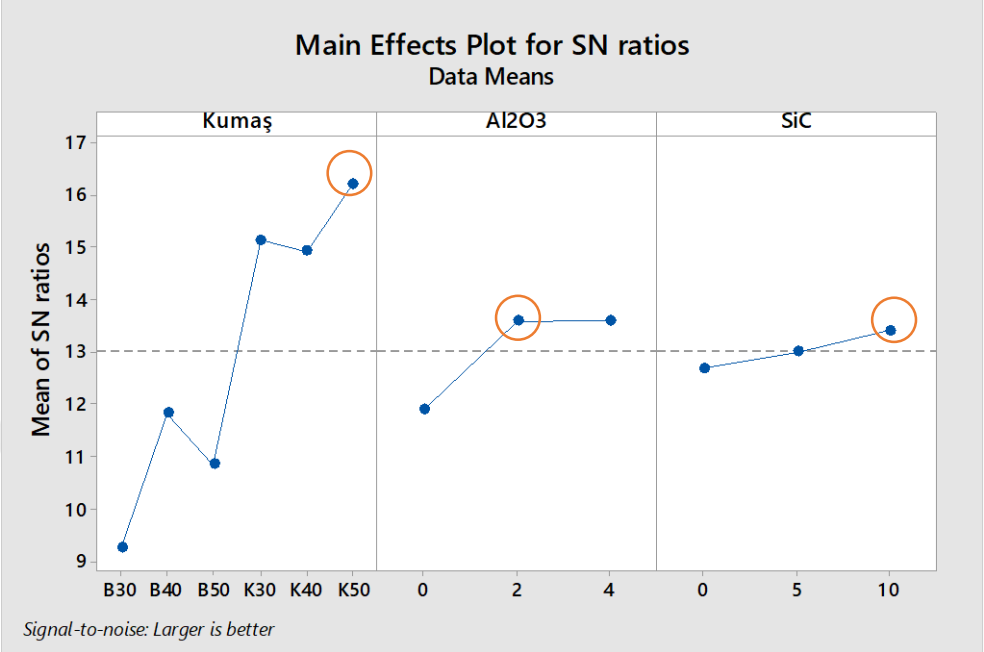
Çizelge 4.31. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçları

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü (GPa)
1	B1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	2,06
2	B2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	3,23
3	B3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	3,67
4	B4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	3,25
5	B5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	3,80
6	B6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	4,79
7	B7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	3,69
8	B8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	3,57
9	B9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	3,20
10	K1	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	4,60
11	K2	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	6,97
12	K3	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	5,81
13	K4	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	5,01
14	K5	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	5,59
15	K6	5 (K40)	3 (4)	1(0)	6,16
16	K7	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	6,52
17	K8	6 (K50)	2 (2)	1(0)	6,90
18	K9	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	5,98



Şekil 4.15. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Test Sonuçlarının Kompozit Numunelere Göre Değişimi

Elde edilen test sonuçları MINITAB 19 programına yüklenerek en yüksek en iyi (larger is better) yöntemi çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen S/N Oran grafiği Şekil 4.16'de gösterilmektedir. Çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde K50 (%50 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numunenin en yüksek üç nokta eğilme direnci değerine sahip olacağı anlaşılmıştır. Bazalt kompozit içerisindeki bazalt oranının %40'a kadar artmasıyla üç nokta eğilmede elastikiyet modülünün arttığı ancak bazalt oranının daha da artması ile elastikiyet modülünün azaldığı; bazalt kumaş oranının artması ile üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin önce azaldığı ancak daha sonra arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.16. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet ModülüTest Sonuçları İçin Çizilen S/N Oran Grafiği

Çizilen S/N Oran grafiğinde Al_2O_3 dolgu malzemesinin %2'ye kadar artmasıyla üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin arttığı ancak daha sonra üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin azaldığı; SiC dolgu malzemesinin eklenmesi ile üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerinin arttığı gözlenmiştir. Çizelge 4.32'de gösterilen ortalamaların yanıt tablosunda (Response Table For Means) üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerine en çok etki eden faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.32. Bazalt ve Karbon Kompozit Numunelere Uygulanan Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Sonuçları İçin Ortalamaların Yanıt Tablosu (Response Table for Means)

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	2,985	4,188	4,756
2	3,947	5,010	4,586
3	3,488	4,933	4,789
4	5,790		
5	5,588		
6	6,465		
Delta	3,481	0,821	0,203
Rank	1	2	3

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyinin yapılabilmesi için öncelikle üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin S/N Oran değerleri ve bu değerlerin ortalamasının tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.31'de gösterilmektedir. Daha sonra üç nokta eğilmede elastikiyet modülü testi için yapılan deneylerin doğrulama testleri için Eşitlik 4.28. kullanılmıştır.

$$\eta = \eta_m + \sum_{i=1}^{j} (\eta_i - \eta_m) \tag{4.28}$$

Bu denklemde η optimum örneğin S/N oran değeri, η_m hesaplanan S/N oran değerinin aritmetik ortalaması ve η_i hesaplanan optimum örneğin faktör değerleridir. Üç nokta eğilmede elastikiyet modülü test değerleri için hesaplanan S/N Oran değerinin ortalaması Çizelge 4.31'de görüldüğü gibi 13,02'dir. Deneylerde üç nokta eğilmede elastikiyet modülü test değerleri için S/N Oran değerlerinin tepki tablosu Çizelge 4.32.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerinin S/N Oran Değerleri

Deney No	Kompozit Numune Kodu	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü S/N Oran Değeri
1	B1	6,2832	6,2832	6,2832	6,2832
2	B2	10,1738	10,1738	10,1738	10,1738
3	B3	11,2843	11,2843	11,2843	11,2843
4	B4	10,2355	10,2355	10,2355	10,2355
5	B5	11,6012	11,6012	11,6012	11,6012
6	B6	13,6035	13,6035	13,6035	13,6035
7	B7	11,3457	11,3457	11,3457	11,3457
8	B8	11,0529	11,0529	11,0529	11,0529
9	B9	10,1063	10,1063	10,1063	10,1063
10	K1	13,2468	13,2468	13,2468	13,2468
11	K2	16,8624	16,8624	16,8624	16,8624
12	K3	15,2781	15,2781	15,2781	15,2781
13	K4	13,9995	13,9995	13,9995	13,9995
14	K5	14,9541	14,9541	14,9541	14,9541
15	K6	15,7905	15,7905	15,7905	15,7905
16	K7	16,2850	16,2850	16,2850	16,2850
17	K8	16,7738	16,7738	16,7738	16,7738
18	K9	15,5314	15,5314	15,5314	15,5314
Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü (GPa)					**13,02**

Çizelge 4.34. Üç Nokta Eğilmede Elastikiyet Modülü Testi Değerleri İçin Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Orans)

Larger is better

Level	Kumaş	Al_2O_3	SiC
1	9,247	11,899	12,675
2	11,813	13,570	12,988
3	10,835	13,599	13,404
4	15,129		
5	14,915		
6	16,197		
Delta	6,950	1,700	0,729
Rank	1	2	3

Üç Nokta eğilmede elastikiyet modülü değerleri için Eşitlik 4.29 kullanılmıştır.

$$\eta = \eta m + (\eta A6 - \eta m) + (\eta B2 - \eta m) + (\eta C3 - \eta m) \quad (4.29)$$

η = **13,02 + (16,197- 13,02) + (13,57 - 13,02) + (13,404 - 13,02)**

η = 17,13

Burada η, optimum örneğin S/N oran değeri, hesaplandıktan sonra yapılan test sonuçlarından herhangi birisi seçilir ve d değeri hesaplanır. Burada Çizelge 4.33'de 11 numaralı deney seçilir ve Eşitlik 4.30.'de gösterildiği gibi d değeri hesaplanır.

$$d = 16,86 - 17,13 \quad (4.30)$$

d = - 0,27 dB

Daha sonra eşitlik 4.31 kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda bulunan optimum numunede iyileştirme oranı tespit edilmiştir.

$$L0/\ L0 = 10^{d/10} = 10^{-0,27/10} = 0,994 \quad (4.31)$$

Burada yapılan Taguchi analizleri sonucunda üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin tespiti için bulunan optimum numunenin % 0,6 oranında düşmesi sonucu çıkarılabilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerleri için çizilen S/N Oran grafiği incelendiğinde en büyük üç nokta eğilmede elastikiyet modülü değerine sahip olacağı öngörülen K50 (%50 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numuneye üç nokta eğilmede elastikiyet modülü testi uygulanmış ve 5.99 GPa bulunmuştur.

4.2. Taguchi Gri İlişkiler Analizi

4.2.1. Isı ve Ses Yalıtım Testleri İçin Taguchi Gri İlişkiler Analizi

Bu bölümde ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı test sonuçlarının gri ilişkiler analizi (grey taguchi analysis) yapılmıştır. Analizler ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerinin ikisi için de larger is better (daha büyük daha iyi) seçilmiştir.

Gri İlişkiler Analiz Metodunun "*Larger Is Better (Daha Büyük Daha İyi)"* yöntemi esas alınarak yapılan hesaplama adımları aşağıda sırayla gösterilmiştir.

1. Referans Serinin Belirlenmesi

n uzunluğundaki referans seri eşitlik (3.1)'e göre hazırlanarak Çizelge 4.35'te verilmiştir. Görüldüğü üzere n, deney sayısını göstermek üzere, değeri 18'dir. Her iki serinin (Ses iletim kaybı ve ısı iletim katsayısı) en küçük ve en büyük değerleri çizelgede işaretlenmiştir.

Çizelge 4.35. Referans Seriler

	Ses İletim Kaybı (dB)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
ref. Seri	29,9524	0,0391
1	29,3322	0,0362
2	29,9524	0,0305
3	26,3147	0,0333
4	22,8541	0,0311
5	23,9550	0,0330
6	23,0685	0,0313
7	21,3560	0,0313
8	22,3237	0,0294
9	21,5871	0,0302
10	27,9643	0,0391
11	25,9352	0,0348
12	28,2670	0,0373
13	27,0351	0,0318
14	27,7120	0,0319
15	26,8678	0,0330
16	25,2448	0,0302
17	23,5680	0,0308
18	23,2088	0,0306

2. Verilerin normalize edilmesi

Serinin elemanları için “En Yüksek-En İyi” durumunda normalizasyon matrisi eşitlik (3.2)’ye göre bulunur. Burada verilen serilerin hesaplanan normalizasyon matrisi Çizelge 4.36’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.36. Normalize Edilmiş Referans Seri

	Ses İletim Kaybı İçin	**Isı İletim Katsayısı İçin**
Ref. Seri	1,00	1,00
1	0,93	0,70
2	1,00	0,11
3	0,58	0,40
4	0,17	0,18
5	0,30	0,37
6	0,20	0,20
7	0,00	0,20
8	0,11	0,00
9	0,03	0,08
10	0,77	1,00
11	0,53	0,56
12	0,80	0,82
13	0,66	0,25
14	0,74	0,26
15	0,64	0,37
16	0,45	0,08
17	0,26	0,15
18	0,22	0,12

3. Normalize edilmiş serinin referans serisine olan uzaklık matrisi eşitlik (3.4)'e göre hesaplanır. Normalize edilmiş her iki serinin referans serisine olan uzaklık matrisleri Çizelge 4.37'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.37. Normalize Edilmiş Serinin Referans Serisine Olan Uzaklığı

	Ses İletim Kaybı İçin	**Isı İletim Katsayısı İçin**
Ref. Seri	1,00	1,00
1	0,07	0,30
2	0,00	0,89
3	0,42	0,60
4	0,83	0,82
5	0,70	0,63
6	0,80	0,80
7	1,00	0,80
8	0,89	1,00
9	0,97	0,92
10	0,23	0,00
11	0,47	0,44
12	0,20	0,18
13	0,34	0,75
14	0,26	0,74
15	0,36	0,63
16	0,55	0,92
17	0,74	0,85
18	0,78	0,88

4. Uzaklık matrisi hesaplanmış serinin Eşitlik (3.5)'e göre gri ilişkiler katsayı matrisi elde edilir. Gri ilişkiler katsayısı matrisi her iki seri için Çizelge 4.38'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.38. Gri İlişkiler Katsayısı Matrisi

	Ses İletim Kaybı İçin	**Isı İletim Katsayısı İçin**
Ref. Seri		
1	0,93	0,77
2	1,00	0,53
3	0,70	0,62
4	0,55	0,55
5	0,59	0,61
6	0,56	0,55
7	0,50	0,55
8	0,53	0,50
9	0,51	0,52
10	0,81	1,00
11	0,68	0,69
12	0,84	0,85
13	0,75	0,57
14	0,79	0,58
15	0,74	0,61
16	0,65	0,52
17	0,57	0,54
18	0,56	0,53

5. Bu adımda çıktıların performansa olan etkileri (ağırlıkları) belirlenir. Ağırlıklar belirlendikten sonra Gri İlişkiler Derecesi eşitlik (3.6) ile hesaplanır. Gri ilişkiler Derecesi büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu sıralama sonucunda en büyük Gri İlişkiler Dereceye sahip deney kombinasyonu, en iyi çoklu performans karakteristiğine sahiptir. Daha sonra Gri İlişkiler Derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenmiştir. Gri ilişkiler derecesi Çizelge 4.39'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.39. Gri İlişkiler Derecesi (GRA)

	GRA	SIRALAMA
1	0,85	2
2	0,77	4
3	0,66	8
4	0,55	14
5	0,60	10
6	0,55	13
7	0,53	16
8	0,51	17
9	0,51	9
10	0,90	1
11	0,69	5
12	0,84	3
13	0,66	9
14	0,68	6
15	0,67	7
16	0,58	11
17	0,56	12
18	0,55	15

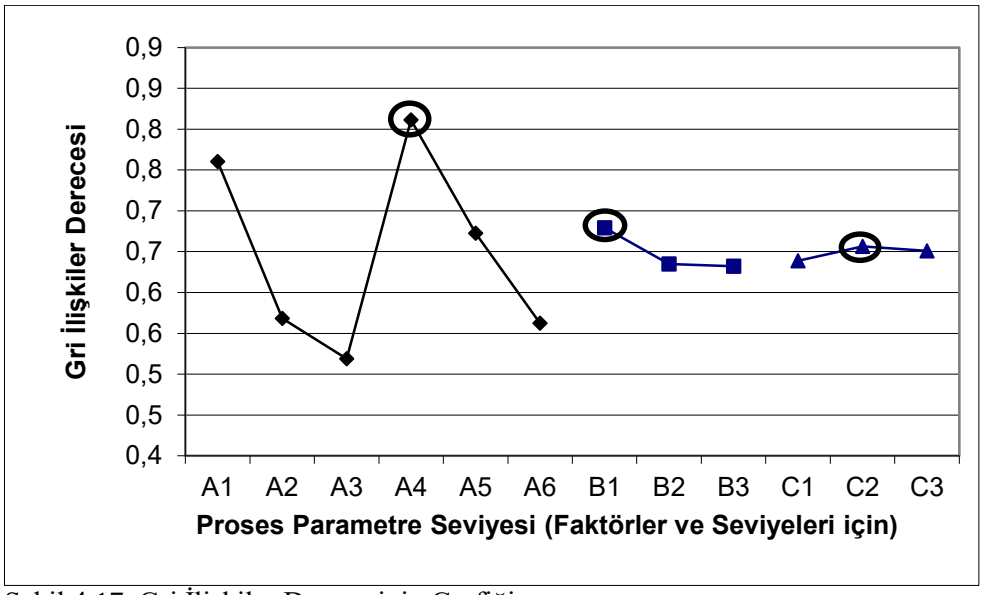
6. Bu adımda ise 5. adımda hesaplanan Gri ilişkiler Derecesi büyükten küçüğe doğru belirlenebilmiştir. Bu sıralamada en büyük Gri İlişkiler Derecesine sahip deney kombinasyonu, en iyi çoklu performans karakteristiğine sahiptir. Çalışmada ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri "larger is better" kullanılarak gri ilişkiler analizi sonucu en iyi çoklu performans karakteristiğine sahip numunenin %30 karbon elyafı, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numune olduğu görülmektedir. Çizelge 4.40'da üç faktör ve her bir faktörün seviyelerine göre elde edilen sonuçları gösterilmiştir. Gri ilişkiler dereceleri hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenir. Bu işlem yapılırken örneğin kumaş faktörünün (A) 1. seviyesi olan %30'un yeni seviye değeri için, deney planında ilk 3 deney de yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle ilk üç deney için hesaplanan gri ilişki derecesi toplanır ve ortalama değer hesaplanarak yeni A1 seviyesi kayıt edilir

(Çizelge 4.39'da (0,85 + 0,77 + 0,66) /3 = 0,76). Tüm seviyeler bu şekilde hesaplanır. A, B ve C faktörlerinin en yüksek – en düşük farkı da hesaplanarak en yüksek en düşük farkı (Max-Min) en büyük olan faktör proseste en etkili faktör olarak belirlenir. Burada en etkili faktör A yani kumaş faktörüdür.

Çizelge 4.40. Faktörlerin Etkinlik Derecesi

Faktörler	Seviyeler						
	1	2	3	4	5	6	Max-Min
A (Kumaş)	0,7603	0,5682	0,5187	0,8111	0,6724	0,5623	0,2924
B (Al_2O_3)	0,6791	0,6351	0,6323				0,0468
C (SiC)	0,6390	0,6566	0,6509				0,0176

7. Gri İlişkiler Derece hesaplandıktan sonra deney faktörlerinin yeni seviyeleri belirlenir. Deney faktörlerinin yeni dereceleri hesaplandıktan sonra gri ilişkiler grafiği çizilir (Şekil 4.17). Şekilden 6. adımdaki gibi A4B1C2 (%30 karbon elyafı, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC) numunesi görülmektedir.



Şekil 4.17. Gri İlişkiler Derecesinin Grafiği

8. Bu adımda ANOVA analizi yapılır ve F değeri en yüksek olan faktör proses performansına etkisi en yüksek olan faktör olarak tespit edilir. Yapılan ANOVA testleri sonucunda Çizelge 4.41 ANOVA analiz sonuçlarının göstermektedir. Bu çizelgede en yüksek F değeri kumaş değeri için ölçülmüş olup, buradan ısı ve ses yalıtım optimizasyonunda en etkili faktörün kumaş faktörü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.41. Gri İlişkiler Derecesinin ANOVA Testi

Analysis of Variance for Means						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Contribution (%)
A (Kumaş)	5	0,210688	0,210688	0,042138	9,31	82,2527
B ($Al_2O_{3)}$	2	0,008267	0,008267	0,004134	0,91	3,2274
C (SiC)	2	0,000966	0,000966	0,000483	0,11	0,3771
Residual Error	8	0,036226	0,036226	0,004528		14,1426
Total	17	0,256147				

9. Bu adımda S/N oranları hesaplanır. 6. Ve 7. adımda ortaya çıkan A4B1C2 (%30 karbon elyafı, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC) için doğrulama deneyi yapılır. Hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.42'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.42. Hesaplanan S/N Oranları

Deney No	A (Kumaş)	B (Al_2O_3)	C (SiC)	S/N (dB)
1	1 (B30)	1 (0)	1 (0)	-2,21538
2	1 (B30)	2 (2)	2 (5)	-2,43901
3	1 (B30)	3 (4)	3 (10)	-2,62265
4	2 (B40)	1 (0)	1(0)	-4,70670
5	2 (B40)	2 (2)	2 (5)	-4,93033
6	2 (B40)	3 (4)	3 (10)	-5,11397
7	3 (B50)	1 (0)	2 (5)	-5,24920
8	3 (B50)	2 (2)	3 (10)	-5,81511
9	3 (B50)	3 (4)	1(0)	-6,04054
10	4 (K30)	1 (0)	3 (10)	-1,52278
11	4 (K30)	2 (2)	1 (0)	-2,13049
12	4 (K30)	3 (4)	2 (5)	-1,97185
13	5 (K40)	1 (0)	2 (5)	-2,99668
14	5 (K40)	2 (2)	3 (10)	-3,56259
15	5 (K40)	3 (4)	1(0)	-3,78802
16	6 (K50)	1 (0)	3 (10)	-4,65190
17	6 (K50)	2 (2)	1(0)	-5,25961
18	6 (K50)	3 (4)	2 (5)	-5,10097

Doğrulama Deneyi

Doğrulama deneyi için, yöntemin önermiş olduğu A4B1C2 (%30 karbon elyafı, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC) numunesi deney planında bulunmamaktadır. Bu nedenle bu kompozit numunesi aynı koşullarda üretilmiştir. Numuneye ısı iletim katsayısı ile ses iletim kaybı testleri yapılmıştır. Tahmin edilen (Gri İlişkiler Analizi ile ortaya çıkarılan) ve yapılan deney için Gri İlişkiler Derecesi hesaplanmıştır. Gri İlişkiler Derecesindeki iyileşme de bulunmuştur. Bu bulgular Çizelge 4.43'de toplu olarak görülmektedir.

Çizelge 4.43. Başlangıç ve Optimum Kompozit Bileşenleri Kullanılarak Üretilen Numunelerin Isı ve Ses Yalıtım Özellikleri (Isı İletim Katsayısı 0,5 ve Ses İletim Kaybı 0,5 Ağırlıklandırma İçin)

	Başlangıç Proses Parametresi	**Optimum Proses Parametreleri**	
		Tahmin	**Deney**
Seviye	A2B1C1	A4B1C2	A4B1C2
Isı İletim Katsayıları (W/mK)	0,031		0,033
Ses İletim Kaybı (dB)	22,85		27,53
Gri İlişkiler Derecesi	0,55	0,85	0,70
Gri İlişkiler Derecesindeki İyileşme		0,15	

(4) nolu deney (A4B1C1) başlangıç tasarım olarak seçilir. Bu deney için Gri İlişkiler Derecesi = 0,55 hesaplanmıştır (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.21'da yer alan optimum tasarımın tahmin ettiği Gri İlişkiler Derecesi, Eşitlik 3.2'ye göre Çizelge 4.16'daki değerler kullanılarak hesaplanır. Isı iletim katsayısı 0,5 ve ses iletim kaybı 0,5 ağırlıklandırma için ortalama Gri İlişkiler Derecesi η_m, 0,65'dir. (Bakınız Çizelge 4.39) $\eta_{A4} = 0{,}8111$, $\eta_{B2} = 0{,}6791$ ve $\eta_{C2} = 0{,}6509$ şeklinde faktörlerin optimum seviyeleridir.

$$\eta = \eta_m + (\eta_{A4} - \eta_m) + (\eta_{B2} - \eta_m) + (\eta_{C2} - \eta_m)$$

$$\eta = 0{,}65 + (0{,}8111 - 0{,}65) + (0{,}6791 - 0{,}65) + (0{,}6509 - 0{,}65) = 0{,}85$$

$$\eta = 0{,}85$$

Optimum proses parametrelerinde yapılan deney için (A4B1C2) Gri İlişkiler Derecesi de metottaki 1. Adım, 2. Adım, 3. Adım, 4. Adım, 5. Adım ve 6. Adım uygulanarak aşağıdaki gibi hesaplanır ve 0,71 olarak bulunur.

	Isı İletim Katsayısı	**Ses İletim Kaybı**
1. Adım:	0,033	27,53
2. Adım:	$\frac{0,033-0,0294}{0,0391-0,0294}=0,37$	$\frac{27,53-21,36}{29,95-21,36}=0,72$
3. Adım:	$1-0,37=0,63$	$1-0,72=0,28$
4. Adım:	$\frac{0+1}{0,63+1}=0,61$	$\frac{0+1}{0,28+1}=0,78$
5. Adım:	Ağırlık Belirlenmesi (Burada 0,5-0,5 için hesap yapıldı.)	
6. Adım:	$(0,61+0,78)/2=0,70$	

Optimum proses parametrelerinde yapılan deney için hesaplanan Gri İlişkiler Derecesi (0,70) ile Başlangıç proses parametreleri için hesaplanan Gri İlişkiler

Derecesi (0,55) arasındaki fark Gri İlişkiler Derecesindeki iyileşmeyi vermektedir. Bu değer tabloda 0,15 olarak görülmektedi

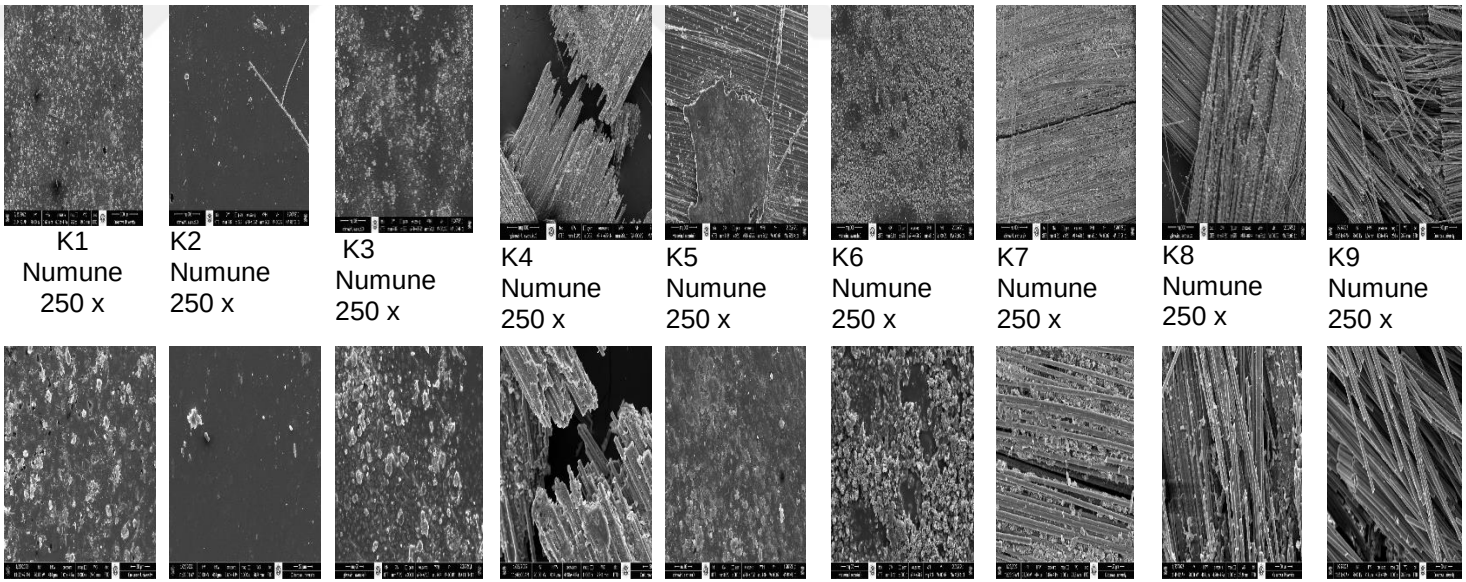
Doğrulama deneyi için Gri İlişkiler Analizinin önermiş olduğu optimum deney planı (A4B1C2) deney planında yer almadığı için önerilen şartlar altında işletme koşullarında deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı çıktılarının sonuçları elde edilmiştir. Doğrulama deneyi için yapılan deneyde ısı iletim katsayısı çıktısı 0,033 W/mK ve ısı iletim kaybı değeri de 27,53 dB olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre Çizelge 4.43'da da görüldüğü gibi, ısı iletim katsayısı için değer 0,031 W/mK'den 0,033 W/mK'e (%6'lık artış) ve ısı iletim kaybı çıktısı için de değer 22,85 dB'den 27,53 dB'e (%20,48'lik artış) yükselmiştir. Bu sonuca göre Tablo 4.10'da da görüldüğü gibi ısı iletim katsayısı değeri 0,031 W/mK'dan 0,033 W/mK (%6'ya) olarak değişmiştir ve ısı iletim kaybı çıktı değeri 22,85 dB'den 27.53 dB'ye yükselmiştir (%20.48).

4.3. Üretilen Kompozit Plakaların SEM Analizleri

Çalışma kapsamında üretilen numunelerden çekme testi numunelerinin kırılma bölgelerinin SEM analizleri sonucunda alınan 250X ve 1000X büyütme ile alınan görüntüleri sırası ile aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Bu görüntülerin genişletilmiş halleri Ek-3'de verilmiştir.

SEM analizi sonucunda elde edilen mikroyapı görüntüleri incelendiğinde üretilen malzemelerin homojen olarak elde edilmediği gözlenmiştir. Ayrıca malzemenin homojen üretilmemesi mekanik testleri olumsuz yönde etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Malzemelerin kimyasal yapısı, yoğunluk, elyaf çapı, homojen dağılımı gibi etkenler mekanik özellikleri önemli derecede etkilemektedir.

Şekil 4.18. Bazalt Kompozitlerin Çekme Testi Numunelerinin Kırılma Bölgelerinin SEM Analizleri Sonucunda Alınan 250X ve 1000X Büyütülmüş Görüntüleri



Şekil 4.19. Karbon Kompozitlerin Çekme Testi Numunelerinin Kırılma Bölgelerinin SEM Analizleri Sonucunda Alınan 250X ve 1000X Büyütülmüş Görüntüleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA Ertan ÖZGÜR

141

Zwick Roell Z010 Çekme ve Eğilme Test Cihazında yapılan çekme özelliklerinin tayini testinden, test edilen numunelerin bazılarının tamamen kırıldığı, bazılarınınsa kırılmadan uzadığı gözlemlenmiştir. Bu durum malzemenin içerisindeki bazalt/karbon, epoksi ve dolgu malzemesinin cinsine göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bazalt ve karbon kumaş çekmeye karşı yüksek direnç gösterirken epoksi bu direncin düşmesine sebep olmaktadır.

Bununla birlikte malzemelerin esneme özelliklerine göre de kırılıp kırılmama durumu farklılıklar gösterebilmektedir. Çekme direnci ile birlikte esneme özellikleri de malzemenin kırılmasına etki edebilmektedir. Örneğin 15 numaralı numune olan K5 (K40 Al2O3 %4 SiC %0) numunesinin çekme direnci yüksek olmasına rağmen kırılmamıştır. Bunun sebebinin bu numunenin eğilme özelliğinin de yüksek olması olduğu değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Taguchi Metodu Analizleri İle İlgili Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Taguchi L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal düzene uygun şekilde %30, 40 ve 50 oranlarında bazalt ve karbon kumaş içeren ve % 0, 2 ve 4 oranında Al_2O_3 (Alümina) ile % 0, 5 ve 10 oranlarında SiC (Silisyum karbür) içeren 18 farklı kompozit el yatırma tekniği ile Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı Laboratuvarlarında üretilmiştir. Üretilen numuneler lazer kesim makinesinde test standartlarında belirtilen ölçülerde kesilmiş ve numune hazırlama işlemi tamamlanmıştır. Üretilmiş ve kesimi yapılmış olan bazalt ve karbon kompozit numunelere Erciyes Üniversitesi Merkez Laboratuarında (TAUM) ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Fakültesi Laboratuvarlarında ve Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezinde (BÜTEKOM) ısı iletkenlik katsayısı, ses yutuculuk, izod darbe testi, çekme testi, üç nokta eğilme testleri yapılmıştır. Test sonuçlarının Taguchi metoduna göre analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm test yöntemleri için optimum numuneler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Yapılan Taguchi analizleri sonucunda ısı iletkenlik katsayısı tespiti testinde optimum numunenin %50 bazalt, %2 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin; ses iletim kaybu testinde optimum numunenin %30 bazalt, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin; izod darbe testi için optimum numunenin %50 bazalt, %4 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numuenin; çekme direnci testi için optimum numunenin %50 bazalt, %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numunenin; çekme modülü testi için optimum numunenin %50 karbon, %4 Al_2O_3ve %0 SiC içeren numunenin; kopmada uzama testi için %40 bazalt, %0 Al_2O_3 ve %0 SiC içeren numunenin; eğilme direnci testi için %30 karbon, %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numunenin, eğilme modülü testi için optimum numunenin %50 karbon, %2 Al_2O_3 ve %10 SiC içeren numunenin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 5.1. Tüm Test Yöntemleri İçin Optimum Numuneler

S.No	Test Adı	Optimum Numune	Deney planındaki Kod
1	Isı İletkenlik Katsayısının Tespiti Testi	B50 (%50 bazalt içeren), %2 Al2O3 ve %5 SiC	X*
2	Ses İletim Kaybı Testi	B 30 (%30 bazalt içeren), %0 Al2O3 ve %5 SiC	x
3	İzod Darbe Testi	B50 (%50 bazalt içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC	x
4	Çekme Direnci Testi	B50 (%50 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC	x
5	Çekmede Elastikiyet Modülü Testi	K50 (%50 karbon içeren), %4 Al_2O_3 ve %5 SiC	K3 3 2 (18 Nolu Numune)
6	Kopmada Uzama Testi	B40 (%40 bazalt içeren), %0 Al_2O_3 ve %0 SiC	B2 1 1 (4 Numaralı Numune)
7	Eğilme Direnci Test	K30 (%30 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC	x
8	Eğilmede Elastikiyet Modülü Test	K50 (%50 karbon içeren), %2 Al_2O_3 ve %10 SiC	x

**: "Deney planında yer almamaktadır" anlamında kullanılmıştır*

Ayrıca çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı yapılmış olsaydı 6x3x3 olmak üzere toplam da 54 adet numune üretilmesi gerekecekti ancak bunun yerine Taguchi Gri İlişkilere Dayalı Taguchi Metodu kullanılarak yapılan deney planında L18 (3-6 Karma Düzen) ortogonal deney dizaynı ile 18 deney yeterli olmuştur. Böylece zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanmıştır. Hem Taguchi hem de Gri İlişkilere dayalı Taguchi metodunun çok faktörlü, çok seviyeli deneysel çalışmalarda kullanılabilecek uygun optimizasyon yöntemleri olduğu ortaya konmuştur.

5.2. Taguchi Gri İlişkiler Analizi İle İlgili Sonuçlar

Tez çalışmasında birden fazla özelliğin optimizasyonuna yönelik çalışma da yapılmıştır. Bu kapsamda ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı test sonuçları için Gri İlişkiler Metodu (Grey Taguchi) kullanılmıştır. Yapılan analizler ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerinin ikisi de larger is better (daha büyük daha iyi) yöntemi ile yapılmıştır.

Yapılan Gri İlişkilere dayalı Taguchi Metodu analizleri sonucunda optimum numune olarak tespit edilen %30 karbon elyafı, %0 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numune üretilmiş ve ısı iletim katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri için ölçümler yapılmış ve gri ilişkiler derecesi hesaplanmış ve analiz sonucunda ısı iletim katsayısı değeri 0,031 W/mK'dan 0,033 W/mK'ya yükselmiş ve %6 iyileşme tespit edilmiş ve ısı iletim kaybı çıktı değeri 22,85 dB'den 27.53 dB'ye yükselmiştir ve %20.48 iyileşme tespit edilmiştir.

5.3. Öneriler

- Çalışma kapsamında el yatırma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan kumaş/epoksi oranlarında yaşanılan güçlükler düşünüldüğünde el yatırma yöntemi yerine başka bir yöntemin kullanılabileceği düşünülmüştür.
- Çalışma kapsamında üretilen bütün numuneler tek katlıdır. Numunelerin tek katlı olmasından dolayı testler yapılırken test kalınlığının çok düşük olması sorunu yaşanmıştır. Bu yapı değiştirilerek bazalt+bazalt, bazalt+karbon, karbon+karbon gibi kombinasyonlarla katlı kompozitler üretilebilir ve böylece kompozitin ısı ve ses yalıtım özellikleri ile mekanik özellikleri incelenebilecektir.

- Çalışma kapsamında kullanılmış olan bazalt ve karbon kumaşlar 2/1 bez ayağı örgü yapısına sahiptir. Bu örgü yapısı değiştirilerek daha sıkı yada daha gevşek kumaşlar üretilebilir.
- Çalışma kapsamında kullanılan kumaş/epoksi oranları haricinde epoksi oranını yada kumaş oranını artırarak, farklı oranlarda karışımlarla kompozitler üretilebilir
- Çalışma kapsamında kullanılan Al_2O_3 ve SiC dolgu malzemelerine ilave olarak TiO_2, grafit, SiO_2 gibi dolgu malzemeleri de kullanılabilecektir.
- Çalışma kapsamında kullanılan bazalt ve karbon kumaşlara ek olarak cam elyaf kumaş veya kevlar kumaş gibi farklı kumaşlar da kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

Adekunle K., Cho S.W., Patzelt C., Blomfeldt T., Skrifvars M.; 2011. Impact and flexural properties of flax fabrics and Lyocell elyaf-reinforced bio-based thermoset. Journal of Reinforced Plastics and Composites 30(8) 685–697.

Agarwal G., Patnaik A, Sharma R.K. : 2013. Thermo-mechanical properties of silicon carbide-filled chopped glass elyaf-reinforced epoxy composites. International Journal of Advanced Structural Engineering 2013, 5:21

Akbaş S. 2020. Tic, Zrc Ve Sic Bileşiklerinin Mekanik, Termodinamik Ve Nötronik Özelliklerinin Teorik Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Başkanlığı Doktora Tezi. 2020.

Aydemir H. : 2013. Seçilmiş Perdelik Kumaşların Ses Yalıtımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversites Fen Bilimleri Ensitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 2013

Baptista R, Medao A. , Guedes M. Mendes R.M. An experimental study on mechanical properties of epoxy-matrix composites containing graphite filler. Science Direct Structural Integrity Procedia 1 (2016) 74 – 081 (XV Portuguese Conference on Fracture, PCF 2016, 10-12 February 2016, Paço de Arcos, Portugal)

Başbuğ F. : 2012. Mekanik Alın Birleştirilmiş Kompozit Plakaların Üç Nokta Eğilme Testleri İle Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 2012

Bektaş V., Çerçevik A. E., Yerel S.K. 2017. "Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi" Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:4, Sayı:1, 2017

Bulut M., VibOrann analysis of carbon and Kevlar elyaf reinforced composites containing SiC particles. Sakarya University Journal of Science, 22 (5), 1423-1431, 2018.

Cerný M., Glogar P., Goliáš P., Hruška J., Jakeš P., Sucharda Z., Vávrová I; 2007. Comparison Of Mechanical Properties And Structural Changes Of Continuous Basalt And Glass Fibres At Elevated Temperatures. Ceramics − Silikáty 51 (2) 82-88 (2007).

Cerný M., P. Glogar, V. Golıáš, J. Hruška*, P. Jakeš, Z. Sucharda, I. Vávrová. Comparıson Of Mechanıcal Propertıes And Structural Changes Of Contınuous Basalt And Glass Fıbres At Elevated Temperatures. Ceramics − Silikáty 51 (2) 82-88 (2007)

Feng C-M., Wang R.-T..; 2000. Performance Evaluation For Airlines Including The ConsideOrann Of Financial Orans. Journal of Air Transport Management 6 (2000) 133-142.

Çelik N. , Senoğlu B. : 2016. Two-way ANOVA when the distribution of the error terms is skew t. Communications in Statistics - Theory and Methods 51:9, pages 3065-3076.

De Rosa I.M., Marra F., Pulci G., Santulli C., Sarasini F., Tirillò J., Valente M.; 2011. Post-impact mechanical characterisation of E-glass/basalt woven fabric interply hybrid laminates. Express Polymer Letters Vol.5, No.5 (2011) 449–459.

Deák T., Czigány T., Tamás P., Németh C.; 2010. Enhancement of interfacial properties of basalt elyaf reinforced nylon 6 matrix composites with silane coupling agents. Express Polymer Letters Vol.4, No.10 (2010) 590–598.

Deák T., T. Czigány, P. Tamás, Cs. Németh. Enhancement Of İnterfacial Properties Of Basalt Elyaf Reinforced Nylon 6 Matrix Composites With Silane Coupling Agents. Express Polymer Letters Vol.4, No.10 (2010) 590–598

Deniz S. 2000. Al_2O_3 takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretimi, mekanik ve fiziksel özellikleri ile mikroyapı karakterizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisli Anabilimdalı Malzeme Programı Doktora Tezi. 2000

Dorigato A., Pegoretti A.; 2014. Flexural and impact behaviour of carbon/basalt elyafs hybrid laminates. Journal of Composite Materials 2014, Vol. 48(9) 1121–1130.

Dönmez E.T. : 2017. Geri Dönüşümü Yapılmayan Tekstil Atıklarının Kullanılarak Elektromanyetik Kalkanlama, Isı İzolasyonu Ve Ses Yalıtımı Sağlayan Yüzeylerin Eldesi. Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Anabilim Dalı Doktora Tezi 122 Sayfa. 2017

Durgun İ. : 2014. El Yatırma Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi. 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 15-16 Mayıs 2014

Düzyol S., 2016. Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Kullanılarak Karadon (Zonguldak) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu Davranışının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), ss. 77-84, Aralık 2016.

Erol M. 2019. Tüy Materyalinden Ses Yalıtım Amaçlı Çok Katmanlı Yapıların Geliştirilmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi. 2019

Eşme U., Bayramoğlu M., Aydın H. : 2009. Galetaj İşleminin Taguchi Tabanlı Gri İlişki Çözümlemesi İle Optimizasyonu. 2. Mühendislik Sempozyumu, 30 Nisan-1 Mayıs 2009, Çankaya Üniversitesi, Ankara.

Fan W, Li D., Li J., Li J., Yuan L., Xue R., Sun R. ve Meng J. :2018. Electromagnetic properties of three-dimensional woven carbon fiber fabric/epoxy composite. Textile Research Journal 2018, Vol. 88(20) 2353–2361

Fazio P.D.; 2011. Basalt Fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application. Italy: Energia Ambiente e Innovazione; 2011. p. 89–96.

Ferrante L., Sarasini F., Tirillò J., Valente M., Valente T., Cioffi S., Iannace S., Sorrentino L.; 2014. Effect Of Basalt Fibre Hybridization On The Low Velocity Impact Behaviour Of Woven Carbon Fıbre/Epoxy Lamınates. The 19th Internatıonal Conference On Composıte Materıals

Fomichev S.V., Dergacheva N. P., Steblevskii A. V., Krenev V. A.; 2010. Production of Ceramic Materials by the Sintering of Ground Basalt. Khimicheskaya Tekhnologiya, 2010, Vol. 11, No. 2, pp. 106–110

Fragassa C., Paola S.D., Minak G.; 2013. Improving Mechanical Properties of Green Composites by Hybridization. 4th Conference on Natural Fibre Composites, Rome 17-18 October 2013

Francis M., King L., Srinivasan V., Purushothaman T.; 2014. Basalt Elyaf: An Ancient Material for Innovative and Modern Application. Middle-East Journal of Scientific Research 22 (2): 308-312, 2014.

Frueh S.J., Coons T.P., Reutenauer J.W., Gottlieb W., Kmetz M.A., Suib S. L., :2018. Carbon fiber reinforced ceramic matrix composites with an oxidation resistant boron nitride interface coating. Science Direct Volume 44, Issue 13, September 2018, Pages 15310-15316

Gemi L., Yazman Ş., Uludağ M., Dispınar D., Tiryakioğlu M. 2017. The Effect Of 0,5 Wt % Additions Of Carbon Nanotubes & Ceramic Nanoparticles On Tensile Properties Of Epoxy – Matrix Composites : A Comparative Study. Mater Sci Nano Technol. 2017 ; 1(1) : 15-22.

Ghosh S.K., Rajesh P., Srikavya B., Rathore S.K., Prusty R.K., Ray B.C. : 2018. Creep behaviour prediction of multi-layer graphene embedded glass fiber/epoxy composites using time-temperature superposition principle. Science Direct Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 107, April 2018, Pages 507-518

Gilewicz P., Dominiak J., Cichocka A., Frydrych I.; 2013. Change in Structural and Thermal Properties of Textile Fabric Packages Containing Basalt Fibres after Fatigue Bending Loading. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2013; 21, 5(101): 80-84.

Gururaja M. N., Hari Rao A N.; 2012. A Review on Recent Applications and Future Prospectus of Hybrid Composites. International Journal of Soft Computing and Engineering Volume-1, Issue-6, January 2012.

Gül F., Şenel L. : 2010. Takviye Parçacık Boyutunun SiO2 Takviyeli Al-Si Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerinde Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 14-2(2010),194-199

Gümülcine T, Bekem A., Doğu M., Gemici Z. ve Ünal A.; 2012. İzoftalik Polyester Matrisli Sürekli E-Camı ve Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma. YTÜ Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Volume: 5, Issue: 1, (APR 2013), pp:104-115.

Gün H., Asi D. 2017. Al2O3- TiO2 (%97-3) Seramik Tozparçacık İlaveli Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi 33-40 (2017)

Günal U. Ses İletim Kaybı Özelliği Artırılmış Dokuma Kumaş Tasarımı. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 2020

Güven B; 2017. Bazaltlardan İşlenebilir Cam-Seramik Malzeme Üretim İmkanlarının Araştırılması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2017.

Hasani H., Tabatabaei S.A., Amiri G.; 2012. Grey Relational Analysis to Determine the Optimum Process Parameters for Open-End Spinning Yarns. Journal of Engineered Elyafs and Fabrics Volume 7, Issue 2 – 2012

Hou S., Xie J., Kuang Y., Zheng X., Yao L., Qiu Y.; 2015. Fabrication, Mechanical and Dielectric Characterization of 3D Orthogonal Woven Basalt ReinforcedThermoplastic Polyimide Composites. Journal of Textile Science and Technology, 2015, 1, 35-44.

İç Y.T., Duran H., Keçeci B., İlik E., Bilgiç B.; 2016. Çok Yanıtlı Taguchi En İyilemesine Yönelik Bir Bilgisayar Uygulamasının Geliştirilmesi. Politeknik Dergisi, 2016; 19 (3) : 311-323.

İslam M.F., Bryining M.B., Milkie D.E., Kikkawa J.M. Yodh A.G. : 2005. Thermal conductivity and interfacial resistance in single-wall carbon nanotube epoxy composites. Appl. Phys. Lett. 87, 161909 (2005)

Karabulut H., Karacif K., Çıtak Y. 2019. Al_2O_3 Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerde Mekanik Alaşımlama Süresinin Korozyon Davranışına Etkilerinin İncelenmesi. International Journal of Engineering Research and Development Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2019

Kaya A.İ.,Kısa M., Özen M. :2019. Dokunmuş Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Sönümleme Davranışının Çevresel Koşullar Altında Değişimi. Harran University Journal Of Engineering Year 2019, Volume 4, Issue 3, 1 - 7, 25.12.2019

Kaybal H. B., H. Ulus, A. Avcı. Characterization of Tensile Properties And Toughness Mechanisms on Nano-Al2O3 Epoxy Nanocomposites. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 5, Special Issue 12, May 2016

Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R. : 2007. Isıtma Süreci Ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 25-28.10.2007, Sayfa: 187-195. İzmir.

Khan S.U., J.R. Pothins, K.K. Kim. :2013. Effects of carbon nanotube alignment on electrical and mechanical properties of epoxy nanocomposites. Science Direct Volume 49, June 2013, Pages 26-34

Kocatepe S. 2019: Tavuk Tüyü Liflerinden Ses Yalıtım Amaçlı Dokusuz Yüzey Yapılarının Geliştirilmesi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi 214 Sayfa. 2019

Konstantin L.K., Timoshkin I.A., Gutnikov S., Zhukovskaya E.S., Lipatov Y.V. Lazoryak B. : 2016. Effect of silane/nano-silica on the mechanical properties of basalt fiber reinforced epoxy composites. Composite Interfaces, 24:1, 13-34

Kopac J., Krajnik P., 2007. Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method. Journal of Materials Processing Technology 191 (2007) 400–403

Korkmaz N., Çakmak E., Dayık M. : 2016. Dokuma Karbon Elyaf Takviyeli Karbon Nano Tüp-Epoksi Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Karakterizasyonu. Dergipark Year 2016, Volume 20, Issue 2, 04.06.2016

Kurşun B., Kurt Ü., Güvercin S., Ökten K., Akgül S., Yıldız A.; 2016. An Applicatıon For The Failure Mode And Effects Analysis Integrated With The Grey Relational Analysis. Trakya University Journal Of Engineering Sciences, 17(2): 35-44, 2016.

Lim J.I., Yop K. Kim H.J., Jung D.H.; 2014. Effect of stacking sequence on the flexural and fracture properties of carbon/basalt/epoxy hybrid composites. Carbon Letters Vol. 15, No. 2, 125-128 (2014).

Lipatov Y., Gutnikov S.I., Manylov M.S., Zhukovskaya E.S., Lazoryak B.I.; 2015. High alkali-resistant basalt elyaf for reinforcing concrete. Materials and Design 73 (2015) 60–66.

Longbiao L. : 2015. A hysteresis dissipated energy-based damage parameter for life prediction of carbon fiber-reinforced ceramic-matrix composites under fatigue loading. Science Direct Composites Part B: Engineering Volume 82, 1 December 2015, Pages 108-128

Lopresto V., C.Leone, I.De Iorio, 2011. Mechanical characterisation of basalt fibre reinforced plastic. Composites Part B: Engineering . Volume 42, Issue 4, June 2011, Pages 717-723

Mıstık S.İ., Merdan N.; 2012. Dokuma Bazalt-Cam ve Fındık Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerinin Eğilme Dayanımı ve Isı Geçirgenliklerinin İncelenmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 10 Sayı: 20 Güz 201 s.119-126.

Modak N., Sarkar P. Sahoo P. : 2018. Mechanical and Tribological Characteristics of Aluminium Powder filled Glass Epoxy Composites. Materials Today Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 5496-5505

Mohanty A., Viet C.D., Roger A.C., Adam A.,Mertz D., Baaziz W., Janowska I.: 2021. Structural impact of carbon nanofibers/few-layer-graphene substrate

decorated with Ni for CO2 methanation via inductive heating. Science Direct Applied Catalysis B: Environmental Volume 298, 5 December 2021, 120589

Naslain R.; 2005. Elyaf-Reinforced Ceramic Matrix Composites. State Of The Art, Challenge And Perspectıve, Kompozyty (Composıtes) 5(2005)1.

Niu Z, Ma P., Jin L., Sun B.; 2011. Frequency Features Of 3d Basalt Fiber Composites Under Compression At High Strain Rates. 18th Internatıonal Conference On Composıte Materials.

Ovalı S.; 2015. Bazalt Lifi ve Dolgu Malzemesi Takviyeli Termoplastik Esaslı Kompozit Yapıların Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015.

Önal M. 2021. Al_2O_3 Ve TiB_2 Takviye Elemanları İçeren Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi. 2021 (Sayfa 24).

Öz H.M., Köse E., 2020. Gürültü Önleyici Akustik Süngerlerin Üretimi ve Uygulamaları Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2020

Özgür E. 2013. Seçilmiş Dokuma Kumaşların Kalite Özelliklerine Boyamanın ve Şardonlamanın Etkisinin İstatistiksel Yöntemlerle Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisli Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Özsoy N. :2015. Polimer esaslı fiber takviyeli kompozit malzemelerin tribolojik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi 2015

Öztürk Ö., 2015, Poliüretan Matris Malzemesi ve Cam, Aramid, Karbon Elyaf Kumaş Takviyeleri Kullanılarak Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 27s.

Pãcurariu C., Litã M., Lazãu I., Tita D., Kovacs G.; 2003. Kinetic Study Of The Crystallization Processes Of Some Glass Ceramics Based On Basalt, Vıa Thermal Analysıs. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 2 (2003) 811.821.

Prasanna S M, Vitala H.R., Madhusudhan T. Raju B. R. : 2016. Evaluation Of Mechanical And Tribological Characterization Of Glass-Basalt Hybrid Composites. International Journal of Engineering Research And Advanced Technology (IJERAT) Special Volume. 02 Issue.01, May-2016

Prasath K A., Krishnan B. R. : 2013. Mechanical Properties Of Woven Fabric Basalt/Jute Fibre Reinforced Polymer. Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. Vol. 2, No. 4, October 2013

Rajkumar S., Marimuthu.K.; "Experimental Research on the Fundamental Mechanical Properties of Basalt Elyaf Reinforcement with Epoxy. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, Issue 11, November 2014.

Ramesh K. Nayak, A.D., Ray B.C.. 2014. Effect of epoxy modifiers (Al2O3/SiO2/TiO2) on mechanical performance of epoxy/glass elyaf hybrid composites. Procedia Materials Science 6 (2014) 1359 – 1364

Sabet S.M.M.M, Akhlaghi F. Farsani E.T.; 2015. The Effect Of Thermal Treatment On Tensile Properties Of Basalt Elyafs. J. Ceram. Sci. Tech. 06 [03]245-248 2015.

Sarpkaya Ç., 2014, Taguchı Metoduna Dayalı Gri İlişkiler Analizi İle Haşıl Prosesinin Optimizasyonu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Adana, 120 s.

Sarpkaya Ç., Özgür E., Sabır. E.C.; 2015. The Optimization Of Woven Fabric Tensile Strength With Taguchi Method Based On Grey Relational Analysis. Tekstil ve Konfeksiyon 25(4), 2015.

Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M.;2004. Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. İTÜ Dergisi Mühendislik Cilt:3, Sayı:6, 117-128.

Seydibeyoğlu M.Ö., Shishevan F. A., Acar V., Akbulut H. : 2015. Reçinesine Grafen ve Karbon Nanotüp Eklenmesinin Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Darbe Davranışları Üzerindeki Etkileri." Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu (2015): 10-23.

Singha K.; 2012. A Short Review on Basalt Elyaf. International Journal of Textile Science 2012, 1(4): 19-28.

Su T.L., Chen H.W., Ma C.M., Lu C.F.; 2011. Improving the Quality of Combed Yarn Spun by OE Rotor Spinning Using the Grey-Taguchi Method. Fıbres & Textıles in Eastern Europe 2011, Vol. 19, No. 2 (85) pp. 23-27.

Subagia A. I. D. G., Kim Y.; 2013. A study on flexural properties of carbon-basalt/epoxy hybrid composites. Journal of Mechanical Science and Technology 27 (4) (2013) 987-992.

Subbaya K.M., Suresha B., Rajendra N., Varadarajan Y.S., 2012. Grey-based Taguchi approach for wear assessment of SiC filled carbon–epoxy Composites. Materials and Design 41 (2012) 124–130

Sudheer M., K. Hemanth, K. Raju, Thirumaleshwara Bhat. Enhanced Mechanical and Wear Performance of Epoxy/glass Composites with PTW/Graphite Hybrid Fillers. Procedia Materials Science 6 (2014) 975 – 987

Tábi T., Tamás P., Kovács J.G.; 2013. Chopped basalt fibres: A new perspective in reinforcing poly(lactic acid) to produce injection moulded engineering composites from renewable and natural resources. Express Polymer Letters Vol.7, No.2 (2013) 107–119.

Tabi T., P Bakonyi, S Hajba, PJ Herrera-Franco, T Czigany, JG Kovacs. Creep behaviour of injection-moulded basalt fibre reinforced poly(lactic acid) composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites 2016, Vol. 35(21) 1600–1610

Taylan D.; 2009. Taguchı Deney Tasarımı Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, 62 s.

Turak, B., 2013, "Tekstil Atıklarından Elde Edilen Kompozit Isı Yalıtım Malzemelerinin İncelenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

Turan E. 2004. Bor Karbür Silisyum Karbür Kompozitlerin Sıcak Preseme İle Elde Edilmesi. İnstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004

Türksoy G.H., Üstündağ S., Avcı M.E.; 2019. optimization of coating process parameters for color difference after abrasion of denim fabrics by using taguchi metod. Journal Of Textile and Engineer, Cilt:26, No:116, S:324-329.

Tzeng C.J., Lin Y.H., Yang Y.K., Jeng M.C.; 2009. Optimization of turning opeOranns with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis. journal of materials processing technology 209 (2009) 2753–2759.

Vaidya R. U., Subramanıan K. N. : 1991. Coated Carbon Fibre Reinforcements For A Glass-Ceramicjournal Of Materıals Scıence Letters 10 (1991) 967-969

Vaidya R. U., Rangaswamy T.; 2017. , A Review On E-Glass/ Epoxy Composite Combined With Various Filler Materials And Its Mechanical Behaviour Under Different Thermal Conditions. American Journal of Materials Science 2017, 7(4): 83-90.

Valentino P., Sgambitterra E., Furgiuele F.; 2014. Mechanical Characterization Of Basalt Woven Fabric Composites: Numerical And Experimental Investigation. Frattura Ed Integrità Strutturale, 28 (2014) 1-11.

Van De Velde, K., Kiekens, P., and Van Langenhove, L. (2003). “Basalt fibres as reinforcement for composites.” Proc., 10th Int. Conf. on Composites/Nano Engineering, Univ. of New Orleans, New Orleans.

Vasconcelos G., Camões A., Martins A., Jesus C., Fangueiro R., Silva L.; 2014. Experimental Characterization Of Gypsum-Cork Composite Material Reinforced With Textile Elyafs. Cem Concr Compos. 58, 29-39.

Vasconcelos G., Camões A., Martins A., Jesus C., Fangueiro R., Silva L.; 2014. Experimental Characterization Of Gypsum-Cork Composite Material Reinforced With Textile Elyafs. XIV Portuguese Conference on Fracture (2014).

Xie J., Yao L., Xu F., Li Y., Shan Z., Hui D., Qiu Y.; 2014. Fabrication and characterization of three-dimensional PMR polyimide composites reinforced with woven basalt fabric. Composites: Part B 66(2014) 268-275.

Yaman N., Öktem T., Seventekin N.; 2007. Karbon Liflerinin Özellikleri Ve Kullanım Olanakları. Tekstil ve Konfeksiyon, Sayı:2/2007 Sayfa: 90-95.

Yılmaz R. : 2004. Cam Seramik Matrisli Kompozitlerde Numune Kalınlıklarının Isıl Yayınıma Etkisi. Journal Of Engineering And Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 2004/1

Yunus D.E. Hea R., Shib W., Kaya O., Liua Y.; 2017. Short elyaf reinforced 3d printed ceramic composite with shear induced alignment. Ceramics International 43 (2017) 11766–11772.

Zeng Y., Liu H., Du X. Mai Y.W. : 2012. Improving interlaminar fracture toughness of carbon fibre/epoxy laminates by incorpoOrann of nano-particles. Science Direct Composites Part B: Engineering Volume 43, Issue 1, January 2012, Pages 90-94

..... http://www.bandirmasove.com/isi-yalitimi-nasil-olmali.html (Erişim Tarihi: Nisan 2022)

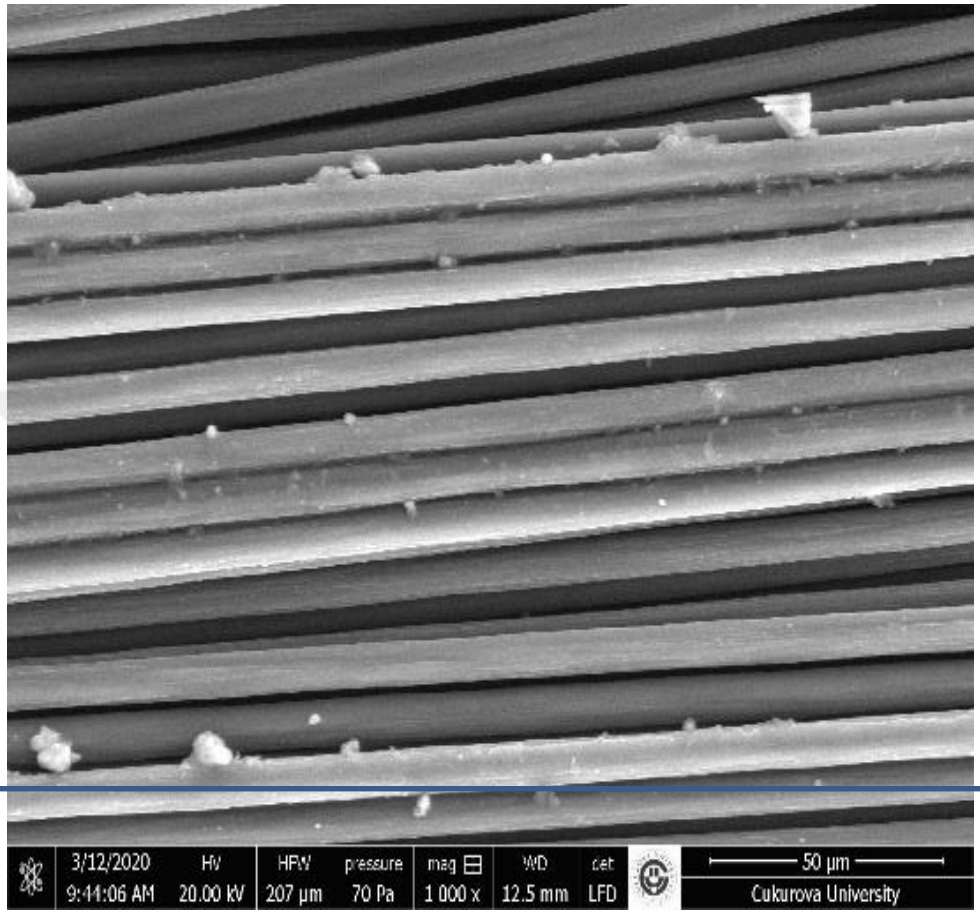
……. https://kardesleryapi.net/eskisehir-isi-yalitimi-malzemeleri.html (Erişim Tarihi: Nisan 2022)

ÖZGEÇMİŞ

Ertan ÖZGÜR, İlkokulu Erzurum'un Hınıs İlçesi, Kahramanmaraş'ın Ağabeyli Köyü ve Tarsus'da okudu. Ortaokul ve lise öğrenimini de Tarsus'da yaptıktan sonra 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve 2013 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başlayan Ertan ÖZGÜR Adana Valiliğinde çalışmakta olup, evli ve Ada Sarya isiminde, 6 yaşında bir kız çocuğu babasıdır.

EKLER

EK – 1

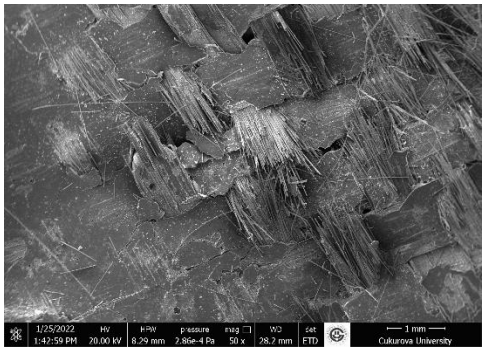


SEM cihaz özellikleri

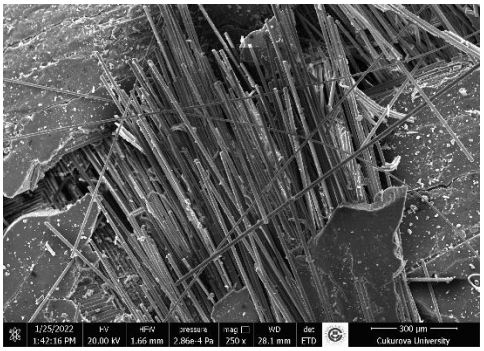
EK – 2 Kalınlık Test Sonuçları

Kalınlık Test Sonuçları

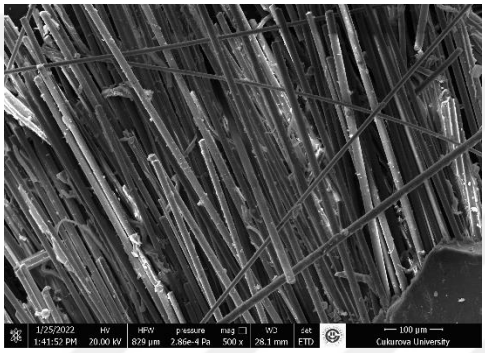
BAZALT	Kompozit Numune Kodu	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**B8**	**B9**
	Ortalama (mm)	0,54	0,75	0,57	0,37	0,46	0,36	0,35	0,35	0,36
KARBON	Kompozit Numune Kodu	**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**
	Ortalama (mm)	0,73	0,80	0,60	0,45	0,51	0,39	0,35	0,39	0,42



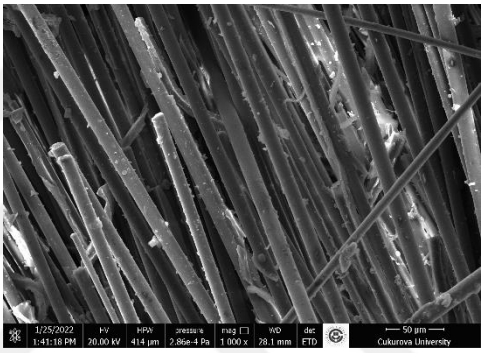
a) B1 Numune 50 x büyütme



b) B1 Numune 250 x büyütme

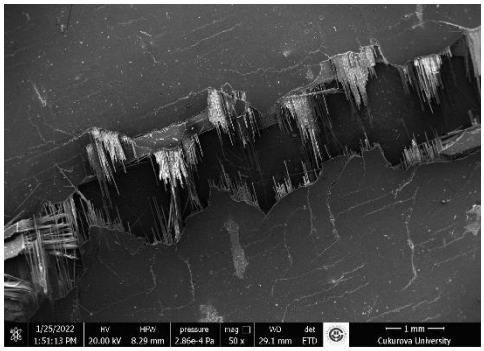


c) B1 Numune 500 x büyütme

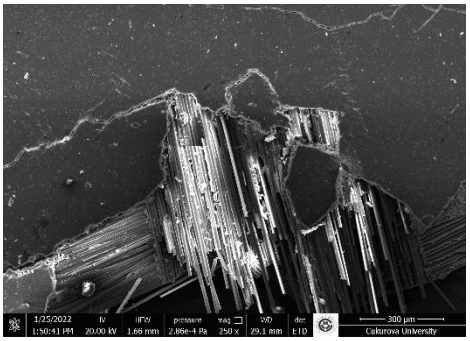


d) B1 Numune 1000 x büyütme

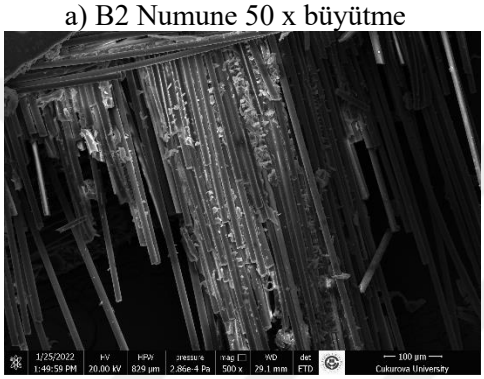
Şekil 2. B1 (B30 Al2O3 %0 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



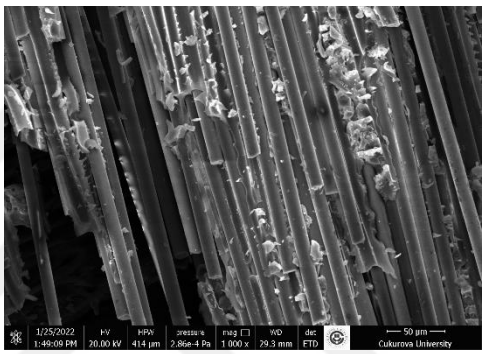
a) B2 Numune 50 x büyütme



b) B2 Numune 250 x büyütme

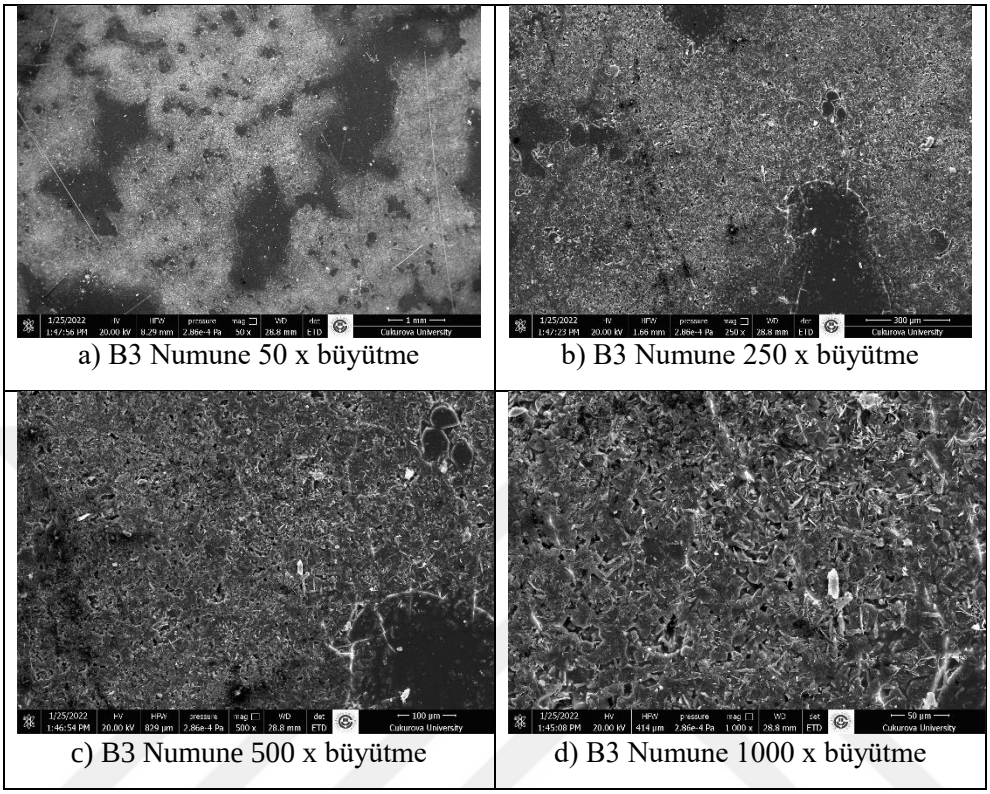


c) B2 Numune 500 x büyütme



d) B2 Numune 1000 x büyütme

Şekil 3. B2 (B30 Al2O3 %2 SiC %5) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



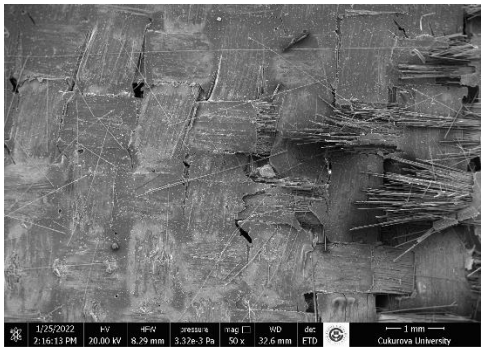
a) B3 Numune 50 x büyütme

b) B3 Numune 250 x büyütme

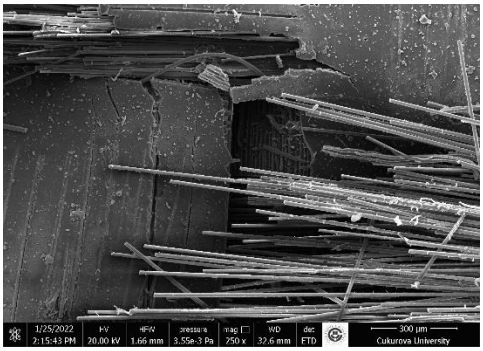
c) B3 Numune 500 x büyütme

d) B3 Numune 1000 x büyütme

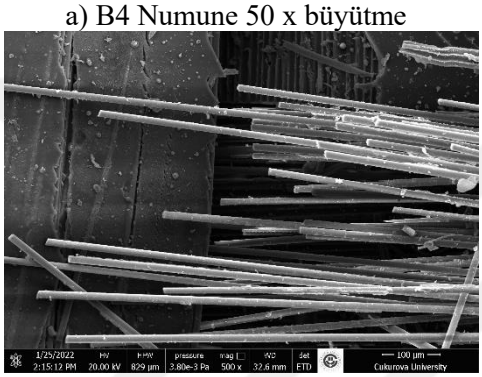
Şekil 4. B3 (B30 Al2O3 %4 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



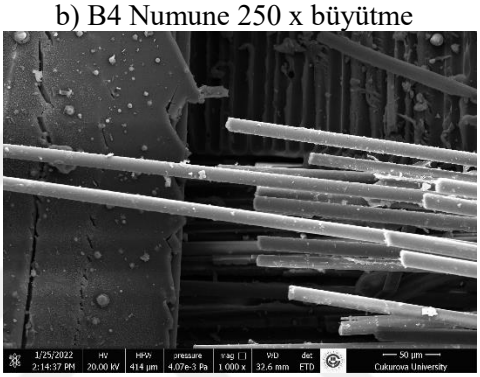
a) B4 Numune 50 x büyütme



b) B4 Numune 250 x büyütme

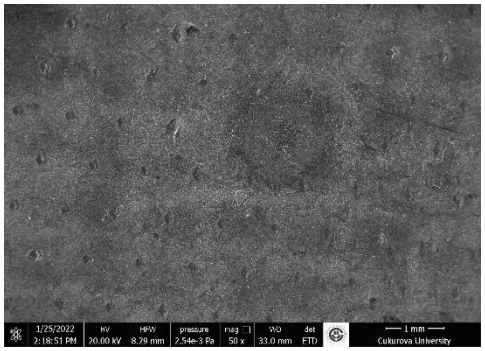


c) B4 Numune 500 x büyütme

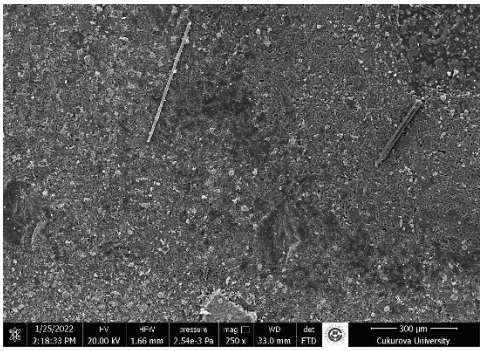


d) B4 Numune 1000 x büyütme

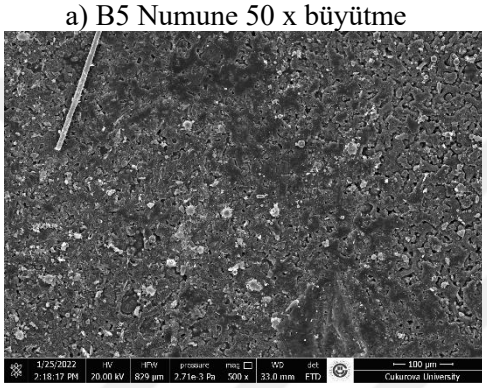
Şekil 5. B4 (B40 Al2O3 %0 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



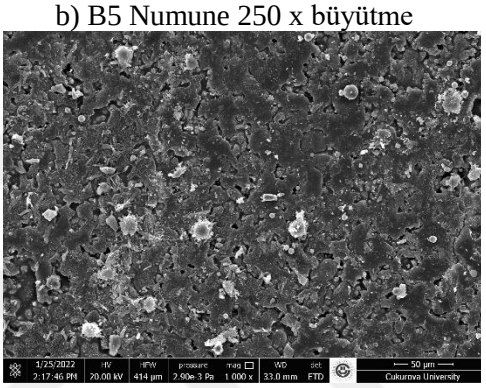
a) B5 Numune 50 x büyütme



b) B5 Numune 250 x büyütme

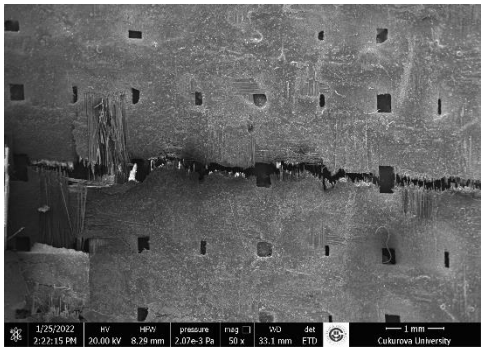


c) B5 Numune 500 x büyütme



d) B5 Numune 1000 x büyütme

Şekil 6. B5 (B40 Al2O3 %2 SiC %5)Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



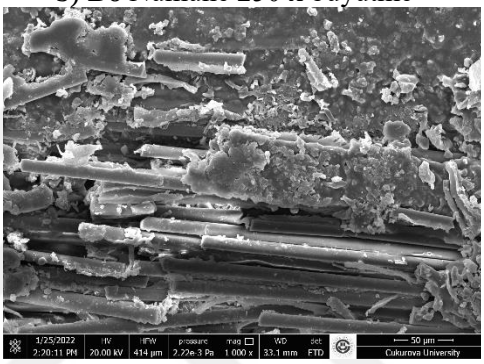
a) B6 Numune 50 x büyütme



b) B6 Numune 250 x büyütme

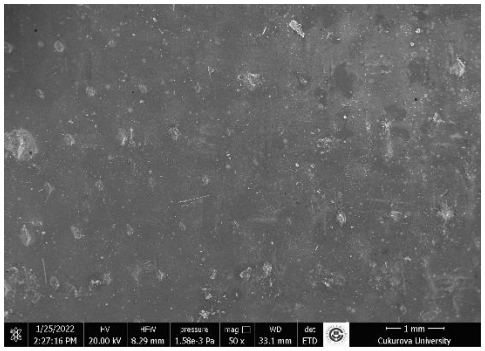


c) B6 Numune 500 x büyütme

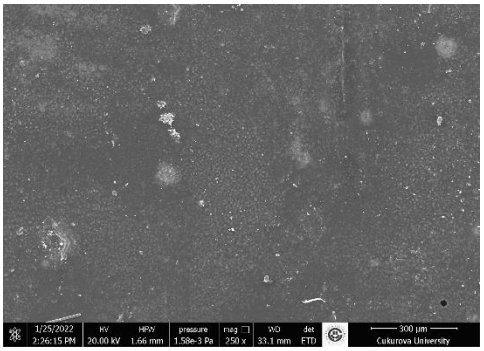


d) B6 Numune 1000 x büyütme

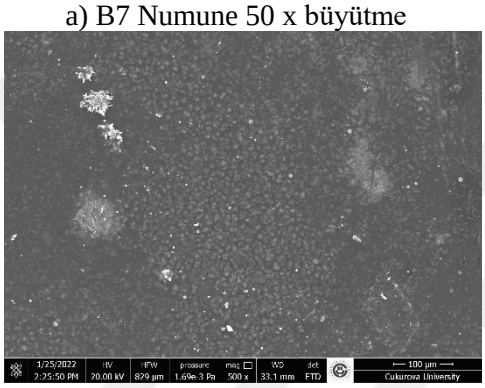
Şekil 7. B6 (B40 Al2O3 %4 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



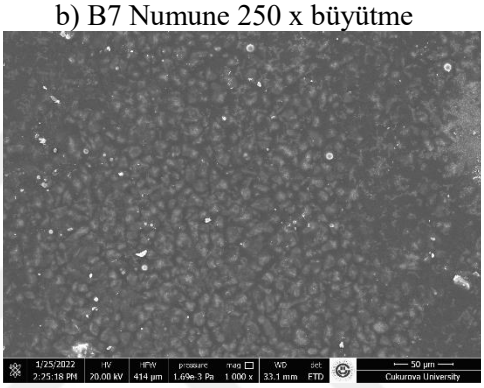
a) B7 Numune 50 x büyütme



b) B7 Numune 250 x büyütme

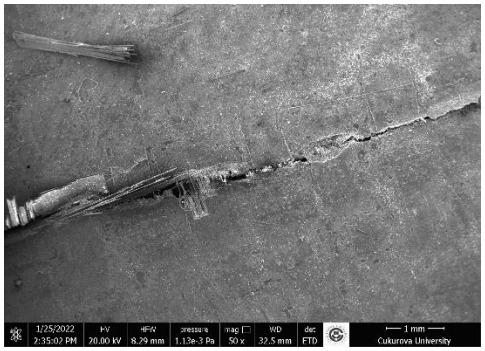


c) B7 Numune 500 x büyütme

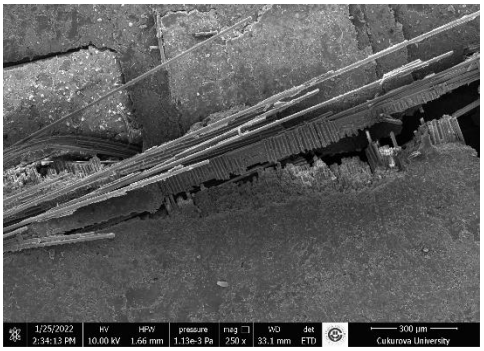


d) B7 Numune 1000 x büyütme

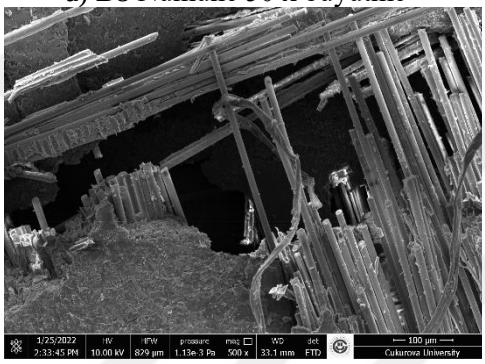
Şekil 8. B7 (B50 Al2O3 %0 SiC %5)Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



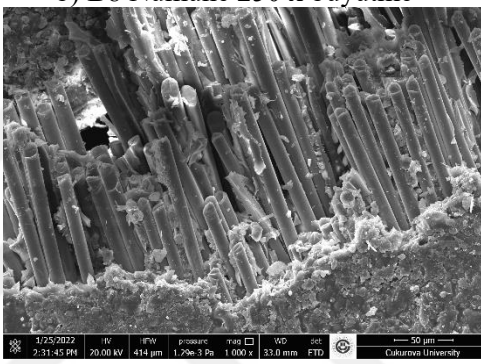
a) B8 Numune 50 x büyütme



b) B8 Numune 250 x büyütme



c) B8 Numune 500 x büyütme

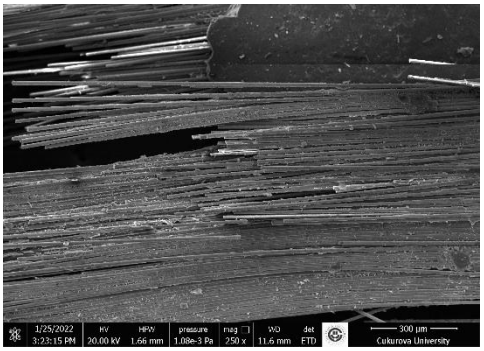


d) B8 Numune 1000 x büyütme

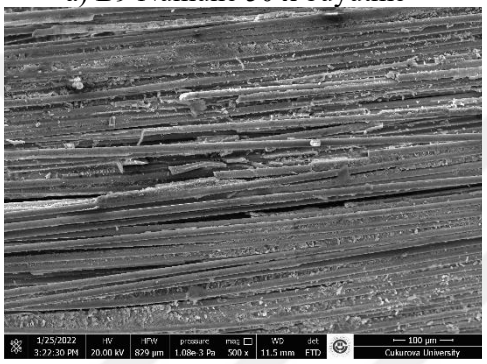
Şekil 9. B8 (B50 Al2O3 %2 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



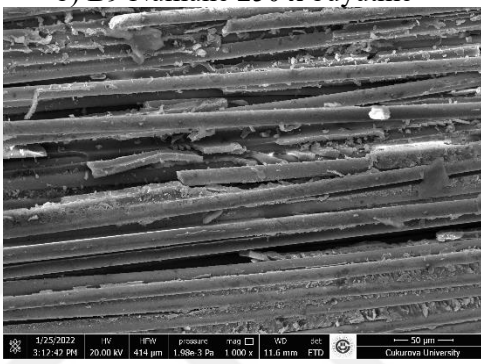
a) B9 Numune 50 x büyütme



b) B9 Numune 250 x büyütme

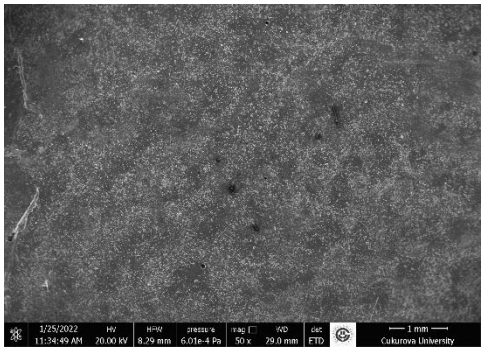


c) B9 Numune 500 x büyütme

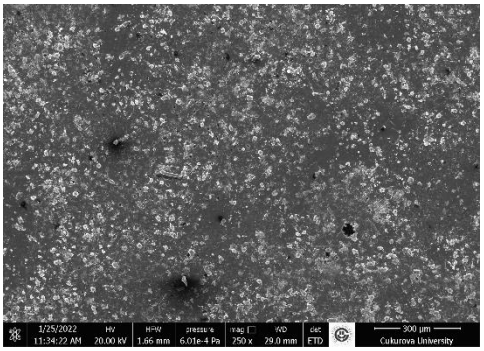


d) B9 Numune 1000 x büyütme

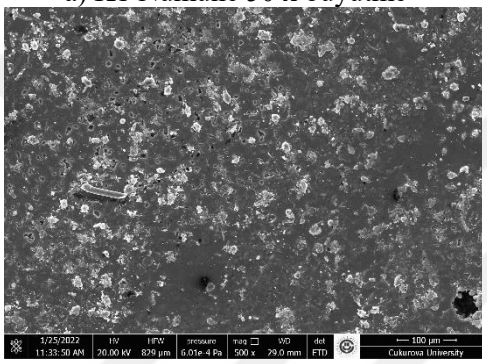
Şekil 10. B9 (B50 Al2O3 %4 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



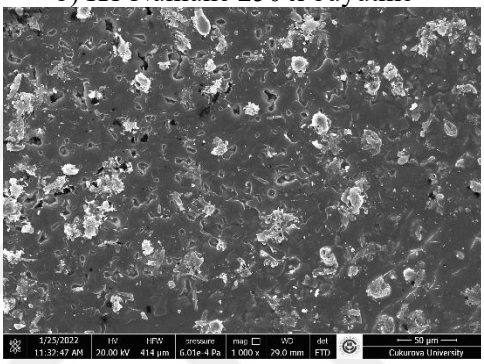
a) K1 Numune 50 x büyütme



b) K1 Numune 250 x büyütme

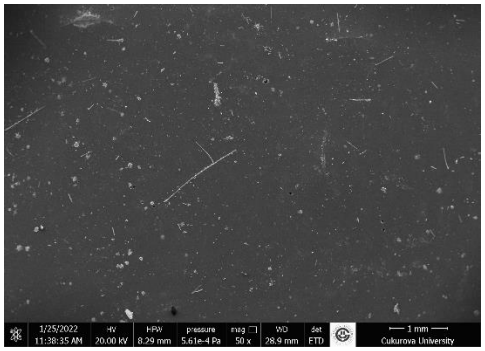


c) K1 Numune 500 x büyütme

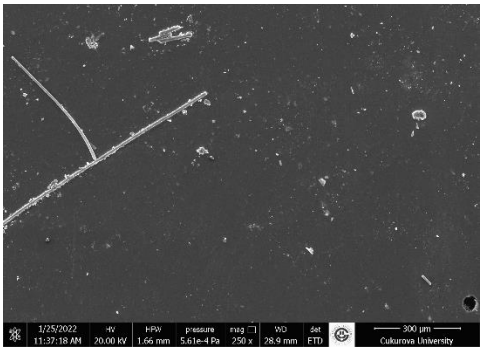


d) K1 Numune 1000 x büyütme

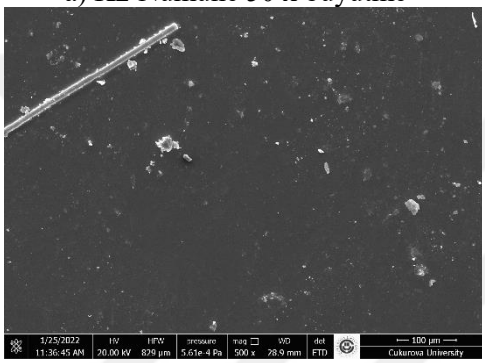
Şekil 11. K1 (K30 Al2O3 %0 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



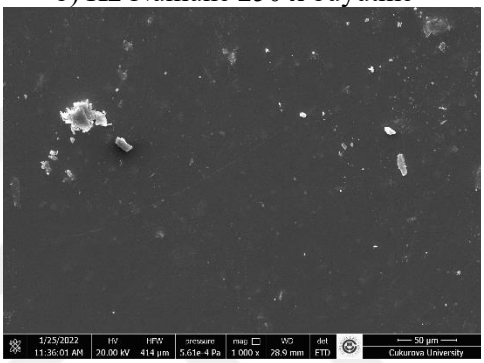
a) K2 Numune 50 x büyütme



b) K2 Numune 250 x büyütme

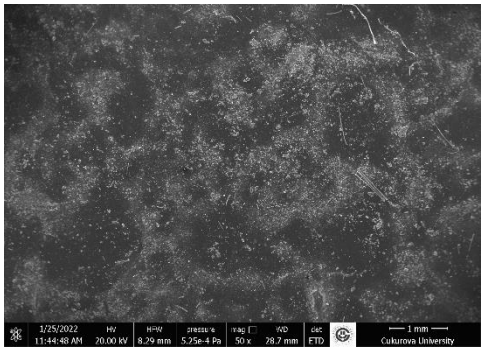


c) K2 Numune 500 x büyütme

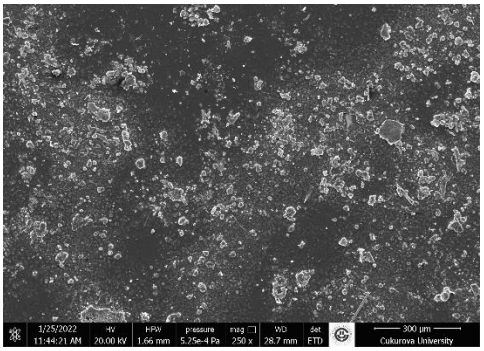


d) K2 Numune 1000 x büyütme

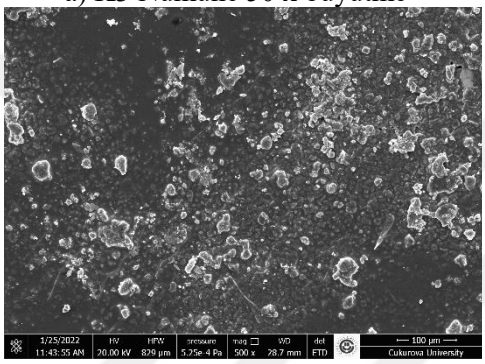
Şekil 12. K2 (K30 Al2O3 %2 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



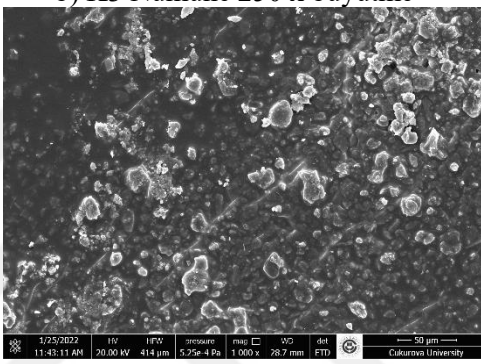
a) K3 Numune 50 x büyütme



b) K3 Numune 250 x büyütme

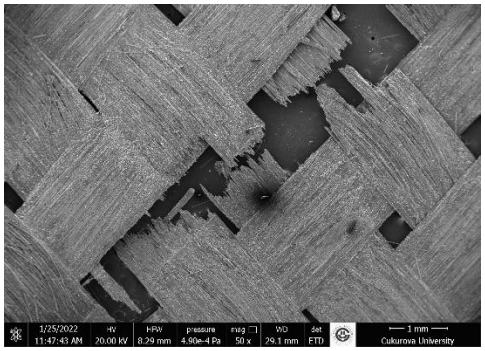


c) K3 Numune 500 x büyütme

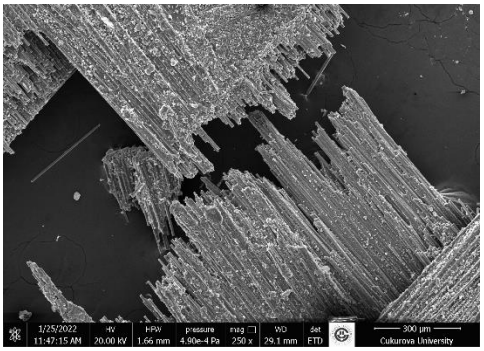


d) K3 Numune 1000 x büyütme

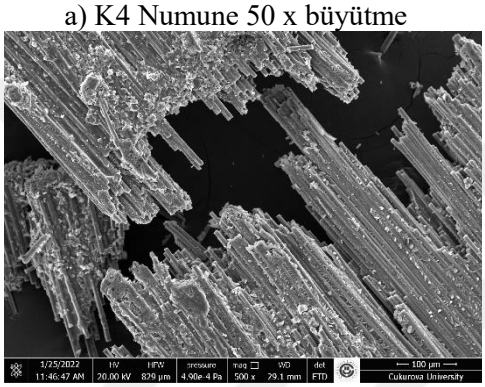
Şekil 13. K3 (K30 Al2O3 %4 SiC %5) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



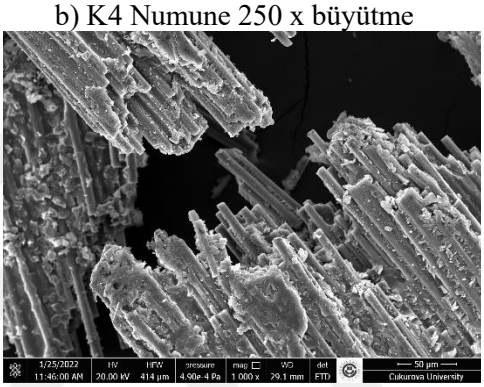
a) K4 Numune 50 x büyütme



b) K4 Numune 250 x büyütme

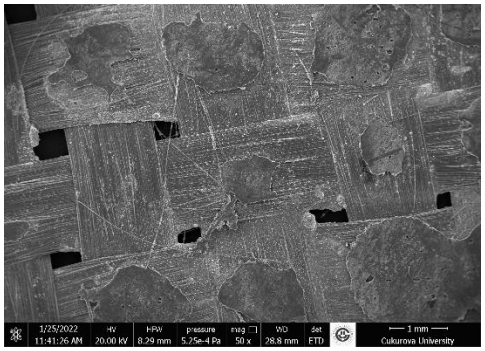


c) K4 Numune 500 x büyütme

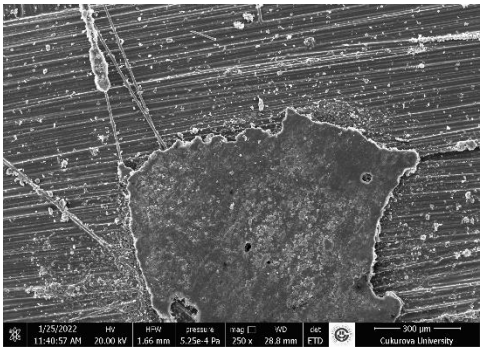


d) K4 Numune 1000 x büyütme

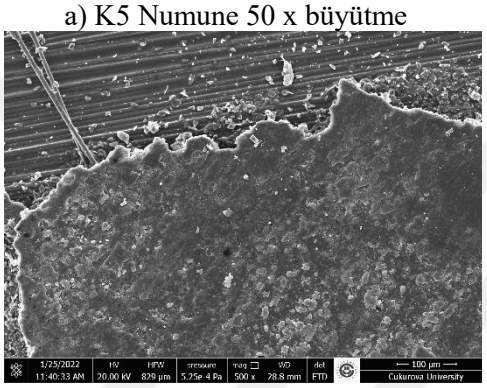
Şekil 14. K4 (K40 Al2O3 %0 SiC %5) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



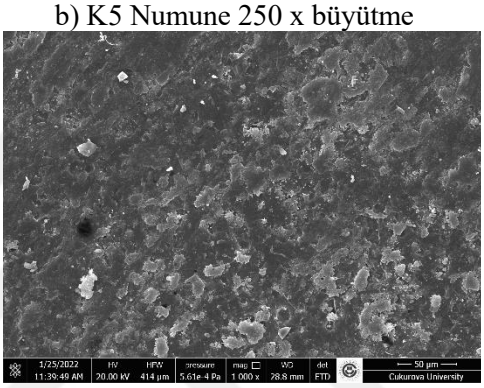
a) K5 Numune 50 x büyütme



b) K5 Numune 250 x büyütme



c) K5 Numune 500 x büyütme

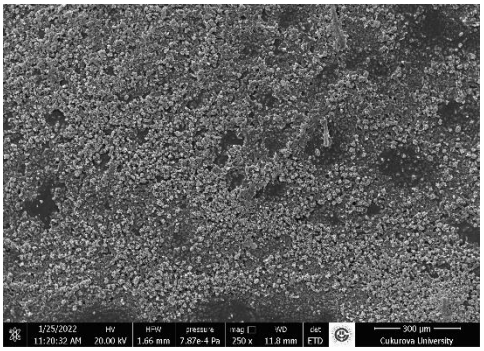


d) K5 Numune 1000 x büyütme

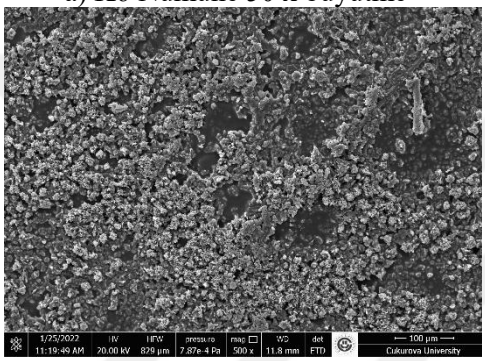
Şekil 15. K5 (K40 Al2O3 %2 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



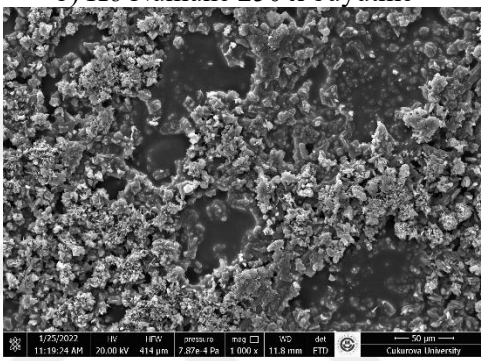
a) K6 Numune 50 x büyütme



b) K6 Numune 250 x büyütme

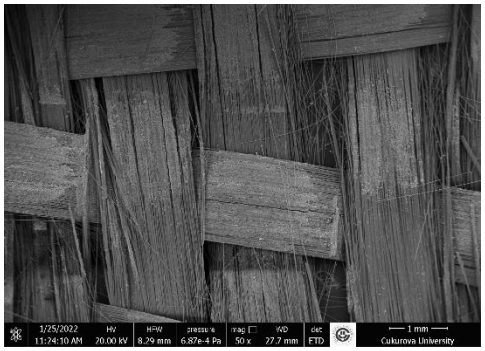


c) K6 Numune 500 x büyütme

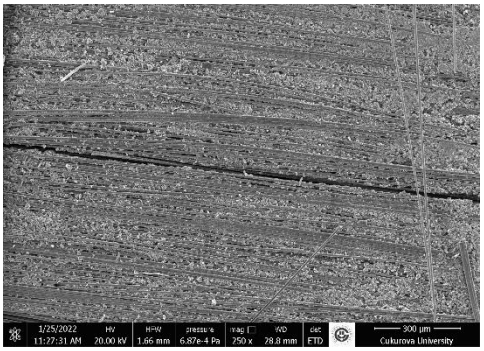


d) K6 Numune 1000 x büyütme

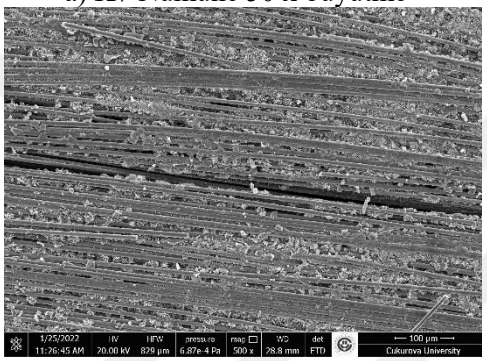
Şekil 16. K6 (K40 Al2O3 %4 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



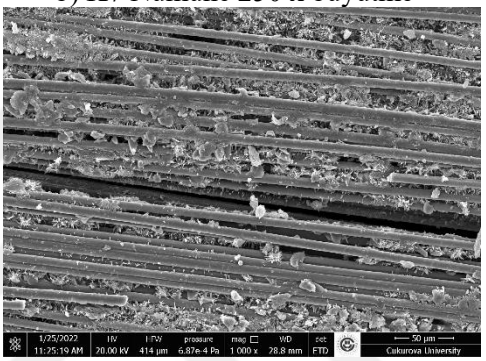
a) K7 Numune 50 x büyütme



b) K7 Numune 250 x büyütme

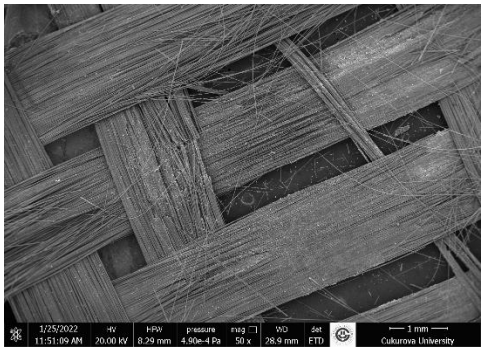


c) K7 Numune 500 x büyütme

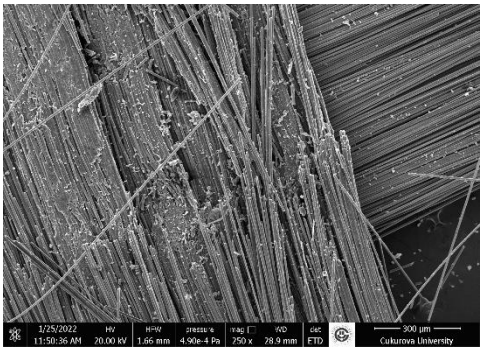


d) K7 Numune 1000 x büyütme

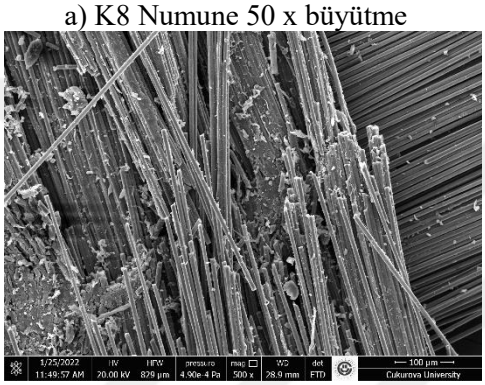
Şekil 17. K7 (K50 Al2O3 %0 SiC %10) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



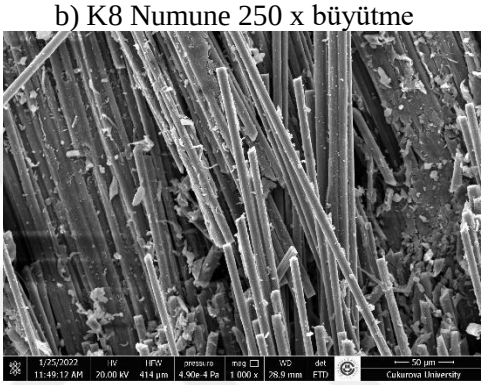
a) K8 Numune 50 x büyütme



b) K8 Numune 250 x büyütme

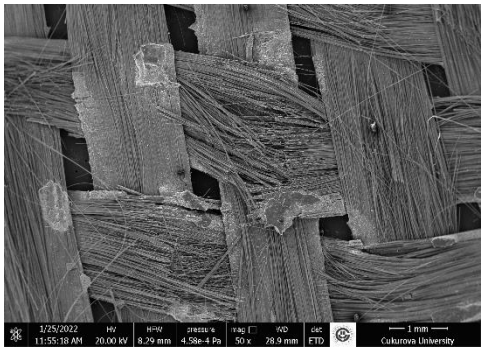


c) K8 Numune 500 x büyütme

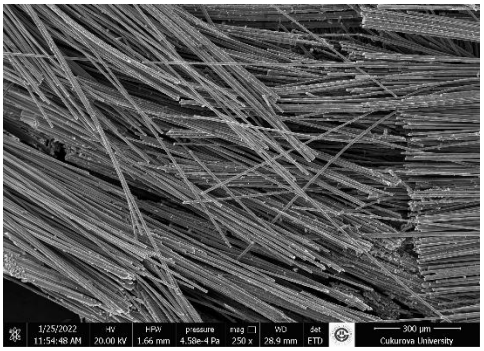


d) K8 Numune 1000 x büyütme

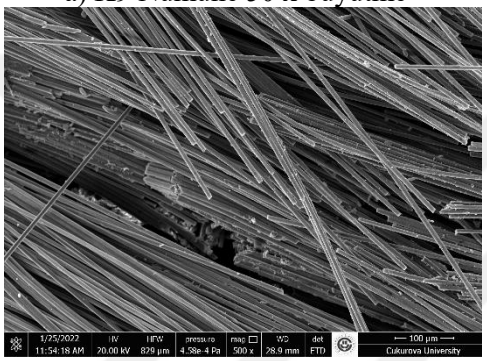
Şekil 18. K8 (K50 Al2O3 %2 SiC %0) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)



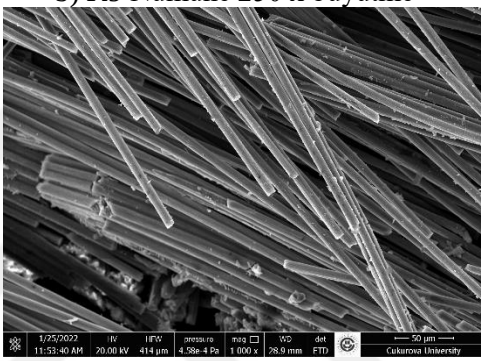
a) K9 Numune 50 x büyütme



b) K9 Numune 250 x büyütme



c) K9 Numune 500 x büyütme



d) K9 Numune 1000 x büyütme

Şekil 19. K9 (K50 Al2O3 %4 SiC %5) Kodlu Numunenin SEM Analizleri (a. 50 kat büyütme, b. 250 Kat Büyütme, c. 500 Kat Büyütme, d. 1000 Kat Büyütme)