TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNSAN VÜCUDUNUN KARBONHİDRAT VE YAĞ KULLANIMININ MODELLENMESİ

ERKAN TİYEKLİ

DOKTORA TEZİ

ADANA / 2020

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNSAN VÜCUDUNUN KARBONHİDRAT VE YAĞ KULLANIMININ MODELLENMESİ

ERKAN TİYEKLİ

Danışman: **Dr. Öğr. Üyesi Mert DEMİRCİOĞLU**

II. Danışman: **Doç. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN**

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN**

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Hüseyin GÜLER**

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Mustafa GÖÇKEN**

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Tuğba DOSDOĞRU**

DOKTORA TEZİ

ADANA / 2020

Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jürimiz tarafından İşletme Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mert DEMİRCİOĞLU
(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN

Üye: Doç. Dr. Hüseyin GÜLER

Üye: Doç. Dr. Mustafa GÖÇKEN

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Tuğba DOSDOĞRU

ONAY
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
…/…/20…

Prof. Dr. Serap ÇABUK
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 24/06/2020

Erkan TİYEKLİ

ÖZET

Yapay Sinir Ağlarıyla İnsan Vücudunun Karbonhidrat ve Yağ Kullanımının Modellenmesi

Erkan TİYEKLİ

Doktora Tezi, İşletme Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mert DEMİRCİOĞLU

Danışman 2: Doç. Dr. Kerem ÖZGÜNEN

Haziran 2020, 96 sayfa

Bu çalışmada yapay sinir ağları kullanılarak kardiyo pulmoner egzersiz testleri (KPET) verileri, 6 dakika yürüme testi verileri ve antropometrik veriler modellenmiştir. Çalışmaya 20-30 yaş arasındaki 44 sedanter erkek birey katılmıştır. Katılımcılara 4 adet egzersiz testi uygulanmış ve bireylerin antropometrik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi, en yüksek yağ oksidasyon hızı aralığı tespiti testi (yağmaks), 40 dk yürüme ve 6 dakika yürüme testi olmak üzere 4 farklı egzersiz testinden oluşmuştur. Yapılan yapay sinir ağları (YSA) modellerinde, uygulanabilmesi için ciddi bir fiziksel alt yapıya, gelişmiş laboratuvar donanımına ve eğitimli personele gereksinim duyulan KPET sonuç parametreleri başarılı bir şekilde nispeten uygulanması daha kolay 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçüm verilerinden tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan YSA modellerinde eğitim, doğrulama ve test kümelerine ilişkin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki uyum 0,98 ve üzeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda KPET Yağmaks testi ve KPET 40 dakika yürüme testi verilerinden elde edilen CHO ve Fat (kkal/day) parametreleri başarıyla tahmin edilmiştir. KPET'lerinin yapılamadığı durumlarda, modellenmiş YSA'lar ile birinci basamak sağlık hizmeti seviyesinde kullanılabilecek daha basit ve ekonomik alternatiflerden olan 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçümlerin kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbonhidrat ve yağ oksidasyon tahmini, yapay sinir ağları, kardiyo pulmoner egzersiz testleri

ABSTRACT

Human Body Carbohydrate and Fat Modeling by Using Artificial Neural Networks

Erkan TİYEKLİ

Doktoral Thesis, İşletme Anabilim Dalı

Supervisor Asts. Prof. Dr. Mert DEMİRCİOĞLU

Supervisor 2: Assoc. Prof. Dr. Kerem ÖZGÜNEN

June 2020, 96 pages

In this study, cardio pulmonary exercise tests (CPET) data, 6-minute walk test data and anthropometric data were modeled using artificial neural networks. 44 sedentary male individuals ages ranging from 20 to 30 were participated in the study. Following anthropometric measurements all Participants were applied to 4 different exercise tests which including maximal cardiopulmonary exercise test, highest fat oxidation rate detection test (Fatmax), 40 minutes walking and 6 minutes walking test. In artificial neural network models, it is aimed to estimate the data of CPET, by using more simpler and easily applied 6 minutes walk test and anthropometric measurement data which required serious physical infrastructure, advanced laboratory equipment and trained personnel in the past. In the ANN models, the correlation between the predicted values of the training, verification and test sets and the actual values was found to be 0.98 and above. 40 minutes walking test data parameters including CHO and Fat (kkal / day) were successfully estimated in the results as well as by using parameters from CPET Fatmaks test and CPET 40 minutes walking test data. In cases where CPET are not available, 6-minute walk test and anthropometric measurements, which are one of the simpler and more economical alternatives that can be used at the primary health care level, are modeled.

Keywords: Carbohydrate and fat oxidation estimation, artificial neural networks, cardio pulmonary exercise tests

ÖNSÖZ

Günümüzde obezite ve sedanter yaşam tarzı dünya genelinde çok yaygın hale gelmiştir. Ülkemizde Sağlık Bakanlığı ve Dünya genelinde Dünya Sağlık Örgütü bu hastalığa önem derecesinde ilk sıralarda yer vermişlerdir. Obezitenin önlenmesinde fiziksel aktivitenin artırılmasının yanısıra sıklığı ve ne şiddetle yapılacağınında belirlenmesi kişilere verilecek egzersiz önerikeri için oldukça avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma ile yapay zekâ teknolojileri kullanarak bu egzersiz önerilerini verebilecek yüksek maliyetli testler yerine nispeten daha kolay yöntemler ile elde etmek araştırılmıştır.

Bu çalışmada, yoğun akademik çalışmaları arasında zamanını ayırarak bana yol gösteren ve yardımcı olan tez danışmanlarım Doç. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN ve Dr. Öğretim Üyesi Mert DEMİRCİOĞLU'na ilgileri ve sağladığı destekler için teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen tez izleme komitesi jüri üyeleri Prof. Dr. Erkut DÜZAKIN ve Doç. Dr. Hüseyin GÜLER'e çalışmama verdiği destekten ötürü sonsuz teşekkür ederim. Çalışmanın başından itibaren her zaman desteğini ve çok kıymetli fikirlerini esirgemeyen Prof. Dr. Sanlı Sadi KURDAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca KPET ve diğer ölçümlerinde her zaman desteklerini veren başta Arş. Gör. Dr. Özgür GÜNAŞTI olmak üzere Dr. Öğretim Üyesi Çiğdem ÖZDEMİR, Ümüt ADAŞ, Arş. Gör. Abdullah KILCI, Arş. Gör. Ömer Cumhur BOYRAZ'a ve Olgun DURAN'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmayı gerçekleştirdiğim dönem içerisinde desteklerini her zaman hissettiğim aileme gösterdikleri sabır ve özveriden dolayı şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 9969 Proje ID ve SDK-2018-9969 proje kodu ile desteklenmiştir.

ADANA, 2020 Erkan TİYEKLİ

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYANI ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
ÖNSÖZ ..... **iv**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **x**

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Problem 2
1.2. Çalışmanın Amacı 3
1.3. Çalışmanın Önemi 3
1.4. Çalışmanın Yöntemi 3

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1. Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri 5
2.1.1. Hazır enerji: ATP-PCr sistemi 7
2.1.2. Kısa süreli enerji: Glikolitik enerji sistemi 9
2.1.3. Uzun süreli enerji: Aerobik enerji sistemi 9
2.2. Aerobik Mekanizma 11
2.3. Anaerobik Mekanizma 13
2.4. Egzersiz Testleri 14
2.4.1. Submaksimal Testler 15
2.4.1.1. Submaksimal Saha Testleri 16
2.4.1.1.1. Rockport Yürüme Testi 16
2.4.1.1.2. Cooper Yürüme Testi 16
2.4.1.1.3. Cooper 12 Dakika ve 1,5 Mil Koşu Testleri 16
2.4.1.1.4. Yirmi Metre Mekik Koşu Testi 16
2.4.1.1.5. Step (Basamak) Testleri 17
2.4.1.1.6. Altı Dakika Yürüme Testi 17

2.4.2. Maksimal Testler 17
2.4.3. Kardiyo Pulmoner Egzersiz Testleri 18
2.4.3.1. $\dot{V}O_2maks$ Ölçüm Yöntemleri 19
2.4.3.1.1. Direkt Yöntem (açık devre spirometri yöntemi) 19
2.4.3.1.2. İndirekt Yöntem 19
2.4.3.2. KPET Ekipmanları 20
2.4.3.2.1. Metabolik Araçların Kalibrasyonu 22
2.4.3.3. KPET Parametreleri 23

BÖLÜM III

YaPAY SİNİR AĞLARI

3.1. Yapay Sinir Ağları Nedir? 28
3.1.1. YSA'nın Spor Bilimlerinde Kullanımı İle İlgili Literatür Taraması 28
3.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı 36
3.3. Ağ Topolojisi 39
3.4. Öğrenme Fonksiyonu 40
3.5. YSA Örnekleri 41
3.5.1. Algılayıcı 41
3.5.2. Hopfield Ağı 42
3.5.3. Kohonen Haritaları 43

BÖLÜM IV

YÖNTEM

4.1. Antropometrik Ölçümler 46
4.2. Egzersiz Protokolleri ve İndirekt Kalorimetri 53
4.3. Maksimal Kardiyopulmoner Egzersiz Testi 54
4.4. Yağmaks Testi 55
4.5. 40 dk Yürüme Testi 57
4.6. Altı (6) Dakika Yürüme Testi ve Test Parametreleri 59

BÖLÜM V

BULGULAR VE YORUMLAR

5.1. Yağmaks Testi modeli 61
5.2. 40 dk Yürüme Testi modeli.....63

BÖLÜM IV

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA..... 84
EKLER 94
ÖZGEÇMİŞ..... 95

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. İnsanlardaki tahmini enerji depoları 9
Tablo 2. Egzersiz cevabı ile ilişkili farklı metabolik substratların enerji özellikleri 14
Tablo 3. Submaksimal egzersiz testinin maksimal egzersiz testine göre avantaj, dezavantaj ve dayanakları 15
Tablo 4. Maksimal egzersiz testinin submaksimal egzersiz testine göre avantaj, dezavantaj ve dayanakları 17
Tablo 5. Heyward'in yaş gruplarına göre $\dot{V}O_2$maks değerlendirmesi. A+ üstün, A Çok iyi, B iyi, C orta, D zayıf olarak belirlenmiştir 45
Tablo 6. Yapılacak KPET'lerdeki ölçülecek parametreler 53
Tablo 7. Yağmak testi fat tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri 67
Tablo 8. Fatmaks testi fat tahminlerindeki parametre seçimi için Tablo 7'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performansları 71
Tablo 9. Yağmaks testi CHO tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri 71
Tablo 10. Yağmaks testi CHO tahminlerindeki parametre seçimi için Tablo 9'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performansları 76
Tablo 11. 40 dk Yürüme Testi Fat tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri 76
Tablo 12. 40 dk Yürüme Testi Fat tahminlerindeki parametre seçimi için Tablo 11'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performansları 78
Tablo 13. 40 dk Yürüme Testi CHO tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri 79

Tablo 14. 40 dk Yürüme Testi CHO Tahminlerindeki parametre seçimi için Tablo 13'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performansları.....80
Tablo 15. Yapılan YSA Modellerindeki Eğitim, Doğrulama ve Test Performansları ...81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Hücresel (iç) ile akciğer (dış) solunum arasındaki bağlantıyı birleştiren gaz taşıma mekanizmaları.....5
Şekil 2. Farklı enerji sistemleri ve onların egzersiz sürecindeki katkısal oranları 6
Şekil 3. Bir glikoz molekülünün oksidasyonu ya da oksidatif hidrolizi esnasında, sitrik asit döngüsü ve elektron taşınması tamamen okside edilinceye kadar olan enerji transferinden 32 ATP net kazanç elde edilir. 8
Şekil 4. Bir trigliserol molekülünün gliserol ve yağ asidi bölümlerine parçalanması. Gliserol, glikolizin enerji yolağına girer. Yağ asidi kısımları, β-oksidasyon yoluyla sitrik asit döngüsüne girer. Elektron taşıma zinciri, salınan hidrojenleri glikoliz, β - oksidasyonu ve sitrik asit döngüsü metabolizmasından işleyerek toplam ATP kazancını verir.....10
Şekil 5. Ventilasyon (VE) ve nefesle verilen O_2 (FeO_2) fraksiyonu ve CO_2 ($FeCO_2$)'nin ölçümünde kullanılan otomatik metabolik sistem unsurlarının şeması 21
Şekil 6. İki yollu vana havanın girdiği yerden çıkışını engeller 21
Şekil 7. Hava hacim ölçeri ile ölçülen ventilasyon hacminin kalibrasyonu 3 Litrelik bir şırınga ile yapılmaktadır.....22
Şekil 8. **(A)** İnsan sinir hücresi; **(B)** Yapay sinir hücresi veya gizli ünite; **(C)** Biyolojik bağlantı; **(D)** YSA bağlantıları.....37
Şekil 9. Yapay bir nöronun basit bir matematiksel modeli 37
Şekil 10. Transfer fonksiyonu örnekleri.....38
Şekil 11. (a) Genel bir YSA yapısı **(b)** İleri beslemeli YSA (perception) **(c)** Geri bildirim YSA 39
Şekil 12. Algılayıcı modeli.....41
Şekil 13. Hopfield Ağı 43
Şekil 14. Kohonen Haritaları.....44
Şekil 15. Stadiometre 47
Şekil 16. Elastik olmayan mezura 47
Şekil 17. Holtain kaliper.....48
Şekil 18. Ölçülen antrepometrik ölçüm yerleri 48

Şekil 19. 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli Yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir. 56
Şekil 20. 48 giriş - 1 çıkış (CHO) parametreli yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir. 56
Şekil 21. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) veya (CHO) parametreli Yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) veya (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir. 57
Şekil 22. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri 62
Şekil 23. 48 Giriş Parametreli - 1 Çıkış (CHO) Parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri..... 63
Şekil 24. 48 giriş Parametreli - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk Yürüme testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri..... 64
Şekil 25. 48 Giriş Parametreli - 1 Çıkış (CHO) Parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri..... 65

BÖLÜM I

GİRİŞ

Beslenme, canlıların büyüme ve gelişme gibi işlevlerin yanı sıra sağlıklı ve üretken bir biçimde yaşayabilmelerine olanak sağlayan enerjinin elde edilmesi amacıyla aldığı besinleri vücudunda işleyerek kullanması olarak tanımlanır (Baysal, 2009). Canlılar, yaşamları için gerekli enerjiyi aldıkları karbonhidrat, yağ ve protein gibi karmaşık organik moleküllerin yapısını oluşturan kimyasal bağları parçalayarak elde ederler. Sadece hayvanlarda değil, bakteri ve bitkilerde de bu yıkım süreçleri sonrasında açığa çıkan enerji, hücre içindeki birçok önemli reaksiyonun gerçekleştirilmesinde kullanılmak üzere, yüksek enerjili molekül olarak adlandırılan adenozin trifosfat (ATP) şeklinde depolanır (Ganong, 2002). İnsanoğlu da diğer canlılar gibi yaşamını sürdürebilmek ve devamlılığını sağlamak amacıyla tarih boyunca besin maddelerine erişmek için mücadele vermiştir.

Bilim ve teknoloji alanındaki hızlı değişimler ve ekonomik güçlenme bir taraftan yetersiz beslenmeye bağlı sağlık problemlerini azaltırken, aşırı beslenme ile ortaya çıkan sorunları da artırmaktadır (Özenoğlu, 2001). Sedanter yaşam tarzı ve ihtiyaç olan miktardan fazla besin alımı, enerji dengesinin depolanma yönünde bozulmasına ve sonuçta obezitenin oluşmasına neden olabilmektedir. Literatürde birçok tanımı olan sedanter kelimesin kökeni, “oturmak” anlamında kullanılan Latince “sedere” kelimesinden gelmektedir (Gibbs, Hergenroeder, & Katzmarzyk, 2015). Sedanter davranış, kişinin dinlenme seviyesinin üzerinde enerji harcadığı, ancak enerji harcamasında artış oluşturmayan uzanma, yatma, oturma, televizyon izleme, telefon veya bilgisayar kullanma gibi pozisyonları içeren aktivitelerdir (Pate, O'Neill, & Lobelo, 2008).

Obezite, vücut yağ yüzdesindeki artış olarak tanımlanmaktadır. Obezite sınırı olarak erkeklerde yağ oranı % 25, kadınlarda ise % 30 kabul edilmektedir. Bu oranın üzerine çıkılması durumunda kişi obez olarak tanımlanmaktır. (US Dept of Health and Human Services, 2000). Sağlıklı bireylerin vücut yapılarına göre sınıflandırılması dolayısıyla kişiye obez tanısının koyulabilmesi için, vücut kitle indeksi (VKİ) olarak tanımlanan bir gösterge kullanılmaktadır. Buna göre, vücut ağırlığı kişinin boyunun karesine oranlanır ve elde eğilen değere göre kişi sınıflandırılabilir (Himes & Dietz, 1994).

Obeziteyi önlemenin temelini diyet, egzersiz ve davranış tedavisini içeren yaşam tarzı değişikliği oluşturur. Enerji tüketimini arttıran temel faktör fiziksel aktivitenin arttırılması olup obezite tedavisinde amaç, bireylerin aldığı enerjiden daha fazlasını harcamasını sağlatmaktır (Tarek & Hamid-Abdel, 2003). Yapılması gerekli egzersizin türü, nasıl, ne kadar, ne yoğunlukta ve sıklıkta yapılacağı ile ilgili programlanmış bir egzersiz reçetesi, obezite tedavisinde önemli bir tamamlayıcı tedavi unsurudur (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2018). Dolayısıyla kişiye özgü, uygun egzersiz şiddetinin belirlenebilmesi de önem kazanmaktadır.

Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET), kişinin kardiyovasküler ve pulmoner sistemleri ile metabolizmasının fonksiyonel kapasiteleri ile egzersize karşı verdikleri yanıtları birlikte değerlendirerek çeşitli patolojilerin yorumlanmasının yanında kişi için en uygun egzersiz şiddetinin tespit edilmesini de sağlamaktadır. Teknolojiye bağlı olarak geliştirilmiş test ekipmanları ile elde edilen yüksek sayıdaki veri, metabolik stres koşulları altında hücresel, kardiyovasküler ve pulmoner sistemlerin yanıtlarını aynı anda incelemek için eşsiz bir fırsat sunmaktadır (Cooper & Storer, 2003).

Gelişen teknolojiye paralel olarak artan işleme ve hesaplama gücü sayesinde yapay zekâ teknolojisi geliştirilerek karmaşık simülasyonların yapılması ve doğadaki birçok olayın sayısal olarak modellenmesi mümkün olmuştur.

1.1. Problem

Biyolojik sinir ağlarından esinlenen yapay sinir ağları, girdiler ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yollar ile laboratuvar ortamında pahalı cihazlarla ve eğitimli personel sayesinde elde edilecek verileri, ilişkili daha kolay yollardan elde edilecek verilerden tahminler yapmak önem arz etmektedir.

Obez bireyler için en uygun şiddetteki egzersizin önerilmesi önem taşımakla birlikte bahsi geçen kardiyopulmoner egzersiz testlerinin uygulanabilmesi için ciddi bir fiziksel alt yapıya, gelişmiş laboratuvar donanımına ve eğitimli personele gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla yaygınlaşmaya başlayan obezitenin önüne geçilebilmesi için birinci basamak sağlık hizmeti seviyesinde kullanılabilecek daha basit ve ekonomik alternatiflere ihtiyaç vardır.

1.2. Çalışmanın Amacı

KPET insan metabolizmasının fonksiyonlarını ve egzersizin metabolizmada yarattığı strese karşı oluşan yanıtları değerlendirerek çeşitli patolojilerin yorumlanmasına imkân tanımaktadır.

Bu araştırmada 20-30 yaş arasında spor yapmayan ve bilinen bir hastalığı olmayan erkek bireylere yapılan 3 adet KPET, 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçümlerden elde edilen verilere göre yağ oksidasyon hızlarını modelleme amaçlanarak bu doğrultuda aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır.

- Maksimal yağ oksidasyon hızı, oluşturulabilecek bir model ile KPET yapmadan, farklı parametreler kullanılarak tahmin edilebilir mi?
- Bireye maksimal yağ oksidasyon hızının gerçekleştiği yürüme şiddetinde 40 dakika süreyle egzersiz yaptırıldığında, beklenen yağ oksidasyon hız değişimi modellenebilir mi?

1.3. Çalışmanın Önemi

Kişiye özgü ve amaca uygun egzersiz şiddetinin belirlenebilmesi bireylerin sağlık problemlerinin çözümünde kullanılabilecek yöntemlerdendir (Cooper & Storer, 2003).

Bu çalışmada oluşturulmak istenen modeller ile antropometrik veriler ve uygulaması nispeten kolay testler ile ilişkilendirilecektir. Bu sayede yapılması hem pahalı hem de tıbbi donanım, eğitimli personel ve zaman gerektiren kardiyopulmoner egzersiz testlerine ihtiyaç duyulmadan bu test sonuçlarının başarılı bir şekilde tahmin edilmesi sağlanacaktır. Bu doğru tahminlerle kolay temin edilebilecek ekipmanlar ile vücut yağ oranını azalttıracak egzersiz önerileri verilebilecektir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada 6 dakika yürüme testi, antropometrik ölçüm ve KPET verileri kullanılarak oluşturulacak YSA modelleri ile KPET sonuç verilerinden olan CHO ve Fat (kkal/day) parametreleri tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu parametreler egzersiz sırasında hangi enerji yolunu kullanmakta olduğunu ifade etmektedir.

Çalışmanın evreni olarak Adana'da yaşayan, egzersiz yapmasına engel olmayan, sigara kullanmayan ve tanısı konulmuş herhangi bir hastalığı bulunmayan 20 – 30 yaş

arasındaki sedanter erkek bireyler seçilmiştir. Veriler toplanırken katılımcılara 4 adet egzersiz testi uygulanmış ve bireylerin antropometrik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi, en yüksek yağ oksidasyon hızı aralığı tespiti testi (yağmaks), 40 dk yürüme ve 6 dakika yürüme testi olmak üzere 4 farklı egzersiz testinden oluşmuşmaktadır. Testlerin her birey için maksimum 30 gün içerisinde tamamlanması planlanarak ölçümler yapılmıştır. Tüm testler öncesi cihazların kalibrasyonları yapılmıştır. Çalışma, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D, Spor Fizyolojisi Bilim Dalı'nda en az 1 hekim ve yardımcı akademik personel ile yapılmıştır.

Verilerin modellemesi, Windows için MATLAB® (versiyon R2016a) programı kullanılarak yapılmıştır. YSA modelleri oluşturulurken 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçüm verilerinin hepsi kullanılmış olup tahmin performansını düşürmeden parametre azaltmak için adımsal regresyon yöntemi kullanılarak parametre seçimi yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının tasarımı, uygulanması, görselleştirilmesi ve simülasyonu için işlevler sağlamak amacıyla Sinir Ağı Araç Kutusu ™ kullanılmıştır.

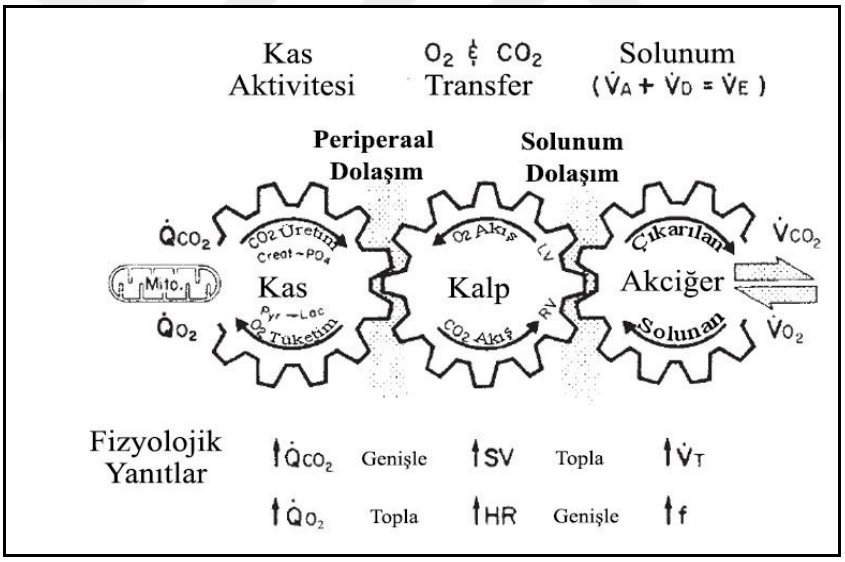
BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

Bu bölüm yapılan testler ile ilişkili genel bilgi içermektedir.

2.1. Egzersiz Sırasında Kullanılan Enerji Sistemleri

İskelet kaslarının performansı kardiyovasküler sistem, solunum sistemi ve metabolik yolaklar ile sıkı ilişki içerisindedir. Hücresel solunumun gerçekleşebilmesi için atmosfer ile akciğerler arasında sağlıklı bir alışveriş döngüsünün sağlanması ve kardiyovasküler sistem tarafından uyumlu şekilde desteklenmesi gerekmektedir (Şekil 1). Uyumlu olmayan eşleşme bu sistemler üzerindeki stresi arttırır ve stres kritik bir seviyeye ulaştığında iş performansını azaltan veya sınırlandıran belirtilere neden olabilir (Wasserman, Hansen, & Sue, 2005).



Şekil 1. Hücresel (iç) ile akciğer (dış) solunum arasındaki bağlantıyı birleştiren gaz taşıma mekanizmaları Kaynak: *(Wasserman, Hansen, & Sue, 2005).*

Egzersiz kapasitesi bu sistemlerin uyumlu çalışması ile ilişkilidir. Kardiyovasküler ve pulmoner sistemler dokulara oksijen ulaştırmayı sağlamak ve dokulardan karbondioksiti uzaklaştırmak için eşgüdüm içerisinde çalışırlar. Bunun gerçekleşmesi için dört süreç vardır.

- Pulmoner ventilasyon: akciğerlerin içine ve dışına doğru hava hareketi

- Pulmoner difüzyon: akciğerler ve kan arasında O_2 ve CO_2'nin transferi
- Kanda O_2 ve CO_2'nin taşınması

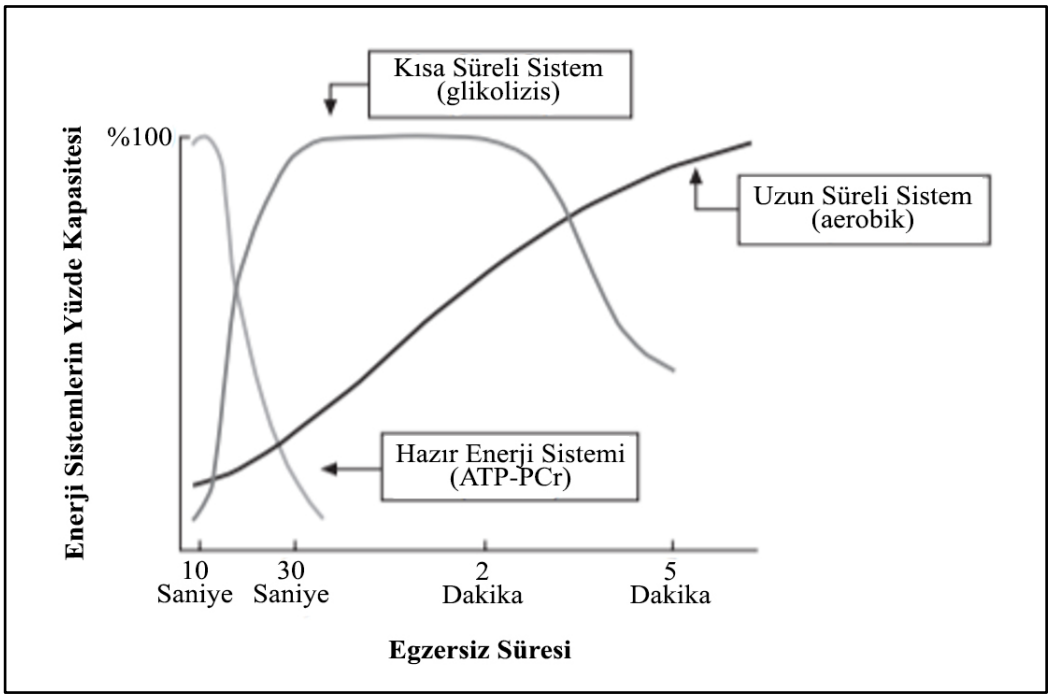
  Kapiller gaz değişimi: Kapiller kan ve çalışan kaslar arasında O_2 ve CO_2'nin değişimi (Balcı, 2011, Balady, 2010)

$$ATP \rightarrow ADP + Pi + Enerji \text{ (ATPaz enzimleri vasıtasıyla)} \qquad (2.1)$$

(ADP: Adenozin Difosfat, Pi: İnorganik Fosfat)

(2.1) denkleminde göründüğü gibi iskelet kas dokusunda depolanmış olarak bulunan yüksek enerjili fosfat bağlarına sahip bir bileşik olan adenozin trifosfat'taki (ATP) üçüncü fosfat grubunun yapıdan ayrılmasıyla açığa çıkan enerji, kas kasılmalarında ve hareketlerinin oluşumunda kullanılır (Yıldız, 2012). 1 mol altı-karbonlu yağ asidinin, sitrik asit döngüsüyle CO_2 ve H_2O'ya kadar yıkımı 44 mol ATP oluşumunu sağlamaktadır (Ganong, 2002).

Egzersiz sırasında iskelet kaslarının kasılması için gerekli olan ATP üretiminin sağlandığı üç ayrı enerji transfer sistemi vardır (Şekil 2) . Egzersiz süresi ve yoğunluğu, hangi enerji sisteminin kaynak olarak kullanılacağını belirler (Foss & Keteyian, 1998).



Şekil 2. Farklı enerji sistemleri ve onların egzersiz sürecindeki katkısal oranları

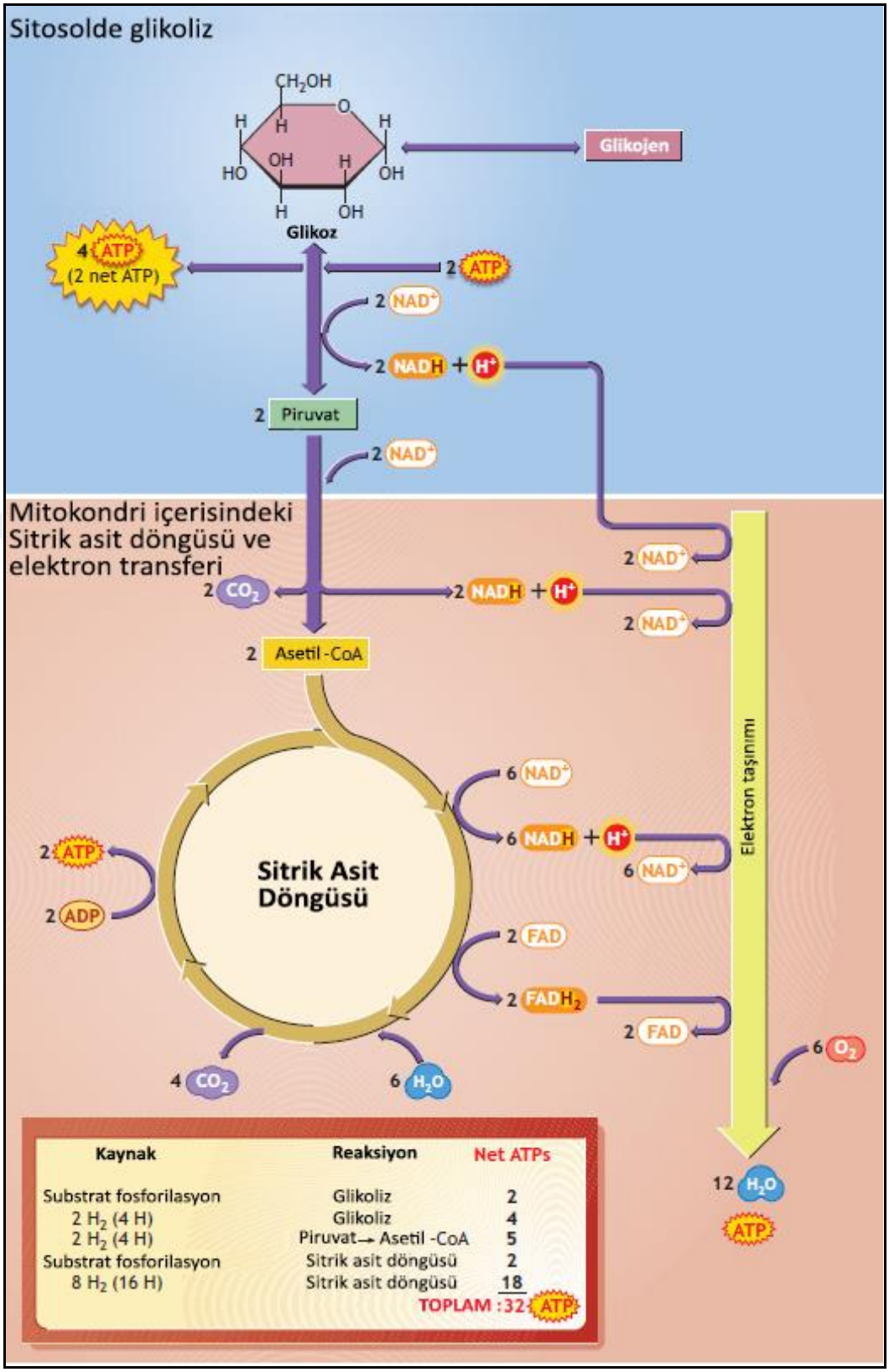
Kaynak: *(Foss & Keteyian, 1998)*

2.1.1. Hazır enerji: ATP-PCr sistemi

Yapılan fiziksel aktivite (iş) kısa süreli ve yoğun olduğunda (kısa mesafe sprint koşuları, 25 m hızlı yüzme, halter vb.) anında devreye giren enerji sistemidir. Enerji, kas dokusu içinde depo formunda bulunan ATP ve fosfokreatinden sağlanır (Scott, 2005). İskelet kaslarında bulunan yüksek enerjili fosfat bağlarına sahip diğer bir bileşik olan fosfokreatin (PCr), ATP'nin yeniden sentezi için kullanılır.

$$PCr + ADP \rightarrow ATP + \text{Kreatin (kreatin kinaz enzimi vasıtasıyla).} \qquad (2.2)$$

Hazır enerji sistemi, kısa süreli, ani ve yüksek yoğunluklu aktivitelerde kullanılmaktadır. Ağırlık kaldırma, sprint, tenis servisi gibi yaklaşık 4 saniyelik aktivitelerde depo ATP yeterliyken, 8-10 saniyeye kadar devam eden aktivitelerde ATP'nin yeniden sentezi, diğer yüksek enerjili fosfat bileşiği olan fosfokreatin aracılığıyla sağlanmaktadır. (McArdle, Katch, & Katch, 2000). Yoğun kullanım sonucunda azalan fosfojen depoları, aerobik oksidasyon ile yenilenir.



Şekil 3. Bir glikoz molekülünün oksidasyonu ya da oksidatif hidrolizi esnasında, sitrik asit döngüsü ve elektron taşınması tamamen okside edilinceye kadar olan enerji transferinden 32 ATP net kazanç elde edilir.

Kaynak: *(McArdle, Katch, & Katch, 2000)*.

2.1.2. Kısa süreli enerji: Glikolitik enerji sistemi

Yapılan kısa süreli ve yoğun egzersizin devamında ATP'nin yeniden sentezlenmesi gerekmektedir. Adenozin difosfatın fosforile edilmesi, kas dokusunda bulunan glikojenin, pirüvik asitten laktik asite kadar yıkılmasını sağlayan anaerobik glikoliz yolu ile yapılmaktadır. Oksijenin yeterli bulunmadığı durumlarda enerji ihtiyacı bu yolla sağlanır ve glikoliz ile zaman kazanılır (Yıldız, 2012). Anereobik glikoliz aracılığıyla sınırlı miktarda ATP oluşmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi glikoz ve glikojenin anaerobik oksidasyonu ile ATP oluşur. Bu esnada glikozdan 4 ATP sentezlenir ve 2 ATP kullanılarak net 2 ATP oluşmuş olur (McArdle, Katch, & Katch, 2000).

2.1.3. Uzun süreli enerji: Aerobik enerji sistemi

Süresi 1-3 dakikanın üzerine çıkan fiziksel etkinlik dakikalarca ya da saatlerce devam ettiğinde enerji eldesinde genel olarak kullanılan sistem oksidadif fosforilasyondur (aerobik metabolizma). Dayanıklılık egzersizlerinde, etkinliğin yoğunluğuna bağlı olarak, enerji ihtiyacının % 50 - 95'i aerobik metabolizma ile karşılanabilirken, anaerobik metabolizmanın katkısı % 5 - 50 arasında değişiklik göstermektedir (Nagle, 1973). Aerobik metabolizmada substat olarak karbonhidratlar kullanılabildiği gibi, yağ asitlerinden de enerji elde edilebilir.

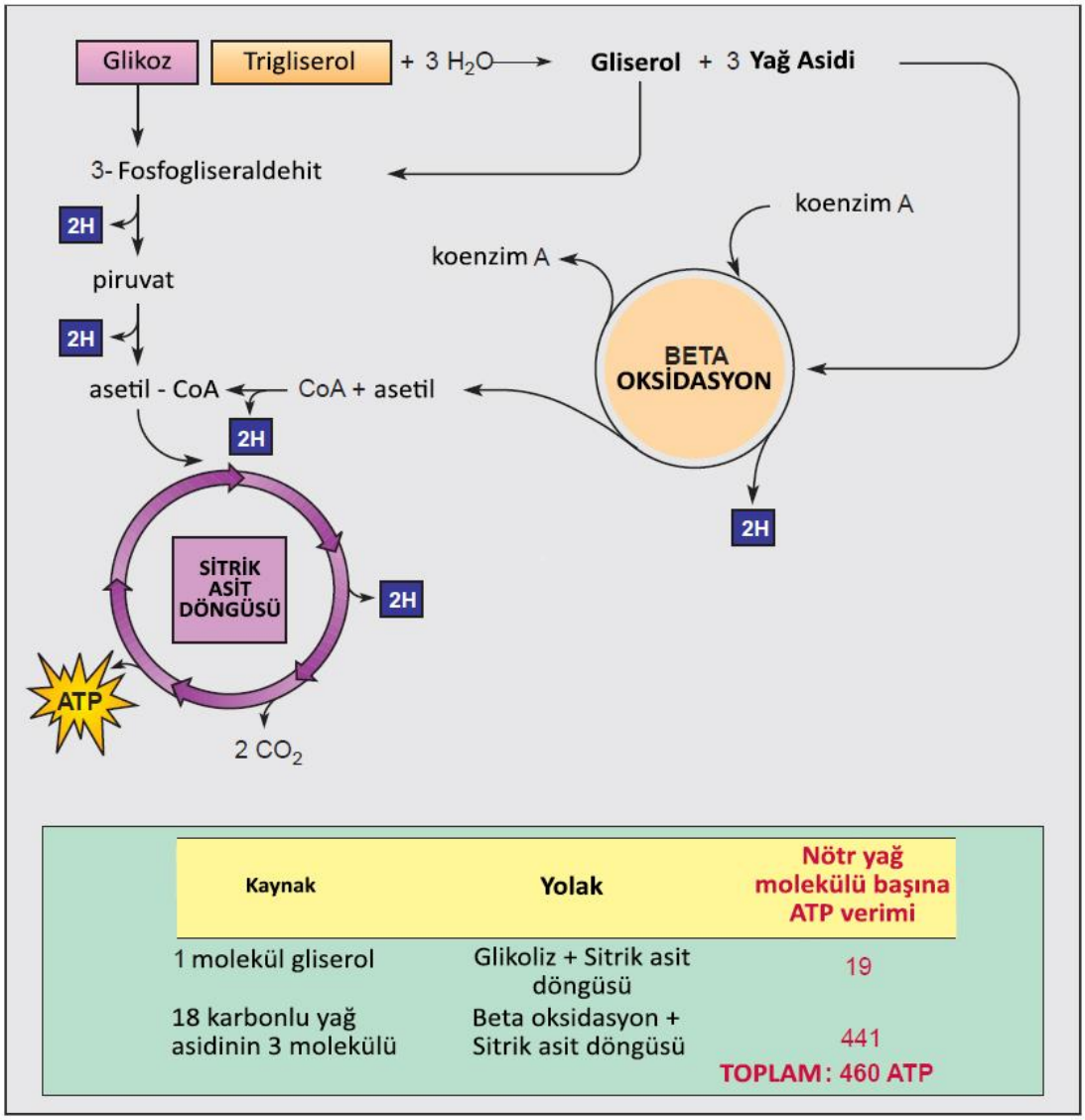
Tablo 1
İnsanlardaki tahmini enerji depoları

Enerji Kaynağı	Depolama Alanı	Yaklaşık Enerji (Kcal)
ATP/CP	Çeşitli dokular	5
Karbonhidrat	Kan Şekeri	80
	Karaciğer Depo Glikojen	400
	Kas Depo Glikojen	1500
Yağ	Kanda Serbest Dolaşan Yağ Asitleri	7
	Kandaki Trigliseritler	17
	Kastaki Trigliseritler	2500
	Yağ Dokusu	80000+
Protein	Kas Proteini	30000

Kaynak: (Eberle, 2014)

$$\text{Karbonhidrat(gr)} = \frac{\text{Kcal(Kan Şekeri+Karaciğer+Kas Depo Glikojen)}}{4} = \frac{80+400+1500}{4} \cong 500\,gr \qquad (2.3)$$

Bir insanda depo karbonhidratların miktarı yaklaşık olarak ortalama 70 kg olan bir insanda 300-500 gr kadarken yağların miktarı 15 kg civarındadır (Türk Cerrahi Derneği, 2018).



Kaynak	Yolak	Nötr yağ molekülü başına ATP verimi
1 molekül gliserol	Glikoliz + Sitrik asit döngüsü	19
18 karbonlu yağ asidinin 3 molekülü	Beta oksidasyon + Sitrik asit döngüsü	441
		TOPLAM: 460 ATP

Şekil 4. Bir trigliserol molekülünün gliserol ve yağ asidi bölümlerine parçalanması. Gliserol, glikolizin enerji yolağına girer. Yağ asidi kısımları, β-oksidasyon yoluyla sitrik asit döngüsüne girer. Elektron taşıma zinciri, salınan hidrojenleri glikoliz, β -oksidasyonu ve sitrik asit döngüsü metabolizmasından işleyerek toplam ATP kazancını verir

Kaynak: *(McArdle, Katch, & Katch, 2000)*

Vücutta yağlar büyük oranda trigliserid biçiminde depolanmaktadır ve bir trigliserid molekülü 1 adet gliserol ile 3 adet yağ asitinin birleşiminden oluşmaktadır. Şekil 4'te belirtildiği gibi onsekiz karbonlu bir yağ asitinden oluşan bir mol trigliserid molekülünün okside edilmesi ile toplam 460 mol ATP sentezlenmektedir. Buna göre gerek depolanan miktar açısından gerekse oksidasyon performansı açısından trigliseridlerden enerji üretimi daha verimlidir.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O - \Delta G\ 686\text{kCal} \cdot \text{mol}^{-1} \qquad (2.4)$$

Denklem (2.5)'te belirtilen ΔG , vücutta meydana gelen ve laboratuvar koşullarında (25ºC; 1 atmosfer basınç; pH 7,0'da) 1 mol konsantrasyon için ölçülen standart serbest enerji farkını ifade eder. Sportif aktivite sırasında bu enerji sistemleri, açılıp-kapanma gibi ayrı ayrı değil, süre ve yoğunluk olarak aktivite özelliğine göre birbiri içinde değişerek devreye girer. ADP ve fosfat iyonundan 1 mol ATP'nin sentezlenmesi 7,3 kCal enerji gerektirir. Bu nedenle, glikoz oksidasyonundan fosforilasyona tüm enerjinin birleştirilmesi teorik olarak denklem (2.6)'da belirtildiği gibi glikozun molü başına 94 mol ATP oluşturabilir.

$$686\ \text{kCal} \div 7.3\ (1\ mol\ için) = 94\ mol\ ATP \qquad (2.5)$$

Bununla birlikte kaslarda fosfat bağları sadece %34 veya 233 kCal enerji tasarrufu sağlar, geri kalanı ısı olarak dağılır. Bu enerji kaybı, vücudun depolanmış potansiyel enerjiyi faydalı enerjiye dönüştürmedeki metabolik etkisizliğini temsil eder. Özet olarak, glikoz yıkımı, denklem (2.7)'de belirtildiği gibi mol başına net 32 mol ATP (2 mol ATP glikoz yıkımını başlatırken kullanılır) net bir kazanç üretir.

$$233\ \text{kCal} \div 7.3\ (1\ mol\ için) = 32\ mol\ ATP \qquad (2.6)$$

Karbonhidrat yıkımı glikojen ile başlarsa ek bir ATP oluşur (McArdle, Katch, & Katch, 2000).

2.2. Aerobik Mekanizma

Aerobik yeterlilik, fiziksel aktivite yaparken enerji elde etmek için gerekli oksijeni pulmoner ve kardiyovasküler sistemlerin ortak çalışmasıyla, iskelet kaslarına iletme kapasitesi olarak tanımlanabilir (McArdle, Katch, & Katch, 2000). Aerobik kapasiteyi belirleyebilmek için güvenilir ölçütlerden olan ve egzersiz sırasında vücudun alabileceği

ve kullanabileceği en yüksek oksijen miktarı, maksimum oksijen tüketimi ($\dot{V}O_2maks$) olarak ifade edilmektedir. Egzersiz fizyolojisinde temel parametrelerden biri olan $\dot{V}O_2maks$, çoğu zaman bireyin aerobik kapasitesini ölçmek için kullanılır. Literatürde, $\dot{V}O_2maks$ değerindeki artışın gözlenmesi, bir antrenmanın etkili olduğunun düşünülmesi için kullanılan en yaygın yöntem olarak bildirilmiştir. (Bassett & Howley, 2000). Gerçek $\dot{V}O_2maks$ (fizyolojik $\dot{V}O_2maks$) $\dot{V}O_2$'nin plato yapmasıyla (artmaması ile) tanımlanırken $\dot{V}O_2pik$ ise yapılan bir egzersiz testinde ölçülmüş olan en yüksek oksijen alımını gösterir (Cooper & Storer, 2003).

"Maksimum oksijen alımı" terimi, ilk olarak A. V. Hill, Lupton Herbst ve arkadaşları tarafından 1920'lerde kullanılmıştır (Hill, Long, & Lupton, 1924). Fick prensibiyle ifade edilen $\dot{V}O_2maks$, pik egzersizde kardiyak debi denklem 2.8'de belirtildiği gibi cardiac output (CO) ve arteriyovenöz oksijen farkının ($C(a\text{-}v)O_2$) çarpımına eşittir. Tanım olarak kardiyak debi dokunun ihtiyacına bağlı olarak kalbin pompalama kapasitesini gösterirken, arteriyovenöz oksijen farkı dokunun arteryel ucu ile venöz ucu arasındaki oksijen içerik farkını göstermektedir (Froelicher & Myers, 2000).

$$\dot{V}O_2maks = (CO)x[C(a\text{-}v)O_2] \qquad (2.7)$$

CO, kardiyak debiyi göstermekte olup kalbin bir dakikada pompaladığı kan hacmidir. $C(a\text{-}v)O_2$ ise arteriyovenöz oksijen farkı olup bir dokunun arteryel ucu ile venöz ucu arasından alınan örneklerdeki oksijen içerik farkını tanımlamaktadır.

$$\dot{V}O_2maks = (KHxSV)x[C(a\text{-}v)O_2] \qquad (2.8)$$

CO, kalp atım hızı (KH) ve atım hacminin (stroke volüm, SV) fonksiyonudur (Froelicher & Myers, 2000). KH, kalbin bir dakikadaki atım sayısı ve SV, kalbin sol ventrikülünden her sistolik kontraksiyonla atılan kan hacmidir

CO'daki artış SV ve KH'daki artışları yansıtır (Froelicher & Myers, 2000). $\dot{V}O_2maks$ aerobik kapasitenin en iyi göstergesidir ve kardiyorespiratuar zindelik için çok önemli bir standart olarak kabul edilir (ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary, 2003).

$\dot{V}O_2$ yaklaşık olarak 3,5ml/kg/dk olan istirahat değeri üzerinden şiddetli egzersizde 15 kat daha fazla olan 30-50ml/kg/dk'lık maksimal değerlere çıkabilir. Düşük $\dot{V}O_2pik$ değerleri oksijen taşınmasındaki sınırlılıklar (pulmoner sınırlılıklar, örneğin solunum mekaniği, kontrolü ve gaz değişim sınırlılıkları), dokulara O_2 alımı ile ilgili patolojiler (doku perfüzyonu ve doku difüzyonu sınırlılıkları) ve eforu sınırlayan problemler (nöromusküler veya kas iskelet sistemine ait sınırlılıklar) ile ilişkili olabilmektedir (ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary, 2003).

Sonuç olarak aerobik kapasite, önceden belirlenen bir "Egzersiz Test Protokolü" uygulanarak, tedricen artan bir egzersiz testiyle yapılan maksimum bir yüklemede erişilebilen ve ölçülebilen oksijen kullanımının en yüksek değerinin tespiti olarak tanımlanır. $\dot{V}O_2maks$, aerobik kapasitenin en iyi, kolay uygulanabilir ve güvenilir bir göstergesidir (McArdle, Katch, & Katch, 2000).

2.3. Anaerobik Mekanizma

Egzersiz şiddeti giderek arttırılacak olursa oksijenin yeterli olarak kullanılamadığı bir noktada ATP sentezi anaerobik metabolizma ile desteklenir. Sonuçta kasta ve kanda laktik asit birikmeye başlar.

Düşük egzersiz şiddetinde dokunun ürettiği karbondioksit ($\dot{V}CO_2$) kullandığı oksijene ($\dot{V}O_2$) göre daha düşük seviyelerde iken şiddetin artışı ile birlikte her iki değişken de artış göstermeye başlar. Ancak belirli bir noktadan itibaren üretilen karbondioksit miktarı kullanılan oksijen miktarını geçmeye başlar. Buradaki karbondioksit artışı kanda laktik asitin tamponlaması sonucunda oluşmaktadır. Her iki değişkenin birbirleri ile ilişkisi grafik üzerinde gösterildiği takdirde başlangıçta doğrusal olan $\dot{V}CO_2 - \dot{V}O_2$ eğrisinin artan iş yüklerinde $\dot{V}CO_2$'ye doğru eğimi göze çarpar. Bu bükülme ya da kıvrılma noktası "Anaerobik Eşik Noktası" olarak kabul edilir ve bu noktadan itibaren laktat birikmeye başlar (McArdle, Katch, & Katch, 2000).

Maksimal ve supramaksimal (maksimal üstü) fiziksel aktivite sürecinde iskelet kaslarının enerji ihtiyaçlarını anaerobik enerji transfer sistemlerini kullanarak meydana getirdiği iş kapasitesi "anaerobik kapasite" olarak tanımlanmaktadır. Bu işin birim zamandaki değeri ise "anaerobik güç" olarak ifade edilir (kg/sn, kg/dk, watt). Anaerobik iş, patlayıcı gücün ortaya konması anlamına gelen, anaerobik eşik değer üzerinde bir iş yükü olup, yorgunluk ile kendini gösteren fiziksel aktivite tipidir. Anaerobik aktivite

uzun süre devam ettirilemez çünkü iskelet kasları steady-state (kararlı hal veya durağan durum) oksijen alımının çok üzerinde, anaerobik metabolizmayla çalışmaktadır. Bu olay, kas ve kan laktat seviyesinde yükselmeye neden olur. Biriken laktatın tamponlanması akciğerlerden CO_2 atılmasını artırır (Jonathan & Euan, 1997).

2.4. Egzersiz Testleri

İnsan sağlığı açısından önemli bir yeri olan egzersiz, bireylerde kaliteli bir yaşam için gereklidir. İnsan vücudu egzersiz yapmaya uygun ve gelişmeye müsaittir. Bazı sportif başarıların temelinde, atletik performansa sahip olma içgüdüsü yatmaktadır. Atletik performansı değerlendirmek amacıyla kullanılan ölçüm yöntemleri ve ekipmanları geliştirilerek kullanımı giderek artmaktadır. Egzersiz testleri; özellikli sporları yapabilmek için yeteneklerin test edilmesi, atletik performansın durumu, hastalıkların teşhisi ve tedavisi, sakatlık derecelerinin saptanması ve fiziksel antrenmana verilen cevapların değerlendirilmesi, gerek duyulan rehabilitasyonun uygulanması için önemli bir araçtır. Egzersiz kapasitesini belirlemek ve aynı zamanda egzersiz performansını sınırlayan faktörleri tanımlamak için egzersiz testi ve yorumu önem taşımaktadır. Egzersiz performansı; klinik uygulamalarda, fonksiyonel kapasite ve yaşam kalitesi ile iç içe geçmiştir (Cooper & Storer, 2003).

Egzersiz testi, genellikle kardiyovasküler ve pulmoner sistemlerin aynı anda cevaplarını ortaya çıkarmaktadır. Genellikle kardiyovasküler cevap, ölçülen $\dot{V}O_2$'ye karşılık gelen kalp atım hızındaki (HR-Heart Rate) değişikliklerle değerlendirilir. Solunum cevabı ise dakika ventilasyon ($\dot{V}E$) ile değerlendirilir. Tablo 2, bu değişkenlerin her birinin $\dot{V}O_2$ ile nasıl eşleştiğini göstermektedir (Cooper & Storer, 2003).

Tablo 2
Egzersiz cevabı ile ilişkili farklı metabolik substratların enerji özellikleri

SUBSTRAT	Solunum Değişim Katsayısı	Enerji Deposunun Etkinliği (kcal/gr)	Oksijen için Kalori Eşdeğeri (kcal/lt)	Oksijen Litresi için Kullanılan Substrat (gr/lt)
Karbonhidrat	1.00	4.05	5.05	1.25
Yağ	0.71	8.93	4.69	0.53
Protein	0.82	4.03	4.83	1.20

Kaynak: (Cooper & Storer, 2003).

Egzersiz testleri, performans egzersiz testleri ve klinik egzersiz testleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Performans egzersiz testleri, sağlıklı topluluklarda sağlık halinin daha iyi olması için koruyucu amaçlı ve fitness gelişimi için kılavuzdur. Ayrıca sporcuların antrene edilmesinde temel olarak uygulanmaktadır. Klinik egzersiz testleri tanıya yardımcı olma, operasyon öncesi değerlendirme, risk belirleme, klinik takip ve tedavinin yanıtı ile engellilik düzeyini değerlendirme gibi amaçlar için kullanılır (Cooper & Storer, 2003).

Klinik egzersiz testleri sahada veya laboratuvarda uygulanabilmektedir. Egzersiz testinin, klinik değerlendirmeye ve elde bulunan cihazlara göre, sahada veya laboratuvarda yapılmasına karar verilebilir (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1. Submaksimal Testler

Submaksimal testler, performans egzersiz testleri ve klinik egzersiz testleri amacıyla kullanılabilir. Artan yükte veya sabit şekilde olabilir. Performans egzersiz testleri için kullanılan submaksimal testler çoğunlukla aerobik kapasite tahmini amacıyla kullanılır. Genelde grafiklerin üzerinde ya da yapılan teste özgü formüllerin kullanılmasıyla bu tahminler yapılır. Tablo 3 submaksimal testlerin, maksimal testlere göre avantaj ve dezavantajlarını göstermektedir (Cooper & Storer, 2003).

Tablo 3
Submaksimal egzersiz testinin maksimal egzersiz testine göre avantaj, dezavantaj ve dayanakları

Avantajlar	Dezavantajlar	Tahmini ($\dot{V}O_2$maks) doğruluğu için dayanaklar
Az efor gerektirir	Aerobik kapasite ölçülmez, tahmin edilir	Doğru ergometre yükleri
Tamamlanması daha az zaman gerektirir	Sonlandırma noktasının üzerindeki yüklerde anormal cevaplar olabilir. Hipertansiyon gözden kaçabilir.	Doğru kalp atım hızı ölçümleri
Komplikasyon riski olarak daha güvenli olması	Tanımlama açısından yetersiz zorlanma ve yönlendirmede hata	Tahmini maksimal kalp atım hızına kadar doğrusal bir kalp atım hızı-yük ilişkisi olması
Daha az hekim gözlemine ihtiyaç duyulur.	Yoğunluk olarak ulaşılan en yüksek yükü egzersiz reçetelerinde aşmamalıdır	Tahmini maksimal kalp atım hızı (220-yaş) doğrudur

Kaynak: (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1. Submaksimal Saha Testleri

Gelişmiş cihazlar bulunmaması veya pratik nedenlerden dolayı laboratuvar testleri yapılamadığında uygunluk kararı için saha testleri kullanılmaktadır (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.1. Rockport Yürüme Testi

30-69 yaşlarında yürümesini engelleyecek herhangi bir sağlık problemi bulunmayan kişilerde $\dot{V}O_2$maks tahmin etmek için kullanılır. Zaman, yaş, vücut ağırlığı, cinsiyet ve kalp atım hızı gibi parametreler kullanılır (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.2. Cooper Yürüme Testi

Dr. Kenneth Cooper tarafından geliştirilmiş bu test, Rockport yürüme testine göre daha zorlu ve efora bağlıdır. Genellikle en az 6 hafta aktif olarak yürümekte olan kadın ya da erkeklerde (17-30 yaşları arasında yürümesini engelleyecek herhangi bir sağlık problemi bulunmayan) uygulanabilir. İlerlemeyi yürüme sırasında düzenli aralıklarla alınan kalp atım hızı ve algılanan efor düzeyi gibi ek objektif ölçümler gözlemler (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.3. Cooper 12 Dakika ve 1,5 Mil Koşu Testleri

Cooper 12 dakika koşu testine, koşudan önce teste katılacak kişilere ısınma ve germe egzersizleri yaptırılarak başlanır. Devamında, 12 dakika boyunca mümkün olduğunca hızlı koşması istenir. Her 50 metrede bir işaretlenen parkurda koşulan mesafe kaydedilir. Cooper 1,5 mil koşu testi, belirli süre yerine belirli mesafenin tamamlanması dışında aynı protokolde olmaktadır. Her iki testte de Cooper tarafından geliştirilen formüller ile $\dot{V}O_2$maks tahmin edilmektedir (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.4. Yirmi Metre Mekik Koşu Testi

Leger ve Lambert tarafından 1982 yılında geliştirilen bu test, sağlıklı bireylerde bireysel veya grup halinde $\dot{V}O_2$maks tahmini için kullanılır. Düz bir zemine çizilen 20 metrelik bir çizgide (her iki uçta yavaşlama için ekstra 5-10 metre mesafe olmalı) kişiler ileri geri koşturulur. Bu esnada, önceden belirlenmiş bir sesli ipucu ile aynı anda katılımcılar uç çizgiye dokunmalıdır. Kişi 20 metrelik mesafede belirlenen ipucunu yakalayamadığında aşama sayısı kaydedilir ve belirli formüllerle $\dot{V}O_2$maks tahmin edilir (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.5. Step (Basamak) Testleri

Üniversite çağındaki erkek ve kadınlar için oldukça uygundur. $\dot{V}O_2$maks tahmin etmek için toparlanma dönemindeki kalp atım hızı parametresi kullanılır. Üç dakikalık tek bir dönemde 41.3 cm'lik step tahtası veya platformda yapılan test önceden kaydedilmiş bir ses ile birlikte yapılmaktadır (Cooper & Storer, 2003).

2.4.1.1.6. Altı Dakika Yürüme Testi

Yürüme hızını teste katılanın ayarladığı bu test egzersiz toleransının ve fonksiyonel kapasitenin doğru şekilde hesaplanmasına olanak sağlar. Normal protokolde 30 metrelik kesintisiz bir koridorda veya açık alanda uygulanmaktadır. Kalp atım hızı, kan basıncı, Borg cetveli ile dispne seviyesi ve oksihemoglobin satürasyonu gibi parametreler test öncesinde ve sonrasında belirlenebilir (Enright & Sherrill, 1998).

2.4.2. Maksimal Testler

Maksimal veya maksimal seviyelere yakın seyreden performans egzersiz testleri yada klinik egzersiz testleri kullanılmaktadır. Sahada ya da laboratuvarda kullanılabilir. $\dot{V}O_2$maks değeri, gerçek maksimal bilgi alındığı için daha iyi tahmin edilebilir. Gaz değişim ölçümleri için gerekli ekipmanlar eklendiğinde testin yorumlanmasında önemli olan diğer değişkenlerle beraber aerobik kapasite ($\dot{V}O_2$maks) ölçümü de yapılabilmektedir. Tablo 4 maksimal testlerin, submaksimal testlere göre avantaj ve dezavantajlarını göstermektedir (Cooper & Storer, 2003).

Tablo 4
Maksimal egzersiz testinin submaksimal egzersiz testine göre avantaj, dezavantaj ve dayanakları

Avantajlar	**Dezavantajlar**	**Tahmini ($\dot{V}O_2maks$) doğruluğu için dayanaklar**
Aerobik kapasite direk ölçülebilir.	Efora bağımlıdır.	Ergometre yükleri doğrudur.
Ek olarak daha fazla bilgi sağlamaktadır	Daha fazla süre gerektirmektedir.	Doğru kalp atım hızı ölçümleri
Anormal bir cevabı mevcut olduğu anda daha fazla gözlem fırsatı verir	Güvenlik tedbirleri daha fazladır Daha fazla hekim gözlemine ihtiyaç duyulur	Tahmini eşitlikleri topluma uygundur.

Kaynak: (Cooper & Storer, 2003).

2.4.3. Kardiyo Pulmoner Egzersiz Testleri

Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET) bireyin egzersiz yaptığı sırada kapasitesini değerlendiren, tanı ve tahmin amaçlı bilgiler veren bir testtir. Maksimal veya submaksimal olarak uygulanabilen KPET ile organizmanın metabolik durumu, kardiyak, pulmoner, nöromüsküler sistemlerin fonksiyonel kapasitelerinin değerlendirmesi ve egzersize karşı oluşan yanıtların birlikte değerlendirilerek farklı hastalıkların aydınlatılabilmesi söz konusudur (Wasserman, Hansen, & Sue, 2005).

KPET, egzersiz toleransının mekanizmalarını ve intoleransın nedenlerini araştırmada günümüzde altın standart olarak kullanılmaktadır (Ferrazza, Martolini, & Valli, 2009). KPET; egzersiz ve rehabilitasyon programlarının düzenlenmesinde, cerrahi öncesi ile sonrası değerlendirmede kullanılır. KPET'in amacı egzersize katılan organlara belirli bir miktar stres uygulayıp gelen cevapları kaydetmektir. Bu nedenle test sırasında büyük kas gruplarının, özellikle alt ekstremite kaslarının kullanıldığı egzersizler tercih edilmektedir (Albouaini, Egred, & Alahmar, 2007).

KPET'de bisiklet ergometrisi, koşu bandı, kol ergometrisi kullanılırken bu ekipmanların bulunmadığı durumlarda 6-12 dakika yürüme testleri kullanılmaktadır. Kol ergometrisi üst ekstremite kaslarını çalıştırmaya yöneliktir ve daha çok alt ekstremite kullanım zorluğu olan olgularda tercih edilmektedir. Koridor testleri submaksimal testlerdir ve yürüyüş mesafesi, kalp atım hızı ve satürasyon değerlerinin görüntülenmesine olanak vermektedir (ATS Statement, 2002).

KPET'te egzersiz sırasında verilerin kaydedilip değerlendirilmesini sağlayan bir sistem bilgisayarı, egzersizin yapılacağı bir ergometre (yürüyüş bandı, bisiklet ergometrisi veya bir başka ergometre), gaz konsantrasyonlarının ölçülebilmesi için metabolik analizör bulunmaktadır (İbrahimov, 2018).

KPET sırasında teste katılan kişinin aldığı havadaki O_2 ($\dot{V}O_2$), verdiği havadaki CO_2 düzeyleri ($\dot{V}CO_2$), dakika ventilasyonu ($\dot{V}E$), dakika solunum sayısı (Rf), kalp atım hızı (HR), tidal volüm ($\dot{V}T$), inspiratuar kapasite (IC), oksijen satürasyonu, 12 derivasyon EKG ritmi, yapılan iş (work/stage), egzersiz süresi ve kan basıncı izlenmektedir (Sue & Hansen, 1984).

2.4.3.1. $\dot{V}O_2$maks Ölçüm Yöntemleri

Direkt ve indirekt yöntemlerle aerobik kapasite veya oksijeni alıp kullanabilme kapasitesi ölçülebilmektedir. $\dot{V}O_2$maks'ın direk ölçülmesi, kullanılan cihazların ve ekipmanların pahalı olması, testin çok zaman alması, eğitimli ve tecrübeli eleman gerektirmesi, her zaman her yerde bulunamamaları nedenleri ile oldukça sınırlıdır (Hasson, 1994).

2.4.3.1.1. Direkt Yöntem (açık devre spirometri yöntemi)

Direkt yöntemde submaksimal veya maksimal bir egzersiz testi kullanılmaktadır. $\dot{V}O_2$maks değeri, laboratuvar koşullarında solunum havasındaki oksijen ve karbondioksit miktarının gaz analizörleri tarafından ölçülmesiyle saptanır. Ölçümde Douglas torbaları, karışım torbaları (mixing chamber) ve her nefeste kayıt (breath by breath) yöntemleri kullanılır (Williams, 2013).

Douglas torbaları: Ekspirasyonda çıkarılan solunum gazları belirli süre torbada toplanıp ölçülmektedir. Günümüzde bu ölçüm yöntemi pek kullanılmamaktadır.

Mixing chamber: Odacık içerisinden devamlı geçen solunum gazlarının miktarı ölçülür.

Breath by breath: Her nefes alışverişindeki gaz miktarı ölçülmektedir. Tüm gazların konsantrasyonunu ölçen kütle spektrometreler ve her bir gaz için ayrı bir analizöre (zirkonyum analizör, paramanyetik analizör, kızılötesi (infrared) analizör gibi) sahip sistemler olarak iki farklı sistem vardır.

Maksimum egzersiz testi yapılırken açık devre spirometri kullanımı, anaerobik eşiğin doğru değerlendirilmesini, $\dot{V}O_2$maks veya $\dot{V}O_2$ zirve değerinin "doğrudan" ölçümünü sağlar (Williams, 2013).

2.4.3.1.2. İndirekt Yöntem

Bu yöntemde $\dot{V}O_2$maks değeri submaksimal bir egzersiz testiyle iş, kalp atım hızı, zaman gibi ölçümlerin değişiminden hesaplanır (McArdle, Katch, & Katch, 2000). Maksimal egzersiz testleri $\dot{V}O_2$maks değerini direkt ölçerken, submaksimal egzersiz testleri $\dot{V}O_2$maks değerini genellikle kalp atım hızı–iş yükü ilişkisinden tahmin etmeye çalışmaktadır. Basit kalp atım hızı (heart rate) ölçümlerinden $\dot{V}O_2$maks değerini tahmin etmek için tek aşamalı ve çok kademeli submaksimal egzersiz testleri mevcuttur. Geçerli test için doğru kalp atım hızı ölçümü önemlidir. Submaksimal kalp atım hızı cevabı; ısı ve nem gibi çevresel, kafein alımı ve son yemekten itibaren geçen süre gibi

diyetsel, anksiyete, sigara içimi, önceki fiziksel aktivite gibi davranışsal faktörlerle kolayca değişir (Williams, 2013).

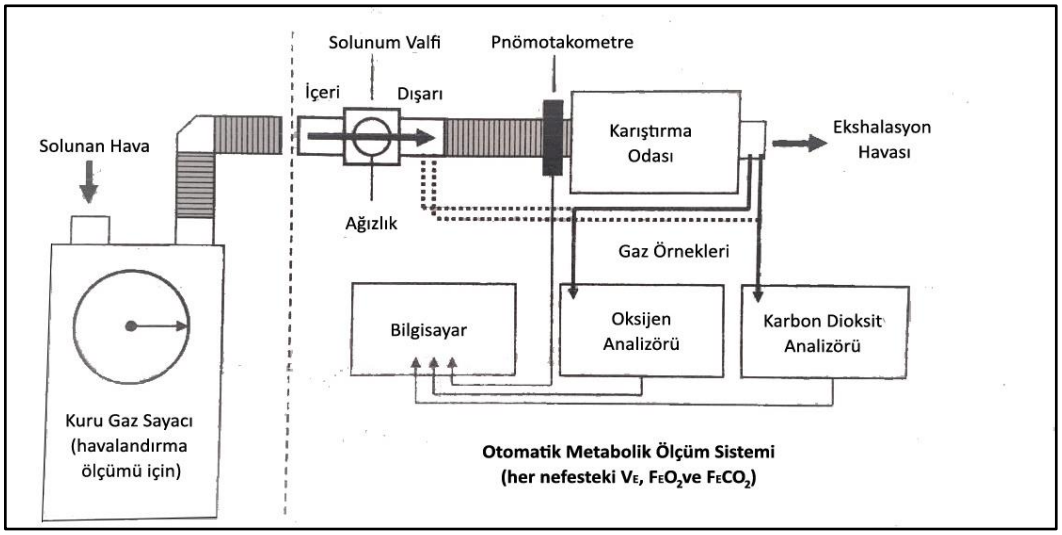
2.4.3.2. KPET Ekipmanları

1970'lere kadar, oksijen tüketimini ölçmek için kullanılan farklı üreticilerden alınan çeşitli araçlardan oluşmaktaydı. Araştırmacılar daha sonra ekipman parçalarını birbirine bağlayacak veya test sonrası oksijen ve karbondioksit konsantrasyonunu ve solunum hacimlerini ($\dot{V}E$) analiz etmek için solunum havasını toplayacak özel bir sistem geliştirdiler. Günümüzde çoğu üretici, ekipmanın tüm parçalarını tek bir cihazda toplamaktadırlar. Bu ara birim konsollarında metabolik ve solunum değerleri türetmek ve bütün hesaplamaları yapmak için bir bilgisayar bulunmaktadır. O_2 tüketimi için geliştirilmiş taşınabilir araçlar her nefeste (breath by breath) ölçüm yapabilmektedir. Katılımcıların antrenman yapma biçimine göre uygun ergometrelerin kullanımı en iyi yoldur. Örnek olarak, bisiklet sporcuları için bisiklet ergometresi, koşucular için koşu bandı, kürek sporcuları için kürek ergometresi, bacak ampütasyonu bulunan sporcular için tekerlekli sandalye veya kol ergometresi, kayaklı koşucular için kayak ergometresi kullanılmaktadır (William & Adams, 2009).

Test boyunca önemli olan üç değişken ve bu değişkenler ile ilişkili (Örnek olarak CO_2 üretiminin solunum değişimine oranı) metabolik değişkenler vardır :

- Pulmoner Ventilasyon ($\dot{V}E$)
- Solunan oksijen fraksiyonu (FiO_2)
- Karbondioksit – Oksijen ($FeCO_2$) tüketimin test boyunca izlenmesine gerek vardır.

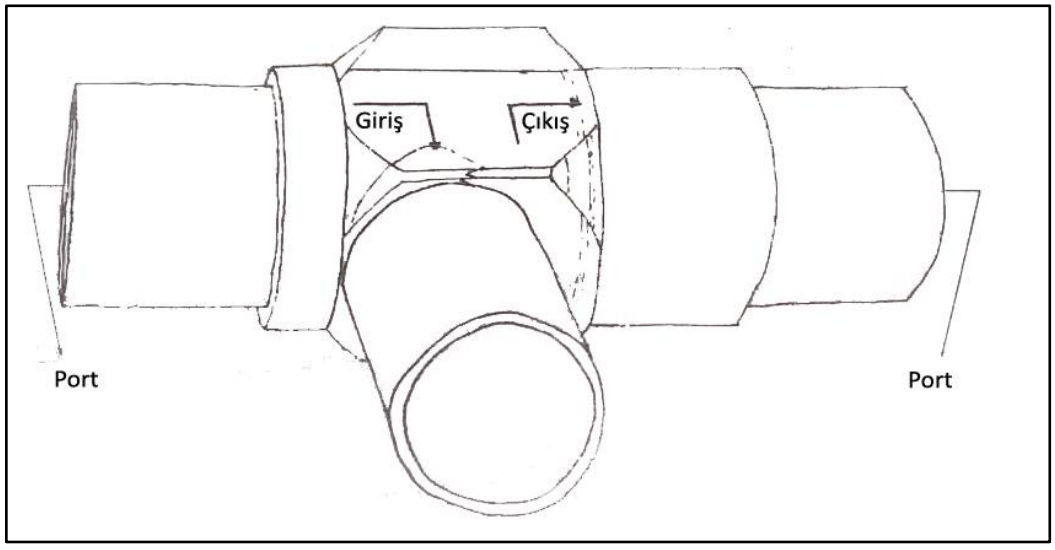
Pulmoner ventilasyonun ($\dot{V}E$) ölçümü için bir hava hacim ölçeri gereklidir. Şekil 5 örnek bir metabolik ölçüm sisteminin bileşenlerini göstermektedir. Ventilasyon sıklıkla nefes verme sırasında ölçüldüğünden nefes verme ventilasyonu olarak düzenlenir ($\dot{V}E$). Dry gaz metrenin kullanıldığı bazı durumlarda, nefes alma durumunda kullanılabildiğinden nefes alma ventilasyonu olarak isimlendirilir ($\dot{V}I$) . Pulmoner ventilasyon, birim dakikada litre cinsinden alınan hava miktarını ifade eder ($L.min^{-1}$). Verilen havayı toplamak için gerekli bazı ekipmanlar vardır (William & Adams, 2009).



Şekil 5. Ventilasyon ($\dot{V}E$) ve nefesle verilen O_2 (FeO_2) fraksiyonu ve CO_2 ($FeCO_2$)'nin ölçümünde kullanılan otomatik metabolik sistem unsurlarının şeması

Kaynak: *(William & Adams, 2009)*.

Şekil 6'da görünen iki yönlü bir solunum vanası, alınan havanın bir porttan içeri girmesine ve başka bir porttan dışarı çıkmasına olanak sağlar. Bu vanaya tükürük tutucu bir parça takılarak solunum tüpü içerisine tükürüğün girmesi engellenir. Su altı sporlarında bulunan ağızlığa benzer bir plastik araç, solunum vanasına eklenir. Bu araç, çıkıntılı sekmeleri sayesinde ağızlığın tutulmasına yardım ederken ağızlığın özel yapısı katılımcının ağız çevresinden hava sızıntısını engeller. Burundan nefes almayı önleyici bir burun klipsi de bu donamıma ek olarak takılır (William & Adams, 2009).

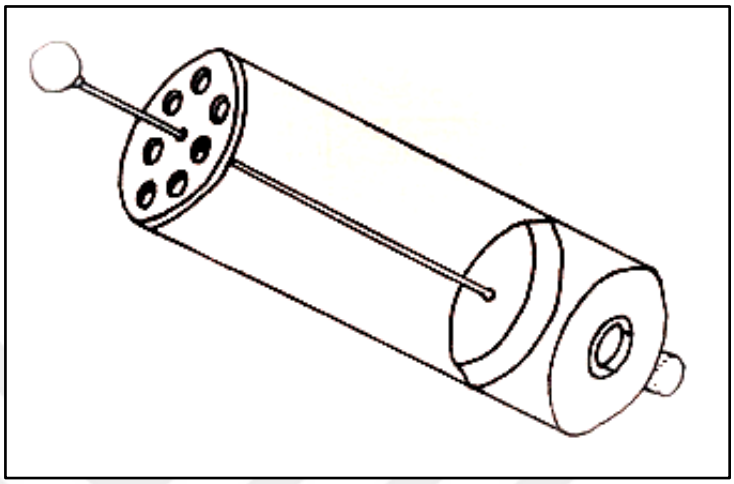


Şekil 6. İki yollu vana havanın girdiği yerden çıkışını engeller

Kaynak: *(William & Adams, 2009)*.

2.4.3.2.1. Metabolik Araçların Kalibrasyonu

Test öncesi Şekil 7'de görüldüğü gibi hacim ölçer, özel bir kalibrasyon şırıngası ile kalibre edilir. Kalibrasyon şırıngası solunum hacmine yakın hacimleri (örnek 1 litre, 2 litre, 3 litre) ölçebilecek metabolik analizörlerinin kalibrasyonunu yapmak için üretilmiştir (William & Adams, 2009).



Şekil 7. Hava hacim ölçeri ile ölçülen ventilasyon hacminin kalibrasyonu 3 Litrelik bir şırınga ile yapılmaktadır

Kaynak: *(William & Adams, 2009)*.

Metabolik araçları düzenli olarak kalibre etmek testlerin güvenilirliğinin ve geçerliliğinin sürdürülebilmesi için önemlidir. Ekipman üreticisinin özel kalibrasyon direktiflerine uymak önemli olacaktır. Bu araçlar için bazı genel kalibrasyon direktifleri önerilebilir. Barometre ve termometre gibi meteorolojik koşulları ölçmekte kullanılan araçlar da periyodik olarak kalibre edilmelidir. Hava volümünü ölçmek için kullanılan pulmoner ventilasyon çoğu sistemde farklılık gösterse de pnömotakometre ya da türbin kullanılır. Bu araçlar, kalibrasyon şırıngası (Şekil 7) kullanılarak hava yolundan belirli bir volüm geçirilmesi ile kalibre edilmektedir. Titiz bir şekilde üretilen bu şırınga, bir kerede belirli bir havayı (örnek 1, 2, 3 litre) şırınga eder. Hava hacmi sayacının kalibrasyonu genelde her test öncesi yapılması gerekmez ama gün içerisinde ve cihaz açılmasında en az 1 kere yapılmalıdır. Gaz analizörü kalibrasyonu, kütle spektrometresi (altın standart) tarafından belirlenen O_2 ve CO_2 hacmi bilinen karışımlar ile standart bir gaz kalibrasyonu sağlamaktadır. Bu kalibrasyon gazları genellikle metabolik ölçüm sistemleri ile gelmekte veya ticari olarak bir gaz satıcısından temin edilmektedir. Genel olarak egzersiz testi öncesinde iki analizör (oksijen ve karbondioksit) de bu standart gazlara göre kalibre edilmelidir. İki noktalı kalibrasyon (sıfır veya düşük aralığı ve

yüksek derişim aralığı) en yaygınıdır. Bazı uzmanlar üç noktalı kalibrasyonu da önermektedir (sıfır, orta ve yüksek oranda) (Howley, Bassett, & Welch, 1995).

Verilen – alınan hava hacmini ölçmenin dışında solunan oksijen ve karbondioksit farkını ölçmek için, oksijen ve karbondioksit analizörü gereklidir. Çoğu paramanyetik veya galvanik prensibi kullanarak havadaki oksijen yüzdesini belirleyen birçok elektronik oksijen analizörü bulunmaktadır (FiO_2). Bu analizörler verilen nefes havasındaki oksijen konsantrasyonunu %15 ve %21 arasındaki ortama karşılık gelecek şekilde optimum doğrulukla belirlemek üzere düzenlenmişlerdir. Karbondioksit analizörlerinin çoğu, karbondioksit konstantrasyon yüzdesini belirlerken infrared prensiplerini kullanırlar ($FeCO_2$). Gaz konsantrasyonlarının referans standartları ve değişik gazları analiz etmek içinde kütle spektrometre kullanılır. Fakat pahalı olmasından dolayı egzersiz fizyolojisi laboratuvarlarında sık kullanılmamaktadır. Bir kalibrasyon silindiri düzenli olarak gaz analizörünün kalibrasyonu için kullanılmaktadır. Bir gaz kalibrasyonu verilen nefesteki değerleri taklit etmek için %16 oksijen ve %5 karbondioksit içermektedir. Testlerde analiz için kullanılan gaz örneği Şekil 3'te görülen doğrudan respiratuvar vanadan verilebilir veya karışım odacığından (mixing chamber'dan) verilebilir. Karışım ocağı tipik bir pleksiglas™ silindir veya içinden sürgülü bir kutu biçimindedir. Çoğu otomatik sistemler verilen nefesten gaz örneklerini sürekli olarak filtre etmektedir, örnekteki su buharını saymak için kurutur ve ısıtır. FiO_2 ve $FeOC_2$ değerleri otomatik olarak belirlenir. Veriler bilgisayara gönderilerek metabolik değişkenler hesaplanır ve istenilen zaman aralıklarına göre gösterilir. Otomatik olmayan sistemlerde ise gaz örnekleri küçük lastik torbalara toplanabilir veya büyük toplama torbalarından analiz için alınabilir (Douglas torbası meteorolojik balon) (William & Adams, 2009).

2.4.3.3. KPET Parametreleri

KPET'lerde birçok parametre değerlendirilmektedir. Aşağıda bu parametrelere ait açıklamalar yer almaktadır.

(**$\dot{V}E$**) **Dakika ventilasyon L/Dakika:** 1 dakikada ekspire (akciğerden çıkaraılan) edilen havanın hacmi**.**

($\dot{V}O_2$) Oksijen tüketimi - mL/Dakika: Dakika başına tüketilen oksijen miktarı olarak ifade edilmektedir. Egzersiz kapasitesini değerlendirmede kullanılan en önemli

parametredir ($\dot{V}O_2$maks, $\dot{V}O_2$pik). Egzersiz sırasında iş yükü ile doğru orantılı olarak $\dot{V}O_2$ artar. İş yükü artmasına rağmen $\dot{V}O_2$ artmaması ve sabit kalması, maksimum $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_2$maks)'ye ulaşılması anlamına gelmektedir (American Thoracic S, 2003).

($\dot{V}CO_2$) Karbondioksit üretimi - mL/Dakika: Dakika başına üretilen karbondioksit miktarı olarak ifade edilmektedir. $\dot{V}O_2$ sabit durumdayken $\dot{V}CO_2$'deki değişiklikler, yıkıma uğrayan substratlar hakkında bilgi vermektedir. $\dot{V}O_2$ ve $\dot{V}CO_2$ sayesinde, solunumsal değişim oranlaması (RQ), $P(A-a)O_2$ ve alveoler ventilasyon hesaplanabilmektedir (American Thoracic S, 2003).

(RQ) Solunumsal değişim oranlaması: Karbondioksit üretiminin, oksijen tüketimine oranını olarak ifade etmektedir ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) (William & Adams, 2009).

(HR) Kalp atım hızı - bpm: Giderek artan egzersizde önceleri kardiyak debideki artış, atım volümü ve kalp atım hızındaki artış ile sağlanırken egzersizin şiddeti arttıkça bu artış daha çok kalp atım hızı ile sağlanmaktadır. Egzersiz sırasında yaşa bağlı olarak beklenen değerlere ulaşılması kişinin kendisini maksimum zorladığını gösterir. Normalde nabız ve $\dot{V}O_2$ilişkisi lineerdir.

(Qt) Zaman - sn: Test başladığı andan itibaren her soluk alıp vermenin son anındaki sürenin saniye olarak kaydedilmesidir.

(Rf) Solunum frekansı - 1/dk: Dakikada alınan soluk sayısıdır. Metabolik ölçüm sistemleri genellikle yeni bir solunum aşamasının başlangıcını belirlemek için ekspirasyon akımının durması veya düzenli inspirasyon akımının ölçümüne dayanır (Cooper & Storer, 2003).

($\dot{V}E / \dot{V}O_2$) O_2 İçin Solunum cevap eğrisi: Yükü kademeli olarak artan bir egzersizde, dakika ventilasyon ile $\dot{V}O_2$ arasındaki ilişki olarak ifade edilir. Bu ilişki doğrusal olmayıp kademeli olarak artan egzersiz süresinde yükselmektedir (Cooper & Storer, 2003).

($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) CO_2 Solunum cevap eğrisi: Yükü kademeli olarak artan bir egzersizde, dakika ventilasyon ile $\dot{V}CO_2$ arasındaki ilişki olarak ifade edilir (Cooper & Storer, 2003).

($\dot{V}T$) Soluk hacmi - L(btps): Soluk hacmi (Tidal hacim) tek bir solukta alınan hava hacmidir. Rutin olarak tidal hacim (VT) ekspire edilen hava hacmi olarak tanımlanır.

Isı, nem ve akciğerdeki gaz alışverişi gibi faktörler; ekspire edilen hava hacminde inspire edilen hava hacmine göre hafifçe fark oluşturur (Cooper & Storer, 2003).

($PetO_2$) **Tidal hacim sonu oksijen gaz basıncı - mmHg:** Tidal hacim sonu gaz basıncı, her soluk verme sonunda saptanan oksijen parsiyel basıncıdır. Akciğerlerden en son dışarı çıkartılan havanın alveollerden geldiği varsayılır (Cooper & Storer, 2003).

($PetCO_2$) **Tidal hacim sonu karbondioksit gaz basıncı - mmHg:** Tidal hacim sonu gaz basıncı, her soluk verme sonunda saptanan karbondioksit parsiyel basıncıdır. Akciğerlerden en son dışarı çıkartılan havanın alveollerden geldiği varsayılır (Cooper & Storer, 2003).

($\dot{V}D/\dot{V}Te$) **Ölü boşluk / tidal hacim oranı:** Solunum sistemi iki yönlü bir pompa gibi çalıştığı için her soluk alma işleminde bir miktar hava kullanılamayarak ölü boşluk oluşturur. Bu fizyolojik ölü boşluk (V_{D_physio}), anatomik ölü boşluk (V_{D_anat}) ve alveoler ölü boşluktan (V_{D_alv}) oluşmaktadır.

Burada anatomik ölü boşluk (V_{D_anat}) üst hava yolları, trekea ve bronşlardan oluşmaktadır. Alveoler ölü boşluk (V_{D_alv}) ise akciğerlerin perfüze olmayan veya az olanı ifade eder (Cooper & Storer, 2003).

$$V_{D_physio} = V_{D_anat} + V_{D_alv} \quad (2.3)$$

BÖLÜM III

YAPAY SİNİR AĞLARI

Kendimize Homo Sapiens, bilge insan diyoruz çünkü zekâ diye çok önemli bir şeye sahip olduğumuzu bilmekteyiz. Bir avuç büyüklüğündeki beyin, kendisinden çok daha büyük ve daha karmaşık bir dünyayı nasıl algılayabilir, anlayabilir, tahmin edebilir ve manipüle edebilir sorusu binlerce yıldır düşünmekteyiz (Russel & Norvig, 2010). Gardner zekâyı gerçek hayatta karşılaşılan problemlere etkili ve verimli çözüm üretebilme becerisi, çözüme kavuşturulması gereken yeni ve karmaşık yapılı problemleri keşfetme yeteneği olarak tanımlamıştır (Gardner, 1993).

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile insan zekâsının bazı fonksiyonları insandan çok daha hızlı yapılabilmektedir. Bilgisayarlar, rakam ve harflerin işlenmesi gibi uygulamalarda insan beynine kıyasla çok daha iyi bir performans sergilemekte ve insanın düşünme işlemlerinin bazı bileşenlerini büyük ölçüde basitleştirerek hızlandırmaktadır. Bu şekilde yapay zeka teknolojileri ile elle yapılan zorlu ve karmaşık birçok işlem otomatik olarak yapılabilmektedir.

Geçmişten günümüze evrende sayılması mümkün olmayacak kadar problem bulunmaktadır. Zaman ilerledikçe bu problemlerin bir bölümünün çözümleri doğal olarak ortaya çıkmıştır. Karıncalar ve arıların yuvaları ile besin maddelerine ulaşırken kısa ve engelsiz optimum mesafeyi bulmaları, balıkların göç etme hareketleri, canlıların üremesinde genetik yapıların çeşitliliği sağlayarak farklı bireyler meydana getirmesi ve sinir hücrelerinin birbiri ile etkileşerek öğrenmeyi sağlaması gibi birçok örnek günümüzde modellenip bilgisayarlarda kullanılarak pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bu durumda yapay zekâ, evrendeki birçok problemin üretilmiş çözümünün taklit edilerek başka problemleri çözme yeteneği olarak düşünülebilir.

Yapay zekâ (Artificial Intelligence, AI) varlığının oluşturulmasının başarılması kolay olmamıştır. 1974-1980 yılları arasında “AI winter” yani “yapay zekâ kışı” olarak bilinen dönemde, yapay zekâ geliştirme sürecini eleştiren birçok rapor yayınlanmıştır. Daha sonra bu raporların da etkisiyle yapay zekâ alanına devletin desteği ve ilgisi azalmıştır. 1980’lerde yapay zekâ alanı, İngiliz devletinin Japonlarla yarışmak için bu alanı tekrar fonlamasıyla canlanmıştır (Lewis, 2014).

Modern yapay zekânın başlangıç izleri, klasik filozofların insan düşünce sistematiğini simgesel sistem olarak tanımlama girişiminde görülebilir. Fakat yapay zekâ bir çalışma alanı olarak 1956'ya kadar dile getirilmemiştir. 1956'da Hannover, New Hampshire, Dartmouth College'da yapılan bir konferansta "yapay zekâ" terimi ilk defa ortaya atılmıştır (Lewis, 2014).

Günümüzde oldukça popüler olan AI uygulamaları, satranç oynamak, matematiksel teoremleri kanıtlamak, şiir yazmak, kalabalık bir sokakta araba kullanmak ve hastalıkları teşhis etmek gibi çeşitli alanları kapsamaktadır (Russel & Norvig, 2010). Bilimsel verilerin işlenerek anlamlandırılmasında hızla gelişen bir araç olan yapay zekâ uygulamaları birçok alanda umut vaat etmektedir. Yapay zekânın ilk bilimsel uygulamaları, uzmanlar tarafından bilgisayarlarda oluşturulan bilgi tabanlı sistemlerin kullanımına odaklanmıştır. Bilgi işlem gücü konusunda oldukça mütevazı taleplerde bulunan bu bilgisayar programlarının teorik temellerinin basitliği ve kolay uygulanabilir olmaları sebebiyle yapay zekâ yazılan ilk programlardan olmuştur. 1960'ların ve 1970'lerin günümüze göre zayıf donanımlı bilgisayarları yapılan bu ilk uygulamaların çalışabilmesinde yeterli olmuş olsa da, genetik algoritmalar veya yapay sinir ağları gibi daha zorlu AI yöntemleri uygulanamamıştır. Ayrıca, bu dönemlerde yapılmış çoğu AI algoritmasının teorik temeli zayıf bir şekilde geliştirilmiştir. Bununla birlikte, daha hızlı bilgisayarlar zamanla laboratuvarlarda kullanılmaya başlanmıştır. Giderek AI yöntemlerinin günlük hayattaki problemleri çözme becerisi ortaya koyulmaya başlanmış ve birçok bilim dalında AI kullanımı artmıştır. Bilim adamları yapay sinir ağları veya genetik algoritmalarla ilk karşılaştıklarında, bu kadar basit görünen algoritmaların, daha karmaşık algoritmaların başarısız olabileceği yerlerde başarılı olup olamayacağını merak etmişlerdir. AI yöntemlerinin artık tercih edilen yöntem olduğu çok sayıda alan vardır (Lvingstone & Walker, 2008).

Her AI yönteminin etkili olma olasılığı en yüksek olan algoritması, sorunun doğası ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Örnek olarak genetik algoritmaların yapısı, sipariş verme veya sıralama problemleri için uygun olmakla birlikte akış çizelgesi çizelgelemesi ve protein yapısının tahmini gibi problemlerde kullanılmıştır (Cartwright & Long, 1993).

3.1. Yapay Sinir Ağları Nedir?

1943'ten bu yana, hem nöronlar hem de beyindeki daha büyük sistemler için çok daha ayrıntılı ve gerçekçi modeller geliştirilmektedir. Bu durum bilgisayar hesaplamalı nörobilim alanının gelişmesine yol açmıştır. Pearl 1988 yılında yaptığı çalışmada Bayes ağlarını değişkenlerin düğümler olarak gösterildiği, değişkenler arası olasılıksal bağımlılık ilişkilerininde yönlü oklar aracılığıyla gösterildiği ağlar olduğunu belirtmiştir (Pearl, 1988). Öte yandan, yapay zekâ ve istatistik araştırmacıları, sinir ağlarının ayrıntılı hesaplama yapma, girdilerdeki hataları tolere etme ve öğrenme yetenekleri gibi nörobilimin daha soyut özelliklerine ilgi duymaya başlamıştır. Her ne kadar Bayes ağları da dâhil olmak üzere diğer sistem türlerinin bu özelliklere sahip olduğu anlaşılsa da, sinir ağları en popüler ve etkili öğrenme sistemi biçimlerinden biri olmaya devam etmektedir (Russel & Norvig, 2010).

Bir sinir ağının temel özelliği öğrenme yeteneğidir. Bir veri kümesini tanımlayan uygun bir matematiksel model zaten biliniyorsa, bir sinir ağına ihtiyaç duyulması olası değildir ancak verilerin temelini oluşturan kuralların sadece kısmen bilinmesi veya hiç bilinmemesi durumunda, bir sinir ağı aracılığıyla ilginç ilişkiler bulunabilir ve veri tabanına kaydedilir. Sinir ağları karmaşık davranışları öğrenebilir ve oldukça uyarlanabilirdir. Kısa süreli çalışmalarda bile sinir ağlarının çok çeşitli görevleri üstlendiği görülür. Parmak izleri ve üretim hatlarındaki nesneleri tanınabilir, bir banka müşterisinin kredi için risk almasının iyi olup olamayacağı ve bir hastanın röntgen filmi kullanılarak bir uzvunun kırılıp kırılmadığı belirlenebilir (Lvingstone & Walker, 2008).

3.1.1. YSA'nın Spor Bilimlerinde Kullanımı İle İlgili Literatür Taraması

Vainamo ve arkadaşları 1996 yılında yapay sinir ağı yaklaşımı kullanılarak belirli coğrafyalarda yaşayanların verilerini gruplamış ve kalp atış hızı değişkenlerinden aerobik uygunluğun belirlenmesi yönünde bir yöntem önermiştir. Araştırmacı geleneksel oksijen alımı ölçüm yöntemlerinin pahalı ve özel klinik enstrümanlar gerektiğini belirtmiştir. Vainamo yöntemini, seri tarzda bağlanmış iki YSA yapısına dayandırmıştır. Araştırmacı ilk YSA yapısına ön sınıflayıcı demiştir ve bu yapı fizyolojik özelliklerin ve karmaşık özelliklerin girdilerine sahip olmuştur. İkinci YSA yapısı, ön sınıflandırma sonucunun ve kalp hızı kayıtlarından hesaplanan bazı istatistiksel özelliklerin bir girdisine sahip olan bir tahminleyici olmuştur (Vainamo, Nissila, Makikalio, & Tulppo, 1996).

Mulavara ve arkadaşları 1998 yılındaki çalışmalarında 20 sağlıklı denekten önceden işlenmiş, torasik empedans pletismograf sinyallerinden inme hacmini tahmin etmek için yapay sinir ağlarının kullanımını değerlendirmiştir. Ağları eğitmek için standart geri yayılım kullanılmış, Doppler kalp atım hacmi tahminleri istenen çıktı olarak belirlenmiştir. Eğitimli ağlar daha sonra iki klasik biyofiziksel yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Biyofiziksel yaklaşımlar ile Doppler arasındaki R^2 belirleme katsayısı % 8,20 ve % 9,90 iken en iyi sinir ağı ve Doppler arasında % 77,38 olmuştur. Araştırmacıların sonuçlarında torasik biyoimpedans ve inme hacmi arasında tersinir bir ilişkinin olabileceğini ve yapay sinir ağlarının torasik elektrik empedansından inme hacmini tahmin etmek için potansiyel kullanım açısından avantajlı bir yaklaşım sunabileceğini göstermiştir (Mulavara, ve diğerleri, 1998).

Ringwood 1999 yılında aerobik veya aerobik/anaerobik sporlarda yer alan sporcular için anaerobik eşik ölçümleri konusunu ele almıştır. Araştırmacı çalışmasında anaerobik eşiği invaziv testleri veya dinlenim kalp atım hızı/fiziksel aktivite sırasındaki kalp atım hızı verileri kullanarak yaygın olmayan bir teknik belirlemiştir. Araştırmacıya göre yaygın olmayan testler özel ekipman gerektirmeme avantajına sahip olmasına rağmen kararlı durum bilgilerinin elde edilmesinin sorunlu olabildiği ifade edilmiştir. Araştırmacı, yapay sinir ağları kullanarak dinlenim kalp atım hızı/çalışma hızı eğrisini (SSHW eğrisi) doğru bir şekilde belirlemek için dinamik verilerin nasıl kullanılabileceğini göstermiştir (Ringwood, 1999).

Zhang ve arkadaşları 2005 yılında insanların günlük doğal yaşam aktiviteleri içerisindeki hareketleri karakterize etmek ve ölçmek için yeni bir yöntem sunmuştur. Araştırmacılar her adımın zemine temas bilgilerini kaydetmek ve ölçmek amacıyla taşınabilir bir cihaz geliştirmişlerdir. Zhang ve arkadaşları bu cihaz ile alınan verilerden hareketin türünü ve yoğunluğunu tanımlamak için yapay bir sinir ağı geliştirmiştir. Zhang ve arkadaşlarının çalışmasına 40 kişi katılmıştır. Denekler sırayla belirlenen yavaş, normal ve yüksek hızlarda merdivenlerde yürüme, koşma, basamak inme ve basamak çıkma aktiviteleri yapmışlardır. Araştırmacıların geliştirdiği cihaz, farklı faaliyet türleri arasında yürüme, koşma, basamak inme ve basamak çıkma aktivitelerini (sırasıyla %98,78, %98,33, %97,33 ve %97,29) doğru olarak tanımlamıştır (Zhang, ve diğerleri, 2005).

Rothney ve arkadaşları 2007 yılında ivmeölçerlerin, günlük yaşamda fiziksel aktivite şekillerini tanımlamak için umut verici bir araç olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar ivmeölçerlerin yaygın kullanımlarındaki en büyük sınırlamanın, hızlanma sinyallerinin eşzamanlı olarak alınamama olmasından bahsetmişlerdir. Rothney ve arkadaşları çalışmalarındaki referans standartı olarak oda koşullarında yaklaşık 24 saat boyunca kalorimetre ile toplanan enerjinin harcama verileri ile 102 sağlıklı yetişkinde hızlanma ve dakika-dakika enerji harcamaları arasında ilişkiyi gösteren kalçada çift eksenli ham (32 Hz) hızlanma sinyallerini kullanmışlardır (Rothney, Neumann, Be´ziat, & Chen, 2007).

Silva ve arkadaşları 2007 yılında, genç yüzücülerin 200 metrelik çeşitli bireysel ve ve 400 metrelik yüz üstü performanslarını açıklayabilen faktörleri tanımlamak amacıyla doğrusal olmayan matematiksel yöntemler ve yapay sinir ağ modellerinin tahmin performanslarını değerlendirmişlerdir. Ulusal düzeyde 138 genç yüzücünün (65 erkek ve 73 kadın) sonuçları kinantropometrik değerlendirme, yüzme dışı alandaki fonksiyonel değerlendirme (kuvvet ve esneklik), yüzme fonksiyonel değerlendirme (hidrodinamik, hidrostatik ve biyoenerjetik özellikler) ve yüzme tekniği değerlendirmesi gibi dört farklı alandan oluşan bir test serisine gönderilmiştir. Bu çalışmada 200 metrelik karışık ve 400 metrelik font tarama olaylarında her cinsiyet için baskın değişkenler ve yüzme performansı arasında genç yüzücü kombinasyonlarının bir profili geliştirilmiştir. Bu amaçla, tek bir gizli tabakada üç nöron içeren ileri beslemeli bir sinir ağı kullanılmıştır. Modelin prognoz hassasiyeti (gerçek ve tahmini performanslar arasında %0,8'den düşük hata) son kanıtlarla desteklenmektedir. Araştırmacılar, sinir ağı aracının yüzme ve diğer spor dallarında performans modellemesi ve yetenek tanımlaması gibi karmaşık sorunların çözümünde iyi bir yaklaşım olabileceğini düşünmüşlerdir (Silva, ve diğerleri, 2007).

Ruiz ve arkadaşları 2008 yılında gençlerde 20 m mekik koşusu testini (20m SRT) performans (evre), cinsiyet, yaş, ağırlık ve boy parametreleri kullanarak maksimum oksijen alımını ($\dot{V}O_2maks$) tahmin etmek için yapay bir sinir ağı geliştirmiştir (Ruiz, ve diğerleri, 2008).

Ernes ve arkadaşları 2008 yılında fiziksel aktivitenin insanların sağlığı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ve ayrıca kronik hastalıkların oluşumunu azaltabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların fiziksel aktivite ve sporla ilgili yaşam tarzı hakkında

çalışmasının amacı giyilebilir sensörlerle aktiviteleri tanımlama, katılımcılar tarafından denetlenmeyen ortamlarda yapılan günlük aktivitelerin ve sporların denetlenen ortamlara göre daha iyi tanımlanabileceğini incelemek olmuştur. Faaliyetler, a priori bilgi ve yapay sinir ağları içeren bir ağaç yapısını birleştiren hibrit ve üç referans sınıflandırıcı kullanılarak tanınmıştır. Aktivite verileri 12 denekten 68 saat süreyle toplanmış, bunların dışında aktivite 21 saat boyunca gözlenmiş ve 47 saat boyunca gözetimsiz olmuştur. Aktiviteler, kalça ve el bileği ve Global Position System (GPS) bilgileri üzerindeki 3-B ivmeölçerlerin sinyal özelliklerine dayanarak tanınmıştır. Aktiviteler arasında uzanmak, oturmak ve ayakta durmak, yürümek, koşmak, egzersiz bisikleti ile bisiklete binmek, kürek makinesiyle kürek çekmek, futbol oynamak, kuzey yürüyüşü ve normal bisikletle bisiklet sürmek yer almıştır (Ermes, Pärkkä, & Mäntyjärvi, 2008).

Wei ve arkadaşları 2009 yılında ulusal eskrim sporcularının antrenmanlarının sürecini koordine ve teşvik etmek üzere karar destek sistemini geliştirmişlerdir. Araştırmacılar eskrim eğitiminde Bayes ağına dayalı iki yönlü bir muhakeme modeli oluşturmuş ve eğitim süreci ile fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkiyi bulmuştur. Araştırmacılar tecrübelere dayanarak ve örnek verilerle birlikte, öğrenme yöntemleri ve ağın akıl yürütme işlevleri üzerine araştırmalar yapılmış ve sonuçta eksiksiz bir eğitim süreci yönetimi ve analiz sistemi seti oluşturulmuş olduğunu iddia etmişlerdir. Kadın sporcular kullanılarak deneysel veri toplanmış ve yapay sinir ağı yöntemiyle performans karşılaştırması yapılmıştır. Deneyler, modelin antrenörler için etkili karar desteği sağlayabildiğini göstermiştir (Wei, Liu, Wei, & Cui, 2009).

Memmert ve Perl davranışların analizi ve simülasyonu için yeni bir sinir ağı yaklaşımı sunmuştur. Araştırmacı DyCoNG tabanlı simülasyonun sonuçları, ağın ana işlem türlerini ayırabildiğini ve simülasyon yoluyla kayıtlı yaratıcı öğrenme süreçlerini yeniden üretebildiğini göstermiştir. Araştırmacılar bu sonuçları, takım sporlarındaki pratik çıkarımlar ve gelecekteki araştırmalar doğrultusunda tartışmıştır (Memmert & Perl, 2009).

Staudenmayer ve arkadaşları 2009 yılında, yaygın olarak kullanılan tek eksenli bir ivmeölçerle toplanan fiziksel aktivite verilerine uygulanacak iki YSA geliştirmiş ve test etmiştir. İlk YSA modeli fiziksel aktivite metabolik eşdeğerlerini, ikinci YSA

tanımlanmış aktivite tipini tahmin etmiştir (Staudenmayer, Pober, Crouter, Bassett, & Freedson, 2009).

McCullagh 2010 yılında yaptığı çalışmada veri madenciliği tekniklerinin birçok bilimsel, endüstriyel ve ticari alanda başarıyla uygulanmış olduğunu belirmiştir. Araştırmacıya göre profesyonel spor dallarında oyuncu, antrenman, takım, oyun ve sezon için toplanan çok miktarda veri bulunmaktadır, ancak bu verilerin etkili kullanımı sınırlı olmaktadır. McCullagh birçok spor kuruluşunun bu verilerin kullanma tekniklerinde artan bir ilgisi olduğunu söylemiştir. McCullagh'ın çalışmasının amacı, yapay sinir ağlarının yetenek tanımlama problemine karşı veri madenciliği sürecine yardımcı olma potansiyelini araştırmak olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı oluşturduğu bir yapay sinir ağı uygulamasını, Avustralya Futbol Ligi Ulusal Taslağındaki oyuncuların seçiminde uygulanmıştır. McCullagh'ın çalışmasından elde edilen sonuçlar, yapay sinir ağlarının yetenek belirleme sürecinde yöneticilerin oyuncuları seçmeye karar verme konusunda yardımcı olma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (McCullagh, 2010).

Dutt ve arkadaşları 2011 yılında, çeşitli istatistiksel araçlar kullanarak takım sporlarında oyuncu hareketlerinin organizasyonu hakkında araştırmalar yapmışlardır Futbol takımlarının performansını en iyi açıklayan faktörlerin öneminden bahseden araştırmacılar, bu takım oyunlarına özgü gelişen konfigürasyonları gösteren yüksek boyutlu davranışsal çıktıları tartışmışlardır. Dutt ve arkadaşlarına göre dinamik sistem analizleri, takım sporlarındaki hareket modellerinin doğrusal olmayan ve kendiliğinden organize olan özelliklere sahiptir. Bu çalışmada doğrusal olmayan işleme araçları olan YSA'nın, spor müsabakalarındaki katılımcıların koordinasyonunu araştırmak için giderek daha popüler hale geldiğinden bahsedilmiştir. Araştırmada YSA'ların, doğrusal olmayan özniteliklere sahip yüksek boyutlu veri kümelerini tanımlamak için çok uygun olduğu; ancak YSA'ları uygulamak için gereken süreçlerle ilgili sınırlı bilginin bulunduğu ifade edilmiştir. Takım futbolu için potansiyel uygulamalara odaklanan sporların performans analizinde kullanılan çeşitli YSA öğrenme yaklaşımlarının göreceli değeri araştırılmıştır. SPORTDiscus ™, Google Akademik, IEEE Xplore, Scirus, ScienceDirect ve Elsevier gibi elektronik literatür arama motorlarından 64 araştırma kaynağı özetlenmiş ve gözden geçirilmiştir. Araştırmada tipik YSA öğrenme algoritmaları örüntü tanıma ve örüntü sınıflandırmalarının uyarlanabilir olduğuna değinilmiştir. Bir Kohonen özellik haritasının boyutsal olarak azaltılması, kaotik yüksek

boyutlu veri kümelerinden düşük boyutlu bilgilere sıkıştırabilmekte olduğu vurgulanmıştır. Bu tür bilgiler, oyuncular arasında kendi kendini organize eden koordinasyonu geliştirecek etkili antreman programları geliştirmek için yararlı olacaktır. Araştırmacılar YSA tabanlı nitel analizin, futbolcuların birlikteliklerinin dinamik özelliklerini anlamak için umut verici bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır (Dutt, Button, Robins, & Bartlett , 2011).

Edelman ve arkadaşları 2012 yılında, elit bir kadın yüzücünün 2000 yılında Sydney'de düzenlenen olimpiyat oyunlarında 200 metrelik sırtüstü finalindeki performansının yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilebildiğini göstermiştir. Veriler, Olimpiyatlardan önce 19 müsabaka (200 m sırtüstü vuruş) performans çıktısından ve her müsabakadan önceki son 4 haftanın antrenman girdi verilerinden oluşmuştur. Çalışmalarında 10 giriş nöronlu, 2 gizli nöronlu ve 1 çıkış nöronlu çok katmanlı algılayıcılar kullanmışlardır. 19 yarışmanın verileri bu tür ağları eğitmek için yeterli olmadığından, başka bir sporcunun antrenman girdisi ve rekabet verileri, sinir ağlarının eğitim süreçlerinde sinir ağlarını önceden eğitmek için kullanılmıştır (Edelmann, Hohmann, & Hanneberg, 2012).

Maszczyk ve arkadaşları 2012 yılında, sporcu başarılarını tahmin etmek amacıyla sporcu seçim sürecini optimize etmeyi hedeflemişlerdir. Araştırma projesi, dört yıl boyunca eğitim alan ve yarışan 249 yüzücüyü (yaş 12, ± 0,5) içeren bir gruptan oluşmuştur. Araştırmada uygunluk (akciğer kapasitesi), kuvvet (uzun atlama), yüzme tekniği (dönüş, kayma, strok döngüsü başına mesafe), antropometrik değişkenler (el ve ayak büyüklüğü) ve belirli yüzme önlemleri (belirli mesafelerde hızlar) kullanılmıştır. Maszczyk ve arkadaşlarının araştırmalarındaki katılımcılar (n = 189), Mayıs 2008'den Mayıs 2009'a kadar, haftada beş gün yüzme antrenmanları ve bu çalışma için gerekli ölçümlere ayrılan 45 dakikalık üç ek seans eğitimi almıştır. Araştırmada Haziran 2009'da, her biri 30 yüzücüden oluşan (n = 60) iki grubun verileri, tahmin değişkenlerini tanımlamak için kullanılmıştır. Böylece 50 metre ve 800 metre tarama olaylarında son yüzme performansını tahmin etmek için bu değişkenlerden oluşan modeller elde etmişlerdir (Maszczyk, ve diğerleri, 2012).

Silva ve arkadaşlarının 2012 yılındaki çalışmasının amacı, 20 metrelik mekik koşusu testini kullanarak 10-18 yaş arası Portekizli gençlerde maksimum oksijen alımını ($\dot{V}O_2 maks$) tahmin etmek için iki modeli elde etmek ve bu modelleri

doğrulamak olmuştur. Çalışmadaki denekler (54 kız ve 60 erkek) tahmin (n = 91) ve çapraz geçerlilik (n = 23) gruplarına ayrılmış ve $\dot{V}O_2maks$ değerleri 20 metrelik mekik koşusu testi sırasında taşınabilir bir gaz analizörü kullanılarak doğrudan ölçülmüştür. Çoklu Doğrusal Regresyon ve Yapay Sinir Ağı testleri, $\dot{V}O_2maks$ tahmini içinde cinsiyet, yaş, boy, kilo, vücut kitle indeksi (VKİ-BMİ) ve 20 metrelik mekik koşusu testi evresi göz önüne alınarak yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon ve YSA tahminleri daha önce yayınlanan diğer üç denklemle karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar çoklu doğrusal regresyon tarafından tahmin edilen denklemin Portekizli gençler için YSA veya daha önce yayınlanan diğer üç denklemin tahmininden daha uygun olduğu savunmuşlardır (Silva, ve diğerleri, 2012).

Ruch ve arkadaşları 2013 yılında, ivmeölçere dayalı olarak yapay sinir ağının (YSA_{EE}) aktiviteye özgü tahmin denklemlerinin (AÖTD) ölçülen enerji harcaması (EH) ile enerji verimliliğini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Araştırmacılar kırk üç çocuk (yaş 9,8 ± 2,4) ile sekiz farklı aktivite gerçekleştirmiştir. Bir saniyelik veri toplayan bir tri aksiyal ivmeölçer ve taşınabilir gaz analizörü kullanmışlardır. Araştırmacılar, AÖTD ve YSA_{EE} ile katılımcıların ivmeölçer verisi, yaş, cinsiyet ve vücut ağırlığını dâhil ederek enerji verimliliğini tahmin etmek üzere eğitmişlerdir. Ayrıca aktiviteye özgü bilgi sağlamak amacıyla ivmeölçer verisi kullanılarak aktivite tipini tanıtmak için bir karar ağacı geliştirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmanın, ileride yapılacak enerji verimliliği tahmin denklemleri üzerine faaliyet türüne özgü bilgileri kullanarak, gelecekteki çalışmalara umut verici bir yaklaşım olabileceğini ileri sürmüşlerdir (Ruch, ve diğerleri, 2013).

Bartlett 2015 yılında, Avustralya'da profesyonel olarak futbol oynayan sporcularda grup ve bireysel modelleme yaklaşımlarını kullanarak, algılanan efor derecesi ile GPS antrenman yükü değişkenleri arasındaki ilişkileri ölçmek ve tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuştur (Bartlett, 2015).

Abdullah ve arkadaşları 2016 yılında, Malezya'daki futbolcuların futbol teknik becerisinin potansiyel modelini, çok değişkenli analiz ve yapay sinir ağı teknikleri kullanarak tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Malezya futbol akademisinde (yaş 15,2 ± 2) 184 erkek futbolcu fiziksel uygunluk testi, antropometrik, olgunluk, motivasyon ve beceri ile ilgili ölçümlere alınmışlardır. Çalışmaları için futbolda en önemli parametreleri tanımlamak için temel bileşen analizinin desen tanımlaması kullanılmış ve

futbol bağıl performans endeksi için tahmin yeteneğini belirlemek için yapay sinir ağı kullanılarak tahminlerde bulunmuşlardır (Abdullah, Maliki, Musa, Kosni, & Juahir, 2016).

Rein ve Memmert 2016 yılında elit futbolun araştırmalarının yapıldığı yıllara kadar taktik analizin, gözlemsel verilere dayandığından bahsetmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar takım taktiklerinin analizi, takım taktik davranışının altında yatan karmaşık süreçleri temsil etmek için teknik beceri, bireysel fizyolojik performans ve takım oluşumları gibi çeşitli kaynaklardan ayrıntılı veriler gerektirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar buna göre, bu farklı faktörlerin elit futbolda takım taktik davranışını nasıl etkilediği hakkında çok az şey bilinmekte olduğunu söylemişlerdir. Rein ve Memmert bunun, mevcut verilerin eksikliğinden de kaynaklanmakta olduğunu belirmişlerdir. Bununla birlikte, yeni minyatür sensör teknolojileri ile toplanan antrenman verilerinin yanı sıra, yeni nesil izleme teknolojileri ile elde edilen ayrıntılı oyun günlükleri de araştırmada kullanılmak için hazır hale gelmiştir. Ancak bu durumun, takım sporlarında taktik karar vermenin teorik olarak modellenmesinin yanı sıra, metodolojik kılavuzlar olarak kesme miktarındaki verilerin kendi başına bir engel haline gelen zıt bir soruna yol açtığı araştırmacılarca savunulmuştur. Rein ve Memmert'tin çalışmasında, büyük veri ve modern makine öğrenimi teknolojilerinin bu konuları ele almaya nasıl yardımcı olabileceği ve takım sporlarında taktik karar verme için teorik bir model geliştirilmesine nasıl yardımcı olabileceği tartışılmaktadır. Tıbbi uygulamalardan elde edilen deneyimlerin gösterdiği gibi, öncelikle veri yönetişimi ve teknolojilere erişim ile ilgili önemli organizasyon engelleri aşılmalıdır. Bu çalışma, elit futbolda taktik analizler açısından bir veri madenciliği önermiştir (Rein & Memmert , 2016).

Perl 2017 yılında yapay sinir ağları için doğal sinir ağlarına benzer şekilde, kalıpları tanımayı ve sınıflandırmayı öğrenebilen ve dolayısıyla oyunculuğa bağlı olarak bağlamı optimize etmeye yardımcı olabilecek araçlar olduğunu belirtmiştir. Perl için birçok teknik yaklaşımda çok faydalı olan bu yetenekler, özellikle spor oyunlarındaki taktik kalıpları veya eğitim süreçlerinde öğrenme davranışı kalıplarını analiz etmede ve planlamada da yararlı görünmüştür. Perl ilk denemede, Rostock Üniversitesi ile işbirliği içinde voleyboldaki taktik yapıların yapay sinir ağları kullanılarak başarılı bir şekilde analiz edilebilir olduğunu belirtmiştir. Ancak araştırmacı bu tür analizler için kullanılması gereken özel ağ türü olan Kohonen Özellik Haritasının (KÖH) büyük miktarda veriye ihtiyaç duymasından dolayı sürekli öğrenmede gerekli dinamiğe sahip

olması şartını sunmuştur. Perl'in çalışmasında Heidelberg Üniversitesi araştırmacıları işbirliği ile dinamik kontrollü ağ (DyCoN)'un spordaki eğitim süreçlerinin analizi ve optimizasyonu için kullanıp kullanamayacağı bulunmaya çalışılmıştır (Perl, 2017).

Literatürde birçok çalışmada KPET'lerde $\dot{V}O_2maks$ parametresi tahmin edilirken bu çalışmada egzersiz sırasında kişilerin enerji harcamasını yönelik olarak en yüksek yağ yakım düzeyi belirlenmiştir. Ayrıca KPET'ler ile belirlenen en yüksek yağ yakım egzersiz şiddeti, bu şiddete denk kalp atım hız aralığı YSA modelleri ile KPET yapılmadan nispeten daha maliyetsiz (zaman, para, iş gücü, tesis) testler ile tahmin edilmiş ve uzun süreli egzersiz yaptırıldığında bu değerlerin nasıl değiştiğininde tahmin edilebildiği gösterilmiştir. Bu yönüyle çalışmamız özgünlük taşımaktadır.

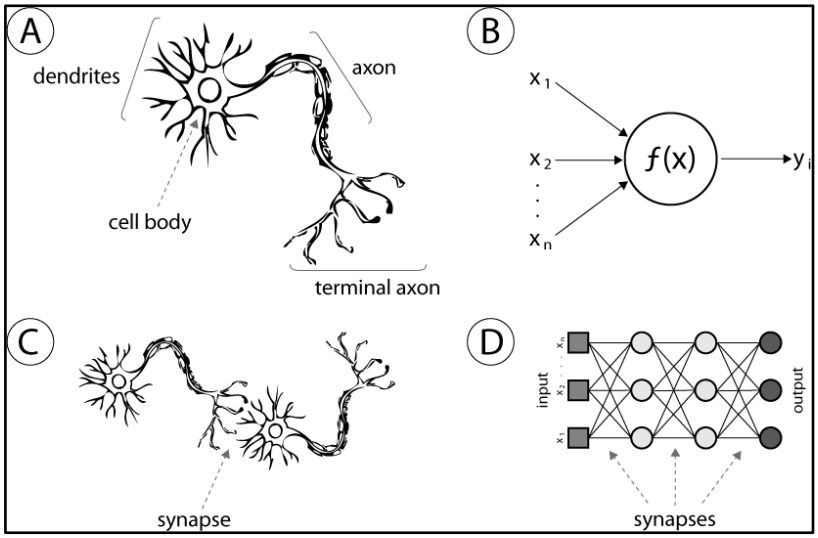
3.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay bir sinir ağı, çok sayıda biyolojik nöron hücresinin hızlı öğrenme performansını simüle eden bir algoritmadır. Biyolojik sinir ağında olduğu gibi, YSA da nöronlara benzer sinaps (düğüm) bağlantısının yapay halidir. Şekil 8'de insan ve yapay sinir hücresi basit olarak gösterilmiştir. Her bir yapay sinir ağının üç kritik bileşenlerini düğüm karakteri, ağ topolojisi ve öğrenme kuralları oluşturur.

Düğüm karakteri: Düğümle ilişkili her bir giriş ve çıkışların sayısını belirler. Her bir giriş ve çıkışla ilişkili ağırlık ve etkinleştirme işlevi gibi sinyallerin nasıl işleneceğini belirler.

Ağ topolojisi: Düğümlerin nasıl organize edileceğini ve bağlanacağını gösterir.

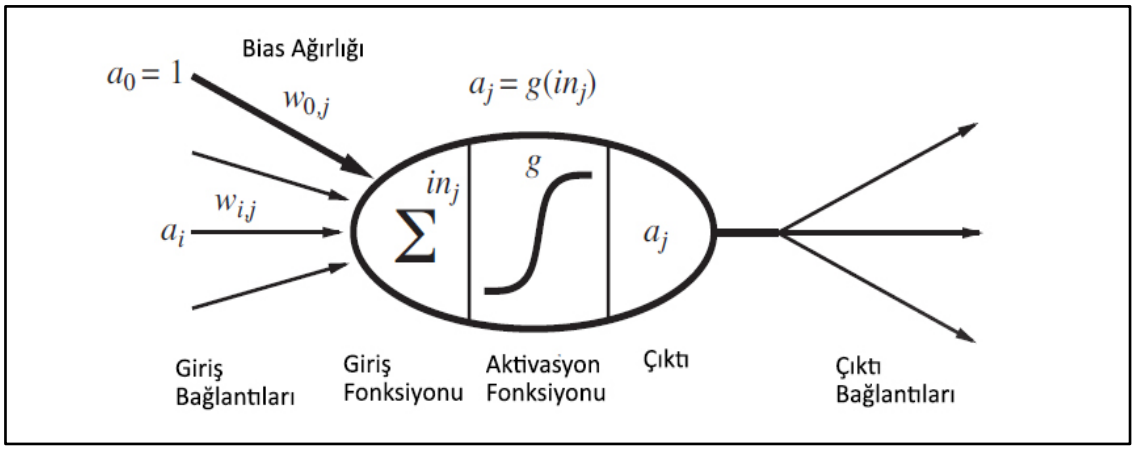
Öğrenme kuralları: Ağırlıkların nasıl başlatıldığını ve ayarlandığını belirler (Feldman, Fanty, & Goddard, 1998).



Şekil 8. **(A)** İnsan sinir hücresi; **(B)** Yapay sinir hücresi veya gizli ünite; **(C)** Biyolojik bağlantı; **(D)** YSA bağlantıları

Kaynak: *(Maltarollo, Honório, & Da Silva, 2013).*

YSA'daki bir düğüm için temel model Şekil 9'da gösterilmiştir. Her bir düğüm, sinaps gücüne benzer şekilde ilişkili ağırlıklara sahip bağlantılar aracılığıyla diğer düğümlerden bir veya birden fazla girdi alır. Ağırlıklı girdi toplamı düğümün eşik değerini aştığında, sinyali aktive eder ve bir aktarım (transfer) fonksiyonundan geçirir ve komşu düğümlere gönderir. Bu süreç matematiksel bir model olarak ifade edilebilir (McCulloch & Pitts, 1943).



Şekil 9. Yapay bir nöronun basit bir matematiksel modeli

Kaynak: *(Russel & Norvig, 2010).*

$$y = f\left(\sum_{i=0}^{n} w_i a_j - T\right) \qquad (3.1)$$

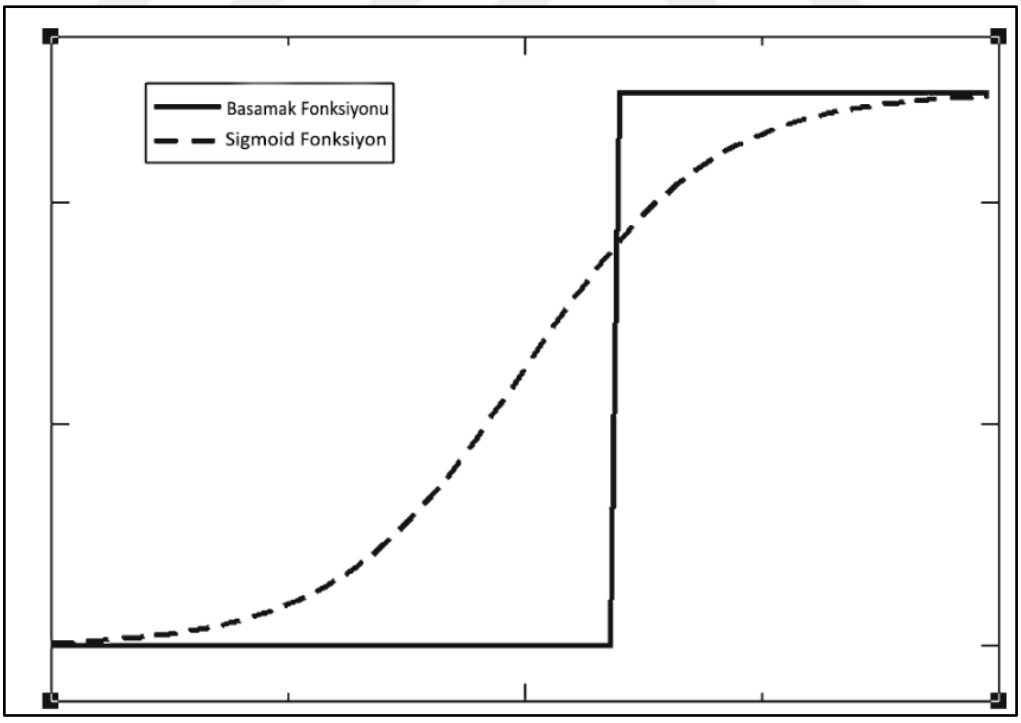
(3.1) için a_i ile belirtilen, i. düğümünden gelen $w_{i,j}$'nin ağırlığıdır ve çıkış değeridir. g, Şekil 9'da belirtilen transfer (aktivasyon) fonksiyonudur. w, a girişinin ağırlığıdır. T, eşik değeridir. Transfer fonksiyonunun birçok formu vardır (Minsky & Papert, 1969).

Doğrusal olmayan bir transfer fonksiyonu (sigmoid) doğrusal olanlardan daha kullanışlıdır, çünkü evrendeki problemleri doğrusal olarak belirlemek daha zordur. (Zou, Han, & So, 2009). Bu şekilde kullanılmayan YSA'lar doğrusal regresyon gibi davranabilmektedir.

$$y = \begin{cases} 0..eğer\ \sum_{i=0}^{n} w_i a_i > T \\ 1..eğer\ \sum_{i=0}^{n} w_i a_i < T \end{cases} \qquad (3.2)$$

Genellikle aktivasyon işlemi için hem kendisi hem de türevi sürekli olduğu için Sigmoid fonksiyonu kullanılır (Zou, Han, & So, 2009).

Şekil 10'da doğrusal ve sigmoid fonksiyonların grafikleri verilmektedir.

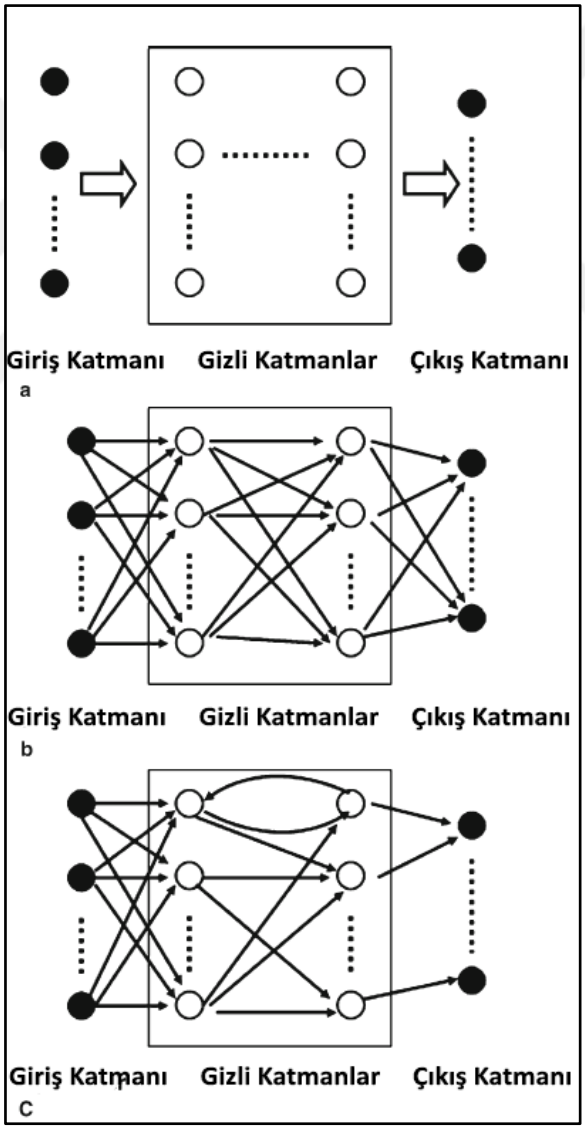


Şekil 10. Transfer fonksiyonu örnekleri

Kaynak: *(Zou, Han, & So, 2009)*

3.3. Ağ Topolojisi

Şekil 11'de (a) bir YSA'nın genel mimarisini göstermektedir. Düğümler, katmanlar adı verilen doğrusal diziler halinde düzenlenmiştir. Genellikle, giriş katmanları, çıkış katmanları ve gizli katmanlar vardır. Ağ topolojisinin tasarlanması, her katmandaki düğüm sayısının, ağdaki katman sayısının ve düğümler arasındaki bağlantıların yolunun belirlenmesini içerir. Genellikle, bu faktörler başlangıçta sezgisel olarak ayarlanır ve çoklu deney döngüleri yoluyla optimize edilir. Ayrıca sinirsel bir ağ tasarlamak için bazı rasyonel yöntemler kullanılabilir. Örneğin, genetik sinir ağı, sinir ağının kantitatif yapı-aktivite ilişkisi problemlerini çözmesinde gerekli girdi özelliklerini seçmek amacıyla genel bir algoritma kullanır (Chiu & So, 2003).



Şekil 11. **(a)** Genel bir YSA yapısı **(b)** İleri beslemeli YSA (perception) **(c)** Geri bildirim YSA

Kaynak: *(Zou, Han, & So, 2009)*

Düğümler arasında iki tür bağlantı vardır. Birincisi, geri dönüşü olmayan tek yönlü bir bağlantıdır. Diğeri, düğümlerin çıkışının önceki veya aynı seviye düğümlerine giriş olabileceği bir geri döngü bağlantısıdır. Belirtilen bu iki tipteki bağlantı tipi Şekil 11'de gösterildiği gibi (b ve c) ileri beslemeli ağ ve geri bildirim ağıdır. İleri beslemeli ağda, sinyal yalnızca tek yönlü gittiğinden ağ statik yapıdadır; yani, bir girdi belirli bir çıktıyla ilişkilendirilir. Geri bildirim ağı dinamiktir. Bir giriş için, geri besleme ağının durumu bir denge noktasına ulaşana kadar birçok döngü için değişir, bu nedenle bir giriş bir dizi çıkış üretir. Perceptron yaygın olarak kullanılan bir ileri beslemeli ağdır (Zou, Han, & So, 2009).

3.4. Öğrenme Fonksiyonu

YSA modellenirken, ağı eğitmek için bir öğrenme süreci kullanılır. Bu eğitim süreci sırasında ağırlıklar istenen değerlere göre denenerek ayarlanır. Öğrenme iki ana kategoride sınıflandırılabilir: Denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme. Denetimli öğrenmede, bir eğitim setine, yani girdilere ve karşılık gelen hedef çıktılara örnekler verilir. Ağırlıklar, ağ çıkışı ile doğru çıkış arasındaki hatayı en aza indirecek şekilde ayarlanır. Eğitim setini oluşturmak için özel dikkat gereklidir. İdeal eğitim seti altta yatan modeli temsil etmelidir. Temsili olmayan bir eğitim seti çok güvenilir ve genel bir model oluşturamaz (Zou, Han, & So, 2009).

Denetimli öğrenmeyi kullanan ağlar için önce ağın eğitilmesi gerekir. Ağ bir dizi giriş için istenen çıkışları ürettiğinde, ağırlıklar sabitlenir ve ağ çalıştırılabilir. Buna karşılık, denetimsiz öğrenme, bir eğitim setindeki hedef çıktı değerlerini kullanmaz. Ağ, yalnızca giriş verilerindeki temel örüntüyü veya eğilimi keşfetmeye çalışır. Farklı ağ türleri farklı öğrenme süreçleri gerektirir. YSA'ların farklı öğrenme hedeflerine ulaşması için birçok farklı öğrenme planı tasarlanmıştır. En sık kullanılan öğrenme yaklaşımları, hata düzeltme yöntemleri ve en yakın komşu yöntemleridir. Hata düzeltme yöntemleri normal olarak bir geri yayılma mekanizmasına sahiptir. Denklem (3.3) için $y_{k,n}$, n numaralı adımdaki k'ıncı çıkış düğümünün çıkışı olsun ve y_k^*'ncı düğüm için hedef çıkış düğümü olsun. e_k buradaki düğüm çıkışı ve hedef çıkış arasındaki fark olarak tanımlanır (Zou, Han, & So, 2009).

$$e_k = y_{k,n} - y_k^* \qquad (3.3)$$

$$w_{kj,n+1} = w_{kj,n} - \lambda e_k . x_j \qquad (3.4)$$

Denklem (3.4) için λ, ağırlık ayarlama hızını değiştiren pozitif bir sabit olsun. x_j girişi için yeni ağırlık olarak hesaplanır. Ağırlık vektörü, sistem belirlenen kriterlerde yakınsayıncaya kadar her adımda güncellenir. Öğrenme oranı, λ sistem yakınsama hızı üzerinde büyük etkiye sahiptir (Zou, Han, & So, 2009).

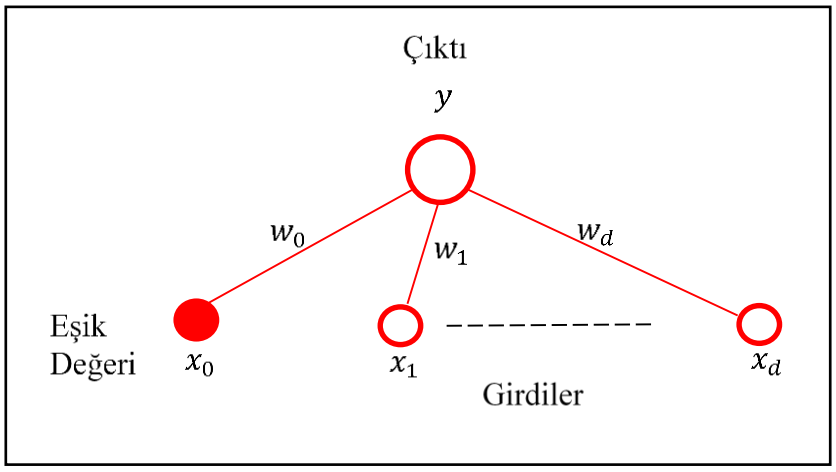
3.5. YSA Örnekleri

Algılayıcı, Hopfield net ve Kohonen haritaları gibi popüler YSA'lar bulunmaktadır.

3.5.1. Algılayıcı

Algılayıcı, ileri beslemeli bir ağdır ve Rosenblatt tarafından geliştirilen sinir ağının en eski türüdür (Rosenblatt, 1962). Tek bir gizli katman algısının sınırlamaları vardır: Sadece doğrusal olarak ayrılabilir problemleri çözebilir. Klasik örnek, tek katmanlı algılayıcı ile benzeşim edilemeyen XOR problemidir (Minsky & Papert, 1969).

Şekil 12'de basit bir tek katmanlı algılayıcı modeli olan algılayıcı modeli gösterilmektedir. Burada $x_1, x_2 \ldots . x_d$ girdileri belirtmektedir. Bağlantı ağırlıkları ise $w_1, w_2 \ldots . w_d$ olarak gösterilmiştir, $y(x)$ çıktıyı ifade etmektedir. w_0 eşik değeridir ve her zaman 1 eşik değerini almakta olan x_0 girdisi belirtilmiştir (Bishop & Christopher, 1995).



Şekil 12. Algılayıcı modeli

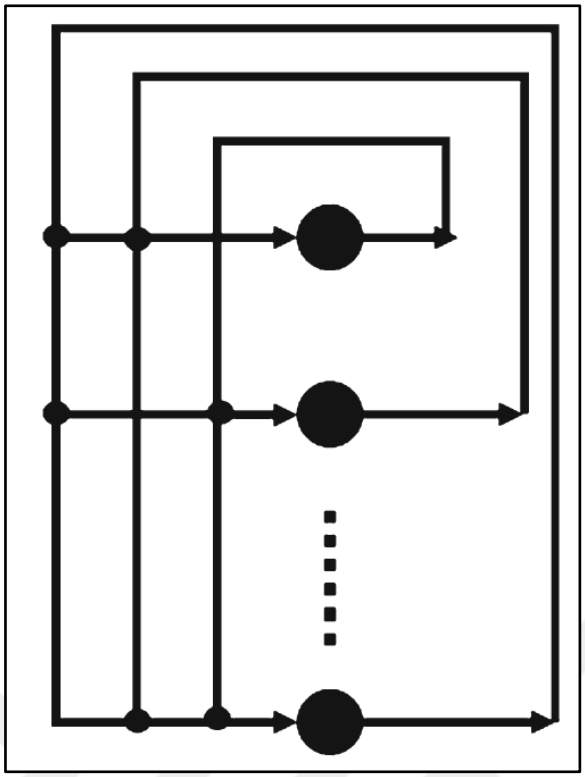
Kaynak: *(Bishop & Christopher, 1995)*

Algılayıcı modelinin doğrusal olmayan problemlere çözüm bulamamasından dolayı yapay sinir ağlarına olan güven azalmıştır ve bu alandaki çalışmaları yavaşlatmıştır. Bu problemin üstesinden gelmek için girdi katmanıyla çıktı katmanı arasına gizli katman adı verilen ek katmanlar yerleştirilerek çok katmanlı ileri beslemeli ağlar geliştirilmiştir (Basheer & Hajmeer, 2000).

Şekil 11 (b) 'de gösterildiği gibi çok katmanlı algılayıcı veya literatürde sık kullanılan adıyla multi layer perception (MLP) en çok kullanılan sinir ağıdır. Sürekli işlevlerin yaklaşıklarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bir geri yayılma algoritması genellikle MLP'nin eğitiminde kullanılır. Algoritmada, önce giriş ağ üzerinden yayılır ve çıkış hesaplanır. Ardından, hesaplanan çıktı ile maliyet fonksiyonu adı verilen doğru çıktı arasındaki hata, ağırlıkları ayarlamak için çıktıdan girdiye geriye doğru yayılır (Rumelhart & McClelland, 1986).

3.5.2. Hopfield Ağı

Hopfield ağı sadece tek bir katmanı olan bir geri bildirim sinir ağıdır. Örnek bir üç-düğüm Hopfield ağı Şekil 13'de gösterilmiştir. Hopfield ağında her düğüm, kendisi dışındaki tüm düğümlerle (tamamen bağlı) bağlantılıdır. Hopfield ağının durumu, bir girdi verildiğinde, "çeker durum" adı verilen bir denge durumuna yaklaşana kadar güncellenir. Herhangi bir giriş sonunda ağı çeker durumlardan birine yönlendirdiğinden, Hopfield ağı kısmen bozulmuş kalıpları almak için ilişkilendirilebilir bir bellek olarak kullanılabilir. Klasik gezgin satıcı problemi Hopfield ağı ile çözülebilir (Hopfield, 1982).

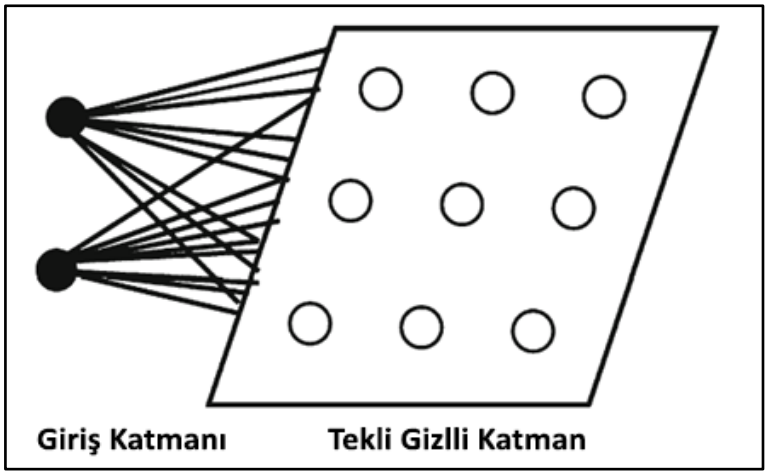


Şekil 13. Hopfield Ağı

Kaynak: *(Zou, Han, & So, 2009)*

3.5.3. Kohonen Haritaları

Kohonen haritası diğer bir geri bildirim ağıdır. Tek bir gizli katmanı vardır. Gizli katmandaki düğümler, Şekil 14'de gösterildiği gibi tipik olarak iki boyutlu dikdörtgen ızgaralar olarak düzenlenir. Gizli katmandaki her düğüm tüm giriş düğümlerine bağlanır. Kohonen haritası, kazanan-götüren öğrenme kuralıyla denetimsiz öğrenmeyi kullanır. Sadece en yüksek yanıtı olan düğüm ve komşu düğümleri ağırlıklarını günceller, böylece benzer giriş modellerine yanıt verme olasılıkları daha yüksektir. Kohonen haritaları, yüksek boyutlu verilerin iki boyutlu uzaya yansıtılması, verilerin kümelenmesi ve benzerleri için kullanılabilir (Kohonen, 1989).



Şekil 14. Kohonen Haritaları

Kaynak: *(Zou, Han, & So, 2009)*

BÖLÜM IV

YÖNTEM

Çalışmada YSA kullanılarak KPET verileri ile birlikte antropometrik ölçüm veriler ve 6 dakika yürüme testi verileri modellenmiştir. Bu modeller ile KPET yapmadan nispeten yapılması daha kolay olan antropometrik ölçüm ve 6 dakika yürüme testi verilerinden KPET parametrelerinden olan CHO ve Fat parametreleri tahmin edilmiştir. Bu doğru tahminlerle kolay temin edilebilecek ekipmanlar ile vücut yağ oranını azalttıracak egzersiz önerileri verilebilecektir.

Bu çalışmada evren olarak Adana'da yaşayan, egzersiz yapmasına engel olmayan, sigara kullanmayan ve tanısı konulmuş herhangi bir hastalığı bulunmayan 20 – 30 yaş arasında sedanter erkek bireyler seçilmiştir.

Katılımcılar, Heywerd ve arkadaşlarının yapmış olduğu aerobik metabolizma sınıflamasında D kategorisine girmesi durumunda sedanter olarak kabul edilmiştir (Heyward, 1998).

Tablo 5
Heyward'in yaş gruplarına göre $\dot{V}O_2maks$ değerlendirmesi. A+ üstün, A Çok iyi, B iyi, C orta, D zayıf olarak belirlenmiştir

Yaş	D	C	B	A	A+
20 - 29	≤ 41	42 - 45	46 - 50	51 - 55	56+
30 - 39	≤ 40	41 - 43	44 - 47	48 - 53	54+
40 - 49	≤ 37	38 - 41	42 - 45	46 - 52	53+
50 - 59	≤ 34	35 - 37	38 - 42	43 - 49	50+
60 - 69	≤ 30	31 - 34	35 - 38	39 - 45	46+
70 - 79	≤ 27	28 - 30	31 - 35	36 - 41	42+

Kaynak: (Heyward, 1998).

Veriler toplanırken katılımcılara 4 adet egzersiz testi uygulanmış ve bireylerin antropometrik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler maksimal kardiyopulmoner egzersiz

testi, en yüksek yağ oksidasyon hızı aralığı tespiti testi (yağmaks), 40 dk yürüme ve 6 dakika yürüme testi olmak üzere 4 farklı egzersiz testinden oluşmuştur. Testlerin her birey için maksimum 30 gün içerisinde tamamlanması planlanarak ölçümler yapılmıştır. Tüm testler öncesi cihazların kalibrasyonları yapılmıştır. Çalışma, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D, Spor Fizyolojisi Bilim Dalı'nda en az 1 hekim ve yardımcı akademik personel ile yapılmıştır. Katılımcıların test protokollerinde belirtilen açlık veya egzersiz yapmasına karşı bir engeli olması durumunda testler yapılmamıştır.

Bu çalışmaya katılan tüm katılımcılara (n=44) onam formu okutulmuş ve ayrıca sözel bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmaya katılmayı kabul eden katılımcılar kararlaştırılan gün ve saatte test protokolleri hakkında bilgilendirildikten sonra testlere başlanmıştır. Katılımcılar sedanter olduklarını ifade etmesine rağmen çalışmaya davet edilen bireylere birincil olarak maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi yapılmıştır. Bu test parametrelerinden biri olan maksimum oksijen alım ($\dot{V}O_2 maks$) değeri Tablo 5'de belirtilen D olarak gruplandırılan değerlerin altında bulunması halinde diğer testler yapılmak üzere bilgilendirme yapılmıştır.

4.1. Antropometrik Ölçümler

Tüm katılımcıların antropometrik ölçümleri 12 saatlik açlığı takiben sabah saatlerinde aynı kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Ölçümler egzersiz öncesi yapılmıştır. Vücut ağırlıkları 0.1kg'dan az değişiklik gösterecek hassasiyetle ve ayakkabısız olarak (Kurdaklar Baskül), boy uzunluğu ölçümü ise ayaklar sırt ile aynı hizada olacak şekilde dik dururken, Sports Expert (Professional Sport Technologies) stadiometre (Şekil 15) ile ölçülmüştür. Ölçümlerde üzerlerinde şort ve tişört bulunmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 15. Stadiometre

Uyluk, baldır ve ön kol çevre ölçümleri Şekil 16'da belirtilen elastik olmayan mezura ile yapılmıştır.



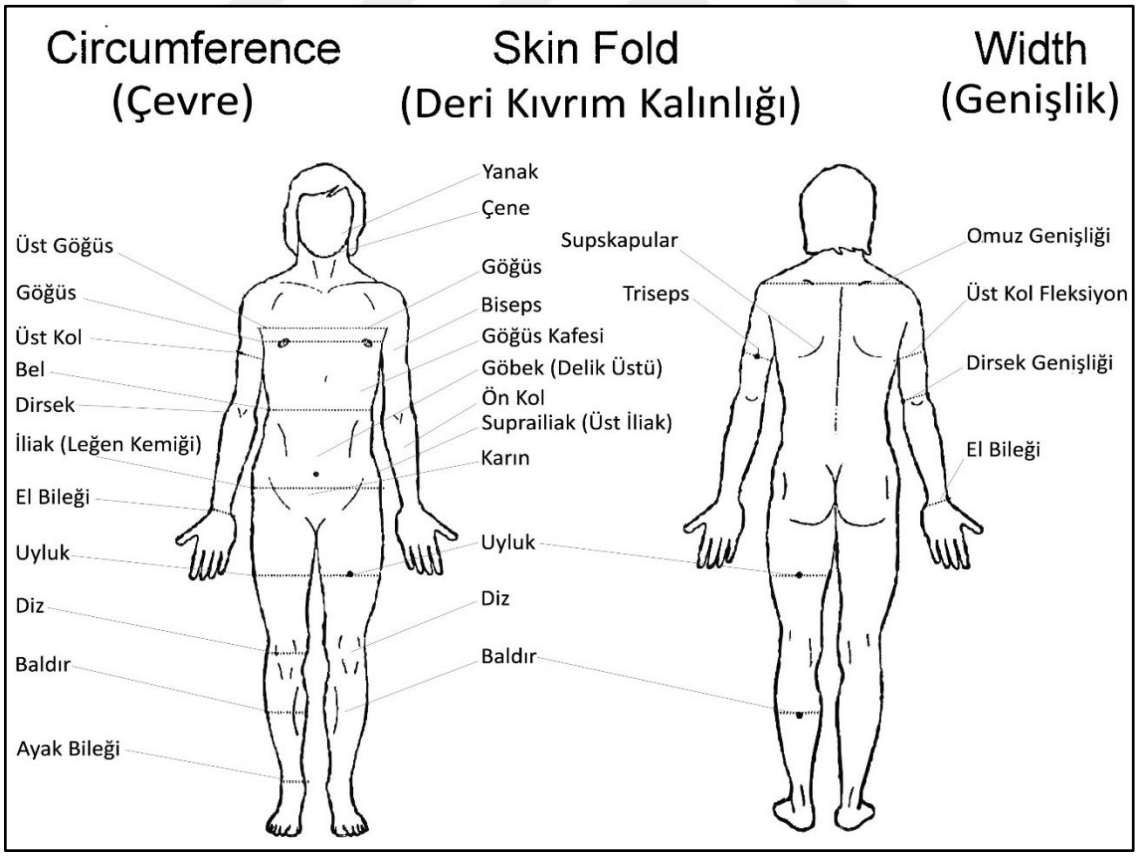
Şekil 16. Elastik olmayan mezura

Subskapular, triseps, biseps, önkol, abdominal, pektoral, suprailiak, uyluk ve baldır cilt kıvrım kalınlıkları ise Şekil 17'de belirtilen Holtain kaliper kullanılarak tespit edilmiştir. Ölçümler üç kere tekrar edilmiş ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 17. Holtain kaliper

Antropometrik ölçümler sırasında ölçülmüş parametrelerin yerleri Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Ölçülen antrepometrik ölçüm yerleri

Kaynak: *(Wang, Thornton, Kolesnik, & Pierson Jr., 2000)*

4.1.1. Antropometrik Ölçüm Parametreleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan antropometrik ölçüm parametrelerinin açıklaması ve hesaplama yöntemleri yer almaktadır.

Boy: Katılımcı ayaklar sırt ile aynı hizada olacak şekilde dik dururken, Sports Expert (Professional Sport Technologies) stadiometre ile ölçülmüştür.

Vücut Ağırlığı (VA): Katılımcı 0.1kg'dan az değişiklik gösterecek hassasiyetle ve ayakkabısız olarak (Kurdaklar Baskül) ile ölçülmüştür.

Beden Kitle İndeksi (BKİ): Denklem (4.1)'de belirtildiği gibi katılımcıların ölçülen vücut ağırlığının, (kg) boy uzunluğunun (m) karesine bölünmesi ile elde edilmiştir.

$$BK\dot{I} = Kilo/(Boy)^2 \qquad (4.1)$$

Subskapular skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda ayakta dururken, skapulanın inferiyor kıvrımının alt kısmından, skapula kemik uzantısına paralel olarak 45 derecelik açı ile deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Triseps skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, kolun m.triseps kasının orta kısmından dikey düzlemde deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Biseps skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, m.biseps kasının orta kısmından dikey düzlemde deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Önkol skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, ön kolun en geniş alanın medial kısmından deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Abdominal skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, umbilikus'un (göbek deliği) yaklaşık olarak 1cm inferiyor 3 cm lateral kısmına gelecek şekilde kaliper dikey pozisyonda yapılmıştır.

Pektoral skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, pektoralis major kasının omuz kısmından ayrıldığı en belirgin yerinin yaklaşık olarak 1 cm inferiyor kısmından deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Suprailiak skinfold: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, midaksiller eksende iliak krestin hemen üzerinde 45 derecelik açı ile deri katlantısı tutularak yapılmıştır.

Uyluk skinfold: Ölçüm, katılımcılar ayakta eller yana sarkıtılmış durumda iken, patella proksimal sınırı ile kasık arasındaki mesafenin tam orta noktasından deri kıvrımı tutulup yapılmıştır. Ölçüm sırasında vücut ağırlığının diğer bacağa aktarılması sağlanmıştır (Norton & Olds, 1996).

Baldır skinfold: Ölçüm, katılımcılar ayakta eller yana sarkıtılmış durumda iken, sağ baldırın en geniş bölgesinden medial kısmına gelecek şekilde kaliper yere paralel tutularak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında vücut ağırlığının diğer tarafa aktarılması ve diz ekleminin hafif fleksiyonda olmasına özen gösterilmiştir.

Biceps çevre: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda, m.biseps kasının tam orta noktasına denk gelecek şekilde yapılmıştır.

Biceps Flekssiyon Çevre: Ölçüm, katılımcılar omuz eklemi 90 derece abdüksiyon, dirsek eklemi ise fleksiyon pozisyonunda dururken m.biseps kasının tam kasmaları sağlanarak kasın en geniş yerinden alınmıştır.

Ön kol çevresi: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, önkol proksimale yakın yerin en geniş bölgesinden yapılmıştır.

Üstbacak çevre: Ölçüm, katılımcı anatomik pozisyonda dururken, glueteal bölgenin 1cm altından uyluğu dik yönde kesecek şekilde ölçüm yapılmıştır.

Uyluk Çevre: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, kalçanın hemen altından kasığa ise en yakın ve en geniş bölgesinden yapılmıştır.

Baldır çevre: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, m.gastro kinemius kasının en geniş bölgesinden yapılmıştır.

Omuz çapı: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, iki akromial çıkıntısı arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

Pelvis çapı: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, her iki iliak çıkıntının arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

Dirsek çapı: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, humerusun lateraldeki ve medialdeki çıkıntıları arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

El bileği çapı : Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, ulnanın medial radial stiloidin lateral çıkıntısı arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

Diz çapı: Ölçüm, katılımcıların ayakları yüksekçe bir yerden sarkıtılmış şekilde oturur pozisyona getirilerek, femoral kondilitin lateral ve medial çıkıntısı arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

Ayak bileği çapı: Ölçüm, katılımcılar anatomik pozisyonda dururken, ayak bileği bimalleolar çıkıntıları arasında yer alan mesafe ölçülerek yapılmıştır.

Vücut yüzde yağ (% Yağ): Denklem (4.2) % yağ parametresinin hesabını belirtmektedir (Jackson & Pollock, 2007).

$S: Skinfold$

$$\left[\left(\frac{130\times(Biceps\,S.+Ön\,Kol\,S.+Uyluk\,S.+Baldır\,S.+Pektoral S.+Abdominal\,S.)}{12}\times \frac{71{,}84\times(Kilo\times 0.425)\times(Boy\times 100)\times 0.725}{\frac{10000}{Kilo}}\right)+(1{,}10938-(0{,}0008267\times (Abdominal\,S.+Pektoral\,S.+Uyluk\,S.))+(0{,}0000016\times (Abdominal\,S.+Pektoral\,S.+Uyluk\,S.)^2)-(0{,}0002574\times Yaş))\right]/2 \qquad (4.2)$$

Kas Kütlesi (Martin): Denklem (4.3) kas kütlesi (Martin) parametresinin hesabını belirtmektedir (Martin, Spenst, Drinkwater, & Clarys, 1990).

$$[\text{Boy}\times 100\times(0{,}0553\times\left(\text{Uyluk Çevre}-\frac{\text{Uyluk Skinfold}}{10}\right)^2+0{,}0987\times \text{Ön Kol Çevresi}^2-0{,}0331\times\left(\text{Baldır Çevre}-\frac{\text{Baldır Skinfold}}{10}\right)^2-2445]/1000 \qquad (4.3)$$

Kas Kütlesi (Matiegka): Denklem (4.4) kas kütlesi (Matiegka) parametresinin hesabını belirtmektedir (Jackson & Pollock, 2007).

$Ç: Çevre, S: Skinfold$

$$0{,}65\times Boy\times 100\times[Biceps\ Ç.+Ön\,Kol\ Ç.+Uyluk\ Ç.+Baldır\ Ç./251{,}2-Biceps\,S.+Ön\,Kol\,S.+Suprailiak\,S.+Uyluk\,S./800]^2 \qquad (4.4)$$

Kemik Kütlesi (Matiegka): Denklem (4.5) Kemik kütlesi (Matiegka) parametresinin hesabını belirtmektedir (Jackson & Pollock, 2007).

$$(Dirsek\ Çapı + El\ Bileği + Diz\ Çapı + Ayak\ Bileği\ Çapı)^2 \times Boy \times 1{,}2/10 \quad (4.5)$$

%Kas: Denklem (4.4) % Kas parametresinin hesabını belirtmektedir (Jackson & Pollock, 2007).

$$[((Kas\ Kütlesi(Martin) + Kas\ Kütlesi\ (Matiegka))/2]/Kilo \times 100 \quad (4.5)$$

% Kemik: Denklem (4.6) % Kemik parametresinin hesabını belirtmektedir (Jackson & Pollock, 2007).

Ç: $Çap$

$$\frac{[(\text{Dirsek Ç.+El Bileği Ç.+Diz Ç.+Ayak Bileği Ç.})^2 \times \text{Boy} \times 1{,}2/10]}{\text{Kilo} \times 100} \quad (4.6)$$

Ektomorf: Denklem (4.7) Ektomorf parametresinin hesabını belirtmektedir (Carter J. E., 2002).

$$\left(Vücut\ Ağırlığı \times \frac{100}{Boy^3}\right) \times 0{,}732 - 28{,}58 \quad (4.7)$$

Endomorf: Denklem (4.8) Endomorf parametresinin hesabını belirtmektedir (Carter J. E., 2002).

$$a = (Suprailiak\ Skinfold + Triseps\ Skinfold + Supskapular\ Skinfold)$$

$$0{,}7182 + 0{,}1451 \times \left(a \times \frac{170{,}18}{Boy} \times 100\right) - 0{,}00068 \times (a \times \frac{170{,}17}{Boy} \times 100)^2 \quad (4.8)$$

Mezomorf: Denklem (4.9) Mezomorf parametresinin hesabını belirtmektedir (Carter J. E., 2002)

$$0{,}858 \times Dirsek\ Çapı + 0{,}601 \times Diz\ Çapı + 0{,}188 \times \left(Biceps\ Çevre - Triseps\frac{Skinfold}{10}\right) + 0{,}161 \times \left(Baldır\ Çevre - Baldır\frac{Skinfold}{10}\right) - (Boy \times 100) \times 0{,}131 + 4{,}5 \quad (4.9)$$

4.2. Egzersiz Protokolleri ve İndirekt Kalorimetri

En az 24 saat arayla gerçekleştirilen testlerde, katılımcılardan yüzlerine takılan bir maske aracılığıyla nefes alıp vermeleri istenmiştir. İndirek kalorimetre tayini için ve her solukta, soluk hacmi ile O_2 ve CO_2 gazlarının fraksiyonlarını ölçen cihaz (PFT Cosmed) kullanılmıştır. Sistemin gaz ve volüme kalibrasyonları, %16 O_2 ve %5 CO_2 içeren kalibrasyon gazları ve kalibrasyon şırıngası (3 L'lik) ile gerçekleştirilmiştir. Kalp atım hızları tüm testler boyunca telemetrik nabız ölçer sistem (Cosmed) tarafından kaydedilmiştir. Metabolizmada kullanılan substratların oksidasyon hızı sitokiometrik denklik (Frayn, 1983) ile hesaplanmıştır. Yapılan KPET'lerde ölçülen parametreler Talbo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6
Yapılacak KPET'lerdeki ölçülecek parametreler

Değişken	Tanım	Birim	Değişken	Tanım	Birim
Q_t	Zaman	Saniye			
R_f	Solunum Frekansı, dakidaki soluk sayısı	1/dk	$Grade$	Eğim	%
$\dot{V}T$	Bir nefeste alınan hava miktarı	L	$Speed$	Hız	Km/Saat
$\dot{V}E$	Dakikadaki solunan hava	L/dk	$Phase$	Test protokolü 4 fazda yazılabilir. Dinlenme, ısınma, egzersiz, toparlama	---
IV	Nefes almadaki hacim	mL	$Marker$	Koşuya başlanılan İşaretlenme noktaları	---
$\dot{V}O_2$	Dakikada alınan oksijenin hacmi	mL/dk	$Amb\ Temp$	Ortam sıcaklığı	°C
$\dot{V}CO_2$	Dakikada alınan karbondioksit hacmi	mL/dk	PB	Ortam basıncı	mmHg
RQ	Karbondioksit/oksijen oranı	---	EE_{Kc}	O anki değere göre günde harcadığı kalori	kkal/gün
O_{2exp}	Çıkarılan havadaki Oksijen miktarı	mL	EE_h	O anki değere göre saatte harcadığı kalori	kkal/Saat
CO_{2exp}	Çıkarılan havadaki Karbondioksit miktarı	mL	EE_m	O anki değere göre dakikada harcadığı kalori	kkal/dk
$\dot{V}E/\dot{V}O_2$	Alınan havanın alınan oksijene oranı	---	EE_{tot}		kkal
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$	Alınan havanın alınan karbondioksite oranı	---	EE_{Kg}	O anki değere göre günde harcadığı kalori miktarının kilogram başına normalleştirilmiş değeri	kkal/Kg/gün
$\dot{V}O_2/Kg$	Alınan oksijenin kilogram başına normalleştirilmiş değeri	mL/dk/Kg	PRO	Anlık harcanılan protein miktarı	kkal/gün
$METS$	Metobolizma hızı, o anki kullanılan oksijen/dinlenme sırasında yakılan oksijen oranı	---	FAT	Anlık harcanılan yağ miktarı	kcal/gün
HR	Kalp atım sayısı	Atım Sayısı/dk	CHO	Anlık harcanılan karbonhidrat miktarı	kcal/gün

$\dot{V}O_2/_{HR}$	Alınan oksijenin / kalp kasılma oranına bölümü	mL/Atım
FeO_2	Verilen solunum havasındaki çıkan oksijen miktarı yüzdesi	%
$FeCO_2$	Verilen solunum havasındaki çıkan karbondioksit miktarı yüzdesi	%
$FetO_2$	Nefesin son anındaki çıkan oksijen miktarı yüzdesi (Entidal miktar)	%
$FeCO_2$	Nefesin son anındaki çıkan karbondioksit miktarı yüzdesi (Entidal miktar)	%
FiO_2	Nefes aldığımız havadaki vücudun içinde kalan oksijen miktarı yüzdesi	%
$FiCO_2$	Nefes aldığımız havadaki vücudun içinde kalan karbondioksit miktarı yüzdesi	%
PeO_2	Vücuddan çıkan oksijenin parsiyel basıncı	mmHg
$PeCO_2$	Vücuddan çıkan karbondioksitin parsiyel basıncı	mmHg
$PetO_2$	Vücuddan çıkan havanın son anındaki oksijenin parsiyel basıncı	mmHg
$PetCO_2$	Vücuddan çıkan havanın son anındaki karbondioksitin parsiyel basıncı	mmHg

$PRO\%$	O anki harcanan proteinin miktarının yüzde olarak değeri	%
$FAT\%$	O anki harcanan yağların miktarının yüzde olarak değeri	%
$CHO\%$	O anki harcanan karbonhidratların miktarının yüzde olarak değeri	%
$npRQ$	Protein olmadan RQ değeri	---
T_i	O anki nefes alma süresi	Saniye
T_e	O anki nefes verme süresi	Saniye
T_{tot}	O anki nefes alma verme toplam süresi	Saniye
$T_i/_{T_{tot}}$	O anki nefes alma / toplam nefes alma süresi	---
$\dot{V}D/\dot{V}T_e$	Alveollere ulaşmayan oksijen miktarı	---

4.3. Maksimal Kardiyopulmoner Egzersiz Testi

Testi yapılacak olan katılımcılar en az 2 saat açlıkla teste alınmıştır. Katılımcıların test öncesi metabolizma hızlarını etkileyebilecek olan çay, kahve gibi içecekleri tüketmemeleri sağlanmıştır.

Katılımcının yağ yakımını etkileyebilecek herhangi akut veya kronik bir rahatsızlığı bulunması dışlanma kriteri olarak kabul edilmiştir. Teste başlanmadan önce katılımcının kalp atım sayısının takibi ve kaydedilmesi için göğüs bandı (Garmin Heart Rate Monitor (Garmin Forerunner 305) takılmıştır. Test, koşu bandı üzerinde (HP Cosmos) ve indirekt kalorimetri (Cosmed Quark CPET) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test süresince katılımcıların yüzüne maske yerleştirilmiştir ve bu

maske aracılığıyla kullanılan O_2 ile ekspire edilen CO_2 miktarları tespit edilmiştir. Test boyunca nabız ile yürüme hızı verileri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir.

Test 0^0 eğim ve 4km/saat hız ile başlatılmıştır. Koşu bandının hızı her 1 dakikada 0.5 km/saat artırılmıştır. Kalp atım sayısının beklenen en yüksek kalp atım sayısı değerinin (220-yaş) % 90'ına ulaşması, oksijen alım değerinin plato göstermesi, non-protein RQ (npRQ) değerinin 1,15'in üzerine çıkması veya katılımcının artık devam edemeyeceğini sözel olarak bildirmesi testi bitirme kriteri olarak kabul edilmiştir. Sedanter olduğunu beyan eden katılımcılar için pik oksijen alım değerinin değerinin 40 ml/kg/dk'nın üzerinde olması dışlanma kriteri olarak kabul edilmiştir. Maksimal oksijen alımı bu değerin altında olan katılımcılar sedanter olarak kabul edilerek bir sonraki çalışma aşamasına kabul edilmiştir. (American Thoracic S, 2003).

4.4. Yağmaks Testi

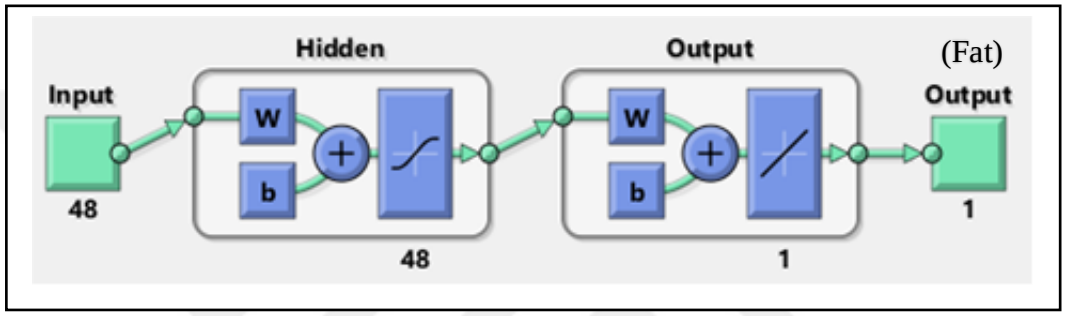
En yüksek yağ yakım noktasının tespiti amacıyla yapılan Yağmaks testi, tüm katılımcılara 12 saatlik gece açlığını takiben sabah saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Test, maksimal kardiyopulmoner egzersiz testinde kullanılan aynı düzenek ile yapılmıştır. Katılımcı ilk dakika süresince koşu bandı üzerinde hareketsiz olarak teste başlatılmıştır, takip eden 2 dakika boyunca 3km/saat hızda adaptasyon sağlanmıştır. Takiben yürüyüş hızı 4km/saate çıkartılmış ve her 6 dakikada bir koşu bandının hızı 1km/saat arttırılmıştır. Non-protein RQ değerinin 1,01'e ulaşması ve bu değer aracılığıyla hesaplanan (Frayn formülü) yağ oksidasyon hızının sıfıra indiği an veya katılımcının artık devam edemeyeceğini sözel olarak bildirmesi testi bitirme kriteri olarak kabul edilmiştir (Frayn, 1983, ATS, 2003)

Protein oksidasyonu ihmal edilerek kullanılan formül denklem (4.10)'da belirtilmiştir;

$$Yağ\ Oksidasyon\ Hızı\ \left({}^{gr}/_{dk}\right) = \frac{{}^{[(1{,}67\times\dot{V}O_2)-(1{,}67\times\dot{V}CO_2)]}/_{1000}}{60} \qquad (4.10)$$

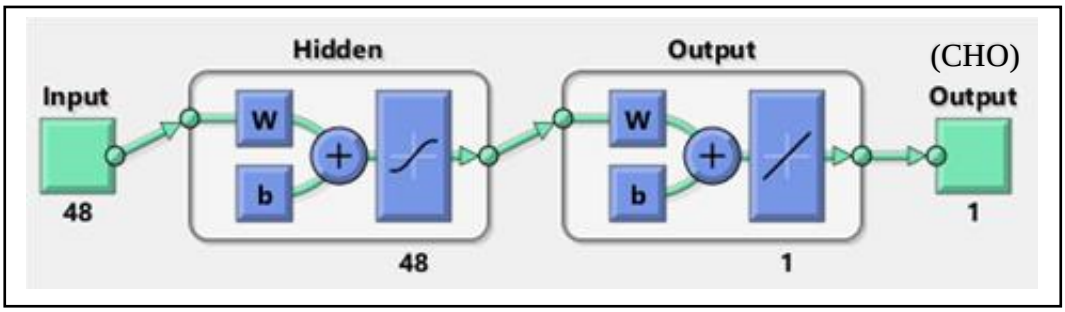
Uygun YSA modelinin belirlenebilmesi için model parametreleri birçok kez değiştirilmiş ve en düşük hata değeri ile tahmini gerçekleştiren model belirlenmiştir. Kullanım kolaylığı, yakınsama hızı ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerdeki tahmin başarısı sebebiyle ileri beslemeli geri yayılım (feed-forward backrop) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla

traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation) eğitim algoritması doğrusal olmayan dinamik bir davranış gerektiren durumlarda seçildiğinden kullanılmıştır. Gizli katmanda en verimli şekilde kaç tane nöronun bulunacağı konusunda herhangi bir matematiksel test bulunmamakta olduğundan sezgisel olarak karar verilmiş ve en iyi performansı veren nöron sayıları kullanılmıştır. Öğrenme fonksiyonu olarak learngdm fonksiyonu kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) girdilerin sürekli bir fonksiyon olması gerektiğinden kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar kullanılarak YSA modelleri tasarlanmıştır. Performans fonksiyonu olarak da ortalama karesel hata (mean square error-MSE) kullanılmıştır.



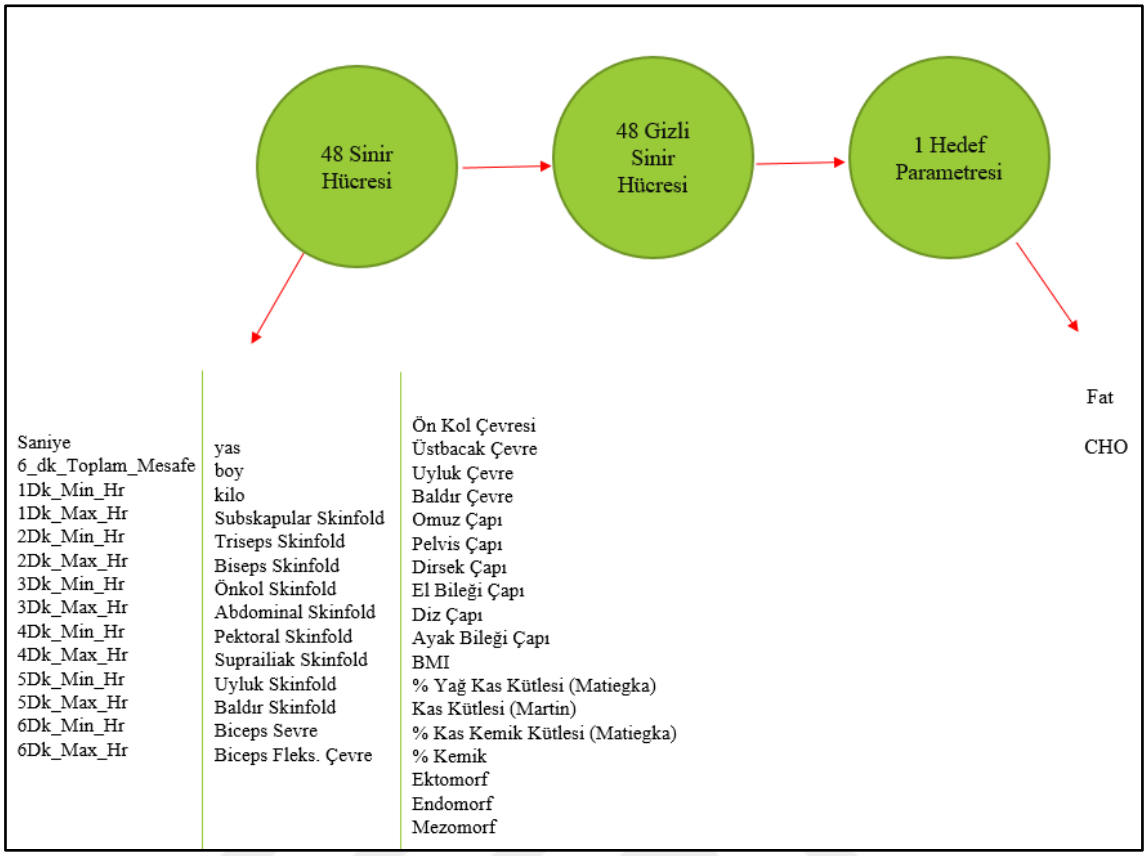
Şekil 19. 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli Yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir.

Oluşturulan modelde 44 sedanter bireye ait yağmaks testi verilerine ait 48 parametresi giriş verisi, Fat parametresi değeri ise çıktı verisi olarak seçilmiş olup gizli katmandaki nöron sayısı da 48 olarak belirlenmiştir (Şekil 19 ve Şekil 21).



Şekil 20. 48 giriş - 1 çıkış (CHO) parametreli yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir.

Şekil 20 ve Şekil 21'da CHO parametresi değeri ise çıktı verisi olarak seçilmiş olup gizli katmandaki nöron sayısı da 48 olarak belirlenmiştir.



Şekil 21. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) veya (CHO) parametreli Yağmaks testime ait YSA modeli. Bu model aynı zamanda 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) veya (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testime ait YSA modeli yapısını da temsil etmektedir.

Çalışmada uygulanan gizli katman sayısı, bu katmanlardaki nöron sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma ile bulunmuştur. Oluşturulan YSA modeli eğitiminde durma kriteri olarak "1000" iterasyon, "0" hata 1e-5 gradient değeri ve "1000" doğrulama (validation) hata sayısı kullanılmıştır. Eğitim maksimum 1000 iterasyon ile sınırlandırılmıştır. Dividerand fonksiyonu ise verinin %70'i ağın eğitimi için, %15'i onaylama için, %15'i ise ağı test etmek için kullanılmıştır.

4.5. 40 dk Yürüme Testi

Katılımcılar yağmaks testi sonucunda hesaplanan en yüksek yağ oksidasyonunun gerçekleştiği yürüme hızına karşılık gelen nabız aralığında 40 dk yürütülmüştür. Aynı test düzeneği kullanılarak yapılmış olan bu test, 12 saatlik gece açlığını takiben gerçekleştirilmiştir. Katılımcı, testin başlangıcında koşu bandı üstünde 0^0 eğimde 1 dakika ayakta bekletilmiştir. Devamında koşu bandı 3 km/saat hız ile hareket ettirilmiş, 2 dakika boyunca bireyin ısınması sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda hedef hıza çıkartılan katılımcı, en yüksek yağ yakımının gerçekleştiği nabız aralığında 40 dakika

boyunca yürütülmüştür. Bu süreç boyunca kalp atım sayısı, $\dot{V}O_2$ ve $\dot{V}CO_2$ değerleri anlık olarak kaydedilmiştir. Bu verilerle yağ oksidasyon hızı hesaplanmıştır. Katılımcının teste devam edemeyeceğini belirtmesi bitirme kriteri olarak kabul edilmiştir. Testin toplamda 43 dakika sürmesi hedeflenmiştir. Bu testte beklenen yağ yakım değerinden sapmalar belirlenmiştir.

Uygun YSA modelinin belirlenebilmesi için model parametreleri birçok kez değiştirilmiş ve en düşük hata değeri ile tahmini gerçekleştiren model belirlenmiştir. Kullanım kolaylığı, yakınsama hızı ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerdeki tahmin başarısı sebebiyle ileri beslemeli geri yayılım (feed-forward backrop) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation) eğitim algoritması, learngdm öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) kullanılarak YSA modeli tasarlanmıştır. Performans fonksiyonu olarak da ortalama karesel hata (mean square error-MSE) kullanılmıştır.

Oluşturulan modelde 44 sedanter bireye ait yağmaks testi verilerine ait 48 parametre değeri giriş verisi, Fat parametresi değeri ise çıktı verisi olarak seçilmiş olup gizli katmandaki nöron sayısı da 48 olarak belirlenmiştir (Şekil 19 ve Şekil 21).

Şekil 20 ve Şekil 21'de CHO parametresi değeri ise çıktı verisi olarak seçilmiş olup gizli katmandaki nöron sayısı da 48 olarak belirlenmiştir. Tüm modellerde gizli katman sayısı giriş parametresi sayısının karekök değerine en yakın tamsayı değeri ile giriş parametre sayısının iki katı arasında denenmiştir. Bu denemeler sonucunda bulunan tahmin değerleri, gerçek değerlerle karsılaştırılarak değişik mimarilere sahip yapay sinir ağı modellerinin tahmin başarıları değerlendirilmiştir.

Çalışmada uygulanan gizli katman sayısı, bu katmanlardaki nöron sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma ile bulunmuştur. Oluşturulan YSA modeli eğitiminde durma kriteri olarak "1000" iterasyon, "0" hata 1e-5 gradient değeri ve "1000" doğrulama (validation) hata sayısı kullanılmıştır. Dividerand fonksiyonu ise Verinin %70'i ağın eğitimi için, %15'i onaylama için %15'i ise ağı test etmek için kullanılmıştır.

4.6. Altı (6) Dakika Yürüme Testi ve Test Parametreleri

Katılımcılar düz bir zemin üzerinde aralarında 30 metre mesafe olacak şekilde konulan 2 koni arasında kendi yürüme hızlarına göre yürütülmüştür. Bu esnada kalp hızı yürüme mesafesi ve hızlarını ölçmek için kalibrasyonu yapılmış göğüs bandı ve GPS destekli çalışan bir saat (Garmin Forerunner 305) takılmıştır. Teste katılacak kişiye test başladığı andan itibaren kendi yürüme hızında yürüyebileceği maksimum mesafeyi yürümesi istenmiştir. 6 dakika dolduğu anda olduğu yerde durması istenip kaçıncı turda olduğu bilinen kişinin elastik olmayan bir mezura ile koni arasındaki mesafe ölçülerek toplam yürüdüğü mesafe kaydedilmiştir. Test sırasında her dakika için ortalama kalp atım sayısı, yürüme hızı ve toplam mesafe verileri kaydedilmiştir.

Çalışmada kullanılan 6 dakika yürüme testine ait parametre açıklamaları aşağıdaki gibidir.

6DkT_Mesafe: Kişinin test sırasında yürüyebileceği toplam mesafenin metre cinsinden karşılığı

1Dk_Min_HR: Testin ilk 1 dakikası sırasında katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

1Dk_Max_HR: Testin ilk 1 dakikası sırasında katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

2Dk_Min_HR: Testin 1. dakikası ile 2. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

2Dk_Max_HR: Testin 1. dakikası ile 2. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

3Dk_Min_HR: Testin 2. dakikası ile 3. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

3Dk_Max_HR: Testin 2. dakikası ile 3. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

4Dk_Min_HR: Testin 3. dakikası ile 4. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

4Dk_Max_HR: Testin 3. dakikası ile 4. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

5Dk_Min_HR: Testin 4. dakikası ile 5. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

5Dk_Max_HR: Testin 4. dakikası ile 5. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

6Dk_Min_HR: Testin 5. dakikası ile 6. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının minimum miktarı

6Dk_Max_HR: Testin 5. dakikası ile 6. dakikası arasındaki katılımcının dakikadaki kalp atım sayısının maksimum miktarı

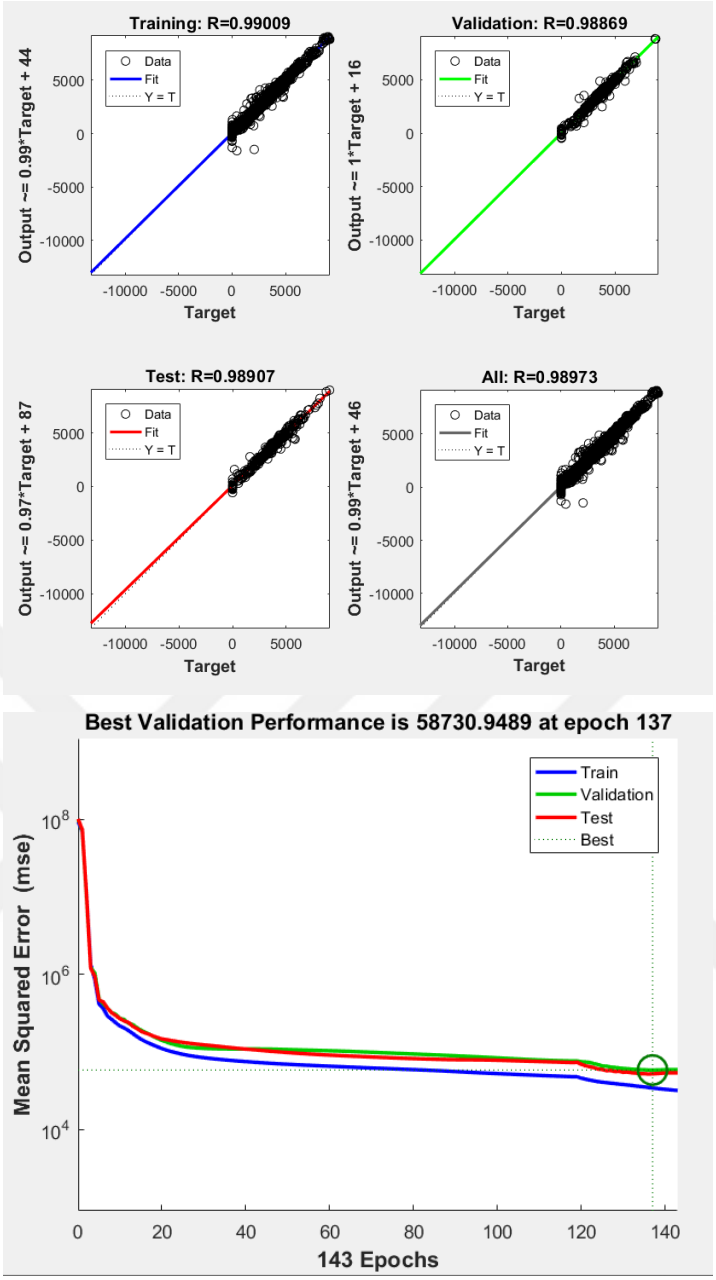
BÖLÜM V

BULGULAR VE YORUMLAR

Bu çalışmada, Tablo 4'teki D kategorisine giren 44 kişinin 6 dakika yürüme testi, antropometrik ölçüm ve KPET verileri kullanılmış olup YSA modelleri oluşturulmuştur. Yapılan YSA modelleri ile KPET sonuç verilerinden olan CHO ve Fat (kkal/day) parametrelerine ait tahmin sonuçlarına ilişkin eğitim, doğrulama ve test bulguları ifade edilmektedir.

5.1. Yağmaks Testi modeli

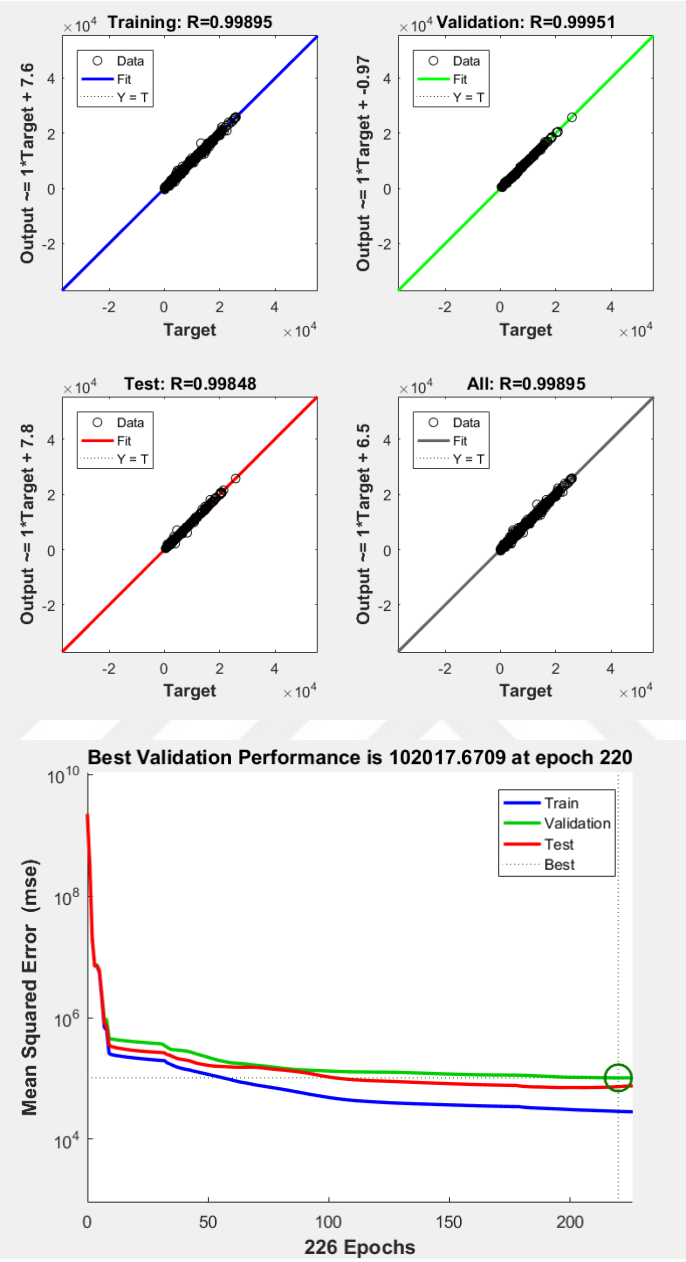
48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modeli 145 iterasyonda, 48 giriş parametreli - 1 çıkış (CHO) parametreli Yağmaks testi YSA modeli 131 iterasyonda tamamlanmıştır. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modeline ait eğitim, doğrulama ve test verilerine ait eğitim aşamasındaki performans fonksiyonunun değişimleri modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon doğruları ise Şekil 22'de verilmiştir. Buradaki sonuçlara en yakın şekilde çizilecek olan doğru bizim regresyon doğrumuzdur. Bu doğru x=y doğrusuna ne kadar yakınsa o kadar başarılı bir eğitim olduğunu anlayabiliriz. Her bir grafiğin üstünde görülen değerin 100 ile çarpımı o işlemin başarı yüzdesini bize verecektir. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modelinde eğitim R değeri 0,99009, doğrulama R değeri 0,98869 ve test R değeri 0,98907 olmuştur. Bu değerler, modelin gerçek değerler ile tahmin ettiği değerler arasındaki benzerliğin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 22 MSE ve iterasyon sayıları verilmiş olan bu grafikte performans ölçütü olarak MSE kullanılmış olup 137×10^5'lik değerle en küçük MSE'ye sahiptir.



Şekil 22. 48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri

48 giriş - 1 çıkış (CHO) parametreli Yağmaks testi YSA modeline ait eğitim, doğrulama ve test verilerine ait eğitim aşamasındaki performans fonksiyonunun değişimleri modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon doğruları ise Şekil 23'de verilmiştir. 48 giriş - 1 çıkış (CHO) parametreli Yağmaks testi YSA modelinde eğitim R değeri 0,99895, doğrulama R değeri 0,99951 ve test R değeri 0,99848 olmuştur. Bu değerler, modelin gerçek değerler ile tahmin ettiği değerler arasındaki benzerliğin çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 23 MSE ve iterasyon sayıları verilmiş olan bu grafikte performans ölçütü olarak MSE kullanılmış olup 220×10^5'lik değerle en küçük MSE'ye sahiptir.

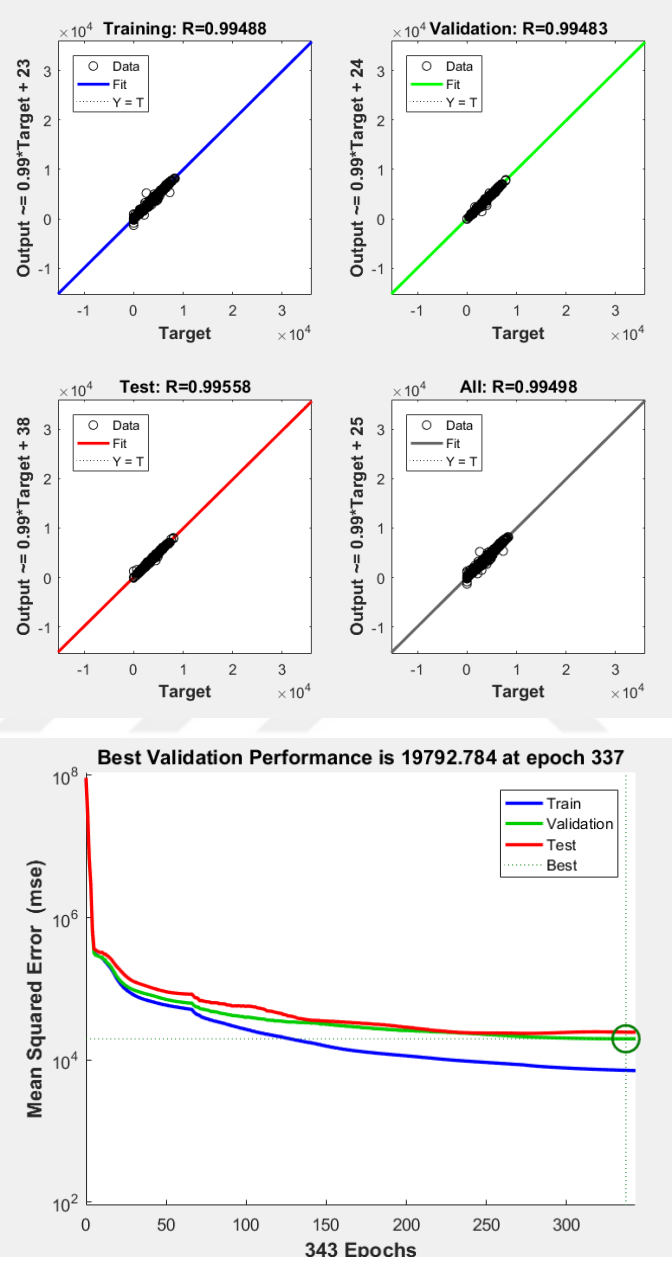


Şekil 23. 48 Giriş Parametreli - 1 Çıkış (CHO) Parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri

5.2. 40 dk Yürüme Testi modeli

48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modeli 145 iterasyonda, 48 giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testi YSA modeli 131 iterasyonda tamamlanmıştır. 48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modeline ait eğitim, doğrulama ve test verilerine ait eğitim aşamasındaki

performans fonksiyonunun değişimleri modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon doğruları ise Şekil 24'de verilmiştir.

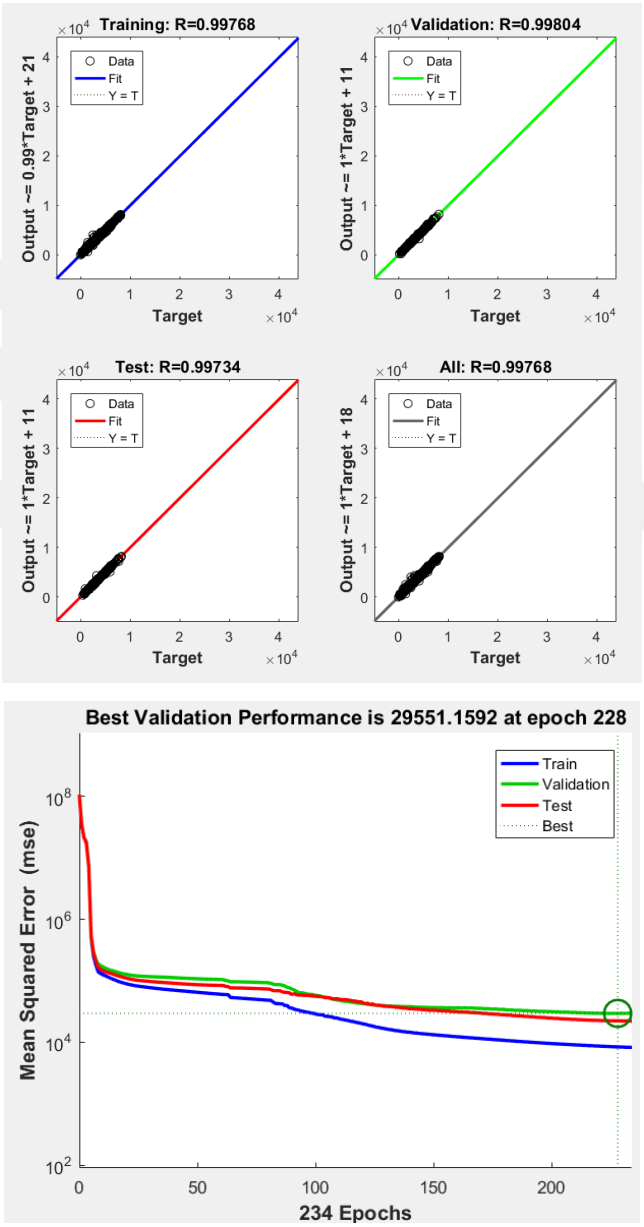


Şekil 24. *48 giriş Parametreli - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk Yürüme testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri*

48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modelinde eğitim R değeri 0,99488, doğrulama R değeri 0,99483 ve test R değeri 0,99558 olmuştur. Bu değerler, modelin gerçek değerler ile tahmin ettiği değerler arasındaki benzerliğin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 24 MSE ve iterasyon sayıları verilmiş olan bu

grafikte performans ölçütü olarak MSE kullanılmış olup 337×10^5 'lik değerle en küçük MSE'ye sahiptir.

48 Giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk Yürüme testi YSA modeline ait eğitim, doğrulama ve test verilerine ait eğitim aşamasındaki performans fonksiyonunun değişimleri modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon doğruları ise Şekil 25'de verilmiştir.



Şekil 25. *48 Giriş Parametreli - 1 Çıkış (CHO) Parametreli Yağmaks testi YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test verilerinin sonuçlarına ait regresyon eğrileri ile MSE değerleri*

48 Giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modelinde eğitim R değeri 0,99768, doğrulama R değeri 0,99804 ve test R değeri 0,99734 olmuştur. Bu değerler, modelin gerçek değerler ile tahmin ettiği değerler arasındaki benzerliğin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 25 MSE ve iterasyon sayıları verilmiş olan bu grafikte performans ölçütü olarak MSE kullanılmış olup 228×10^5 'lik değerle en küçük MSE'ye sahiptir.

Her parametre ölçümü belirli bir zaman ve iş yükü gerektiği için yüksek tahmin değerlerinde en az parametre sayısı önem kazanmaktadır. Giriş parametrelerinin sayısını azaltmak ve yüksek tahmin değerlerini düşürmeden uygun parametrelerin seçilmesi amacıyla yapılan istatistik çalışmasında model seçimlerine ait tüm olası regresyon denklemleri, çalışılan parametrelerin tamamı denklemde tutularak adımsal regresyon yöntemlerinden olan geriye doğru (backward) çıkarma işlemi yöntemiyle elde edilmiştir.

Adımsal regresyon yöntemlerinden olan geriye doğru (backward) çıkarma işlemi; K sayıdaki bağımsız değişkenleri içeren bir modelle başlar. Daha sonra her bir bağımsız değişken için sanki modele eklenecek son değişkenmiş gibi kısmi F istatistikleri ya da eşdeğer biçimde olacak şekilde t istatistikleri hesaplanır. Bu kısmi F ya da t istatistiklerinin en küçüğü daha önceden seçilen bir F_{out} ya da t_{out} değeriyle karşılaştırılır ve eğer en küçük kısmi F ya da t istatistiği değeri F_{out} ya da t_{out} değerinden küçükse o bağımsız değişken modelden çıkarılır. K-1 bağımsız değişkenli bir model oluşur; bu yeni model için kısmı F ya da t istatistikleri hesaplanır ve işlem tekrar edilir. Geriye doğru çıkarma algoritması, en küçük kısmi F ya da t değeri önceden seçilmiş F_{out} ya da t_{out} eşik değerinden küçük olmadığında sonlanır (Montgomery, Peck, & Vining, 2001).

Geriye doğru çıkarma, genellikle iyi bir değişken seçimi yöntemidir. Özellikle bütün aday bağımsız değişkenleri modele dâhil etmenin etkilerini görmeyi ve böylece gözden bir şey kaçırmak istemeyen araştırmacılar tarafından tercih edilir (Montgomery, Peck, & Vining, 2001).

Tablo 7'de gösterilen Yağmaks testi fat tahmininde adımsal regresyon sonuçlarına göre önerilen parametre modellerini göstermektedir.

Tablo 7
Yağmaks testi fat tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri

Bağımlı Değişken	**Bağımsız Değişkenler**		
Fat	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	Vücud Ağırlığı (VA) Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Önkol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk Skinfold Baldır Skinfold Biceps Sevre Biceps Fleks. Çevre Ön Kol Çevresi Üstbacak Çevre Uyluk Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Yüzde Yağ Kas Kütlesi Matiegka Kas Kütlesi Martin Yüzde Kemik Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kas Ektomorf Endomorf Mezomorf
Model Adı	**Değişkenler**		
Model 1	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 2	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr	Yaş Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 3	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 4	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 5	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr	6_dk_Max_Hr Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi	Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 6	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 3_dk_Max_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr	6_dk_Max_Hr Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi	Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 7	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi	Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 8	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr	6_dk_Max_Hr Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi	Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 9	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 4_dk_Min_Hr 4_dk_Max_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 10	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_dk_Min_Hr 4_dk_Min_Hr 5_dk_Max_Hr 6_dk_Min_Hr 6_dk_Max_Hr Yaş	VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Kullanılan parametreler ile oluşturulan Yağmaks testi fat tahmininde kullanılan YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama R performans değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8
Fatmaks testi fat tahminindeki parametre seçimi için Tablo 7'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performans değerleri

Model Adı	İterasyon Sayısı	Eğitim Verisi R Performansı	Test Verisi R Performansı	Doğrulama Verisi R Performansı	Genel R Performansı
Model 1	6	0,98007	0,98124	0,98308	0,98068
Model 2	6	0,99336	0,99403	0,99427	0,99361
Model 3	26	0,99464	0,99103	0,98596	0,99251
Model 4	6	0,99188	0,9894	0,98821	0,99091
Model 5	6	0,99011	0,98845	0,98848	0,98961
Model 6	6	0,99298	0,98942	0,99132	0,99213
Model 7	6	0,99374	0,99423	0,99277	0,99365
Model 8	6	0,99259	0,99392	0,99276	0,99284
Model 9	6	0,99245	0,99442	0,99308	0,99286
Model 10	6	0,99324	0,99352	0,99104	0,9928

Tablo 9'de gösterilen Yağmaks testi CHO tahmininde adımsal regresyon sonuçlarına göre önerilen parametre modellerini göstermektedir. Bu modeller ile yeniden YSA'lar tasarlanmış ve modellerin eğitim, doğrulama ve test performansları Tablo 10'da gösterilmiştir

Tablo 9
Yağmaks testi CHO tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler		
CHO	Saniye	VA	Omuz Çapı
	6_Dk_Toplam_Mesafe	Subskapular Skinfold	Pelvis Çapı
	1_Dk_Min_Hr	Triseps Skinfold	Dirsek Çapı
	1_Dk_Max_Hr	Biseps Skinfold	El Bileği Çapı
	2_Dk_Min_Hr	Önkol Skinfold	Diz Çapı
	2_Dk_Max_Hr	Abdominal Skinfold	Ayak Bileği Çapı
	3_Dk_Min_Hr	Pektoral Skinfold	BMI
	3_Dk_Max_Hr	Suprailiak Skinfold	Yüzde Yağ
	4_Dk_Min_Hr	Uyluk Skinfold	Kas Kütlesi Matiegka
	4_Dk_Max_Hr	Baldır Skinfold	Kas Kütlesi Martin
	5_Dk_Min_Hr	Biceps Sevre	Yüzde Kemik

	5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üstbacak Çevre Uyluk Çevre Baldır Çevre	Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kas Ektomorf Endomorf Mezomorf
Model Adı	**Parametreler**		
Model 1	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk Skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 2	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 3	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 4	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 5	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Moedl 6	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	VA Subskapular Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı	Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 7	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy VA	Subskapular Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı	Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 8	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	VA Subskapular Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 9	Saniye 1_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy VA	Subskapular Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı	Pelvis Çapı Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 10	Saniye 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy VA Subskapular Skinfold	Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı	Pelvis Çapı Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 11	Saniye 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy Subskapular Skinfold	Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı	Pelvis Çapı Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 12	Saniye 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Subskapular Skinfold Biseps Skinfold	Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı	Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 13	Saniye 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Subskapular Skinfold Biseps Skinfold	Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı	Dirsek Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Kullanılan parametreler ile oluşturulan Yağmaks testi CHO tahmininde kullanılan YSA modellerinin eğitim, test ve doğrulama R performans değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10
Yağmaks testi CHO tahminindeki parametre seçimi için Tablo 9'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performans değerleri

Model Adı	İterasyon Sayısı	Eğitim Verisi R Performansı	Test Verisi R Performansı	Doğrulama Verisi R Performansı	Genel R Performansı
Model 1	147	0,99868	0,99909	0,9991	0,99873
Model 2	60	0,99632	0,99642	0,99695	0,99643
Model 3	29	0,993	0,9949	0,99332	0,99335
Model 4	109	0,9984	0,99737	0,99646	0,99798
Model 5	58	0,99671	0,99734	0,99692	0,99681
Model 6	29	0,99618	0,99665	0,99657	0,99631
Model 7	40	0,99757	0,99757	0,99815	0,99766
Model 8	95	0,99832	0,99862	0,99902	0,99848
Model 9	234	0,99918	0,99904	0,99813	0,99898
Model 10	103	0,9984	0,99876	0,99899	0,99855
Model 11	30	0,99709	0,99684	0,9971	0,99705
Model 12	62	0,99735	0,99635	0,99571	0,99696
Model 13	226	0,99732	0,9969	0,9973	0,99725

Tablo 11'de gösterilen 40 dk yürüme testi fat tahmininde adımsal regresyon sonuçlarına göre önerilen parametre modellerini göstermektedir. Bu modeller ile yeniden YSA'lar tasarlanmış ve modellerin eğitim, doğrulama ve test performansları Tablo 12'de gösterilmiştir

Tablo 11
40 dk Yürüme Testi Fat tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler		
Fat	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr	VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Önkol Skinfold Abdominal Skinfold	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI

	3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk Skinfold Baldır Skinfold Biceps Sevre Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üstbacak Çevre Uyluk Çevre Baldır Çevre	Yüzde Yağ Kas Kütlesi Matiegka Kas Kütlesi Martin Yüzde Kemik Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kas Ektomorf Endomorf Mezomorf

Model Adı	**Parametreler**		
Model 1	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 2	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr	Yaş Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 3	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 4	Saniye Altı_dk_toplam_mesaf 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr	Yaş VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik_Kütlesi_Matiegk Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Kullanılan parametreler ile oluşturulan 40 dk yürüme testi fat tahmininde kullanılan modellerin eğitim, test ve doğrulama R performans değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12
40 dk Yürüme Testi Fat tahminindeki parametre seçimi için Tablo 11'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performans değerleri

Model Adı	**İterasyon Sayısı**	**Eğitim Verisi R Performansı**	**Test Verisi R Performansı**	**Doğrulama Verisi R Performansı**	**Genel R Performansı**
Model 1	214	0,99568	0,99664	0,99456	0,99567
Model 2	299	0,99685	0,99645	0,99732	0,99685
Model 3	185	0,9954	0,99547	0,99577	0,99547
Model 4	248	0,99613	0,99448	0,99687	0,996

Tablo 13'de gösterilen 40 dk yürüme testi CHO tahmininde adımsal regresyon sonuçlarına göre önerilen parametre modellerini göstermektedir. Bu modeller ile yeniden YSA'lar tasarlanmış ve modellerin eğitim, doğrulama ve test performansları Tablo 14'de gösterilmiştir

Tablo 13
40 dk Yürüme Testi CHO tahmini bağımlı-bağımsız değişkenleri ile YSA modeli parametre seçimi için adımsal regresyonun önerdiği modeller ve parametreleri

Bağımlı Değişken	**Bağımsız Değişkenler**		
Fat	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr 2_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş Boy	VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Önkol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk Skinfold Baldır Skinfold Biceps Sevre Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üstbacak Çevre Uyluk Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Yüzde Yağ Kas Kütlesi Matiegka Kas Kütlesi Martin Yüzde Kemik Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kas Ektomorf Endomorf Mezomorf

Model Adı	**Parametreler**		
Model 1	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Min_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Model 2	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy VA Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre	Baldır Çevre Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf
Model 3	Saniye 6_Dk_Toplam_Mesafe 1_Dk_Min_Hr 1_Dk_Max_Hr İki_Dk_Min_Hr 2_Dk_Max_Hr 3_Dk_Max_Hr 4_Dk_Min_Hr 4_Dk_Max_Hr 5_Dk_Min_Hr 5_Dk_Max_Hr 6_Dk_Min_Hr 6_Dk_Max_Hr Yaş	Boy Subskapular Skinfold Triseps Skinfold Biseps Skinfold Ön Kol Skinfold Abdominal Skinfold Pektoral Skinfold Suprailiak Skinfold Uyluk skinfold Baldır Skinfold Biceps Fleks Çevre Ön Kol Çevresi Üst Bacak Çevre Baldır Çevre	Omuz Çapı Pelvis Çapı Dirsek Çapı El Bileği Çapı Diz Çapı Ayak Bileği Çapı BMI Kas Kütlesi Martin Yüzde Kas Kemik Kütlesi Matiegka Yüzde Kemik Endomorf Mezomorf

Kullanılan parametreler ile oluşturulan 40 dk yürüme testi CHO tahmininde kullanılan modellerin eğitim, test ve doğrulama R performans değerleri Tablo 14'da gösterilmiştir.

Tablo 14
40 dk Yürüme Testi CHO tahminindeki parametre seçimi için Tablo 13'deki adımsal regresyonun önerdiği modellerin YSA modellemesindeki eğitim, doğrulama ve test R performans değerleri

Model Adı	**İterasyon Sayısı**	**Eğitim Verisi R Performansı**	**Test Verisi R Performansı**	**Doğrulama Verisi R Performansı**	**Genel R Performansı**
Model 1	443	0,99731	0,998	0,99791	0,99751
Model 2	101	0,98655	0,98444	0,98764	0,9864
Model 3	83	0,9857	0,98828	0,97615	0,98474

BÖLÜM VI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada YSA kullanılarak KPET verileri, 6 dakika yürüme testi verileri ve antropometrik veriler ile Tablo 15'de görüldüğü gibi başarılı tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Tablo 15
Yapılan YSA Modellerindeki Eğitim, Doğrulama ve Test Performansları

Model Adı	**Eğitim Verisi R Performansı**	**Test Verisi R Performansı**	**Doğrulama Verisi R Performansı**
48 giriş - 1 çıkış (Fat) parametreli Yağmaks testi YSA modeli	0,99009	0,98869	0,98907
48 giriş - 1 çıkış (CHO) parametreli Yağmaks testi YSA modeli	0,99895	0,99951	0,99848
48 Giriş - 1 Çıkış (Fat) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modeli	0,99488	0,99483	0,99558
48 Giriş - 1 Çıkış (CHO) Parametreli 40 dk yürüme testi YSA modeli	0,99768	0,99804	0,99734

20-30 yaş arasında spor yapmayan ve bilinen bir hastalığı olmayan 44 erkek bireye testler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan 6 dakika yürüme testi, antropometrik ölçümler, Yağmaks ve 40 dk Yürüme testi verilerinden olan CHO (kkal/gün) ve Fat (kkal/gün) ile YSA modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu YSA modellerinde tahmin edilecek veriler için eğitim, doğrulama ve test R değerleri bu YSA'ların başarılı olduğunu göstermektedir. Her veri setinde rastgele seçilen eğitim ve doğrulama verileri ile modeller oluşturulmuş, test verileri ile tahmin ettirilen değerlerin gerçek değerler arasında benzer olduğu görülmüştür. Bu durum belirtilen örneklem için

uygulanabilmesi için ciddi bir fiziksel alt yapının, gelişmiş laboratuvar donanımı ve eğitimli personelin gerek duyulduğu KPET'lerin verilerinden olan CHO (kkal/gün) ve Fat (kkal/gün) için KPET yapmadan nispeten yapılması kolay 6 dakika yürüme testi, antropometrik ölçümlerden bu verilere ulaşılabileceğini göstermiştir.

Yağmaks testi için belirtilmiş örneklem içerisinde 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçümler verilerinden yağmaks testi boyunca 30 saniye ortalama alınmış CHO ve Fat (kkal/gün) verileri tahmini başarılı olduğu görülmüştür. Bu durumda kişilere KPET yapmadan yürüme hızının hangi aralıkta en çok CHO ve Fat (kkal/gün) kullanıldığı bilinebilecektir. Bu hızın bulunduğu kalp atım aralığı da bilindiğinden bulunan yürüme hızına ait kalp atım değerine göre de çok CHO ve Fat (kkal/gün) oksidasyon değerlerine ulaşılabilecektir.

Yağmaks testinde en çok yağ (kkal/gün) oksidasyonunun gerçekleştiği yürüme hızı veya kalp atım hızı aralığında 40 dakika yürütülen sedanter bireylerin zamana göre CHO ve Fat (kkal/gün) oksidasyon verilerine, KPET yapmadan 6 dakika yürüme testi ve antropometrik ölçüm verilerinden başarılı tahminler yapıldığı görülmüştür.

Bu modeller ile bulunan ağırlık değerleri, yapılacak yazılımlar ile bu örneklem içerisinde yeni 20 - 30 yaş arasındaki sedanter erkeklerin verilerinin çok kısa bir sürede yağmaks testi ile 40 dk yürüme testi CHO ve Fat (kkal/gün) oksidasyon verileri sonucunu gösterebilmektedir.

Bu çalışma ile laboratuvar ortamında yapılmakta olan yağmaks ve 40 dakika yürüme testine ihtiyaç duyulmadan dolayısıyla zaman, iş gücü, tesis ve maliyet açısından bir verimlilik ortaya koymaktadır. YSA modellerinin kullanılması görece daha ekonomik ve laboratuvar testleri ile benzer sonuçları göstermektedir. Ortaya konan bu sonuçlar sağlıklı yaşam ve egzersiz önerilerinde kliniklerde kullanılabilme imkânı sunmaktadır. Özellikle 20-30 yaş aralığındaki sedanter erkek bireyler için oldukça yüksek doğruluktadır. Genel olarak hareketsizliğin ve kilo problemlerinin artış gösterdiği, bununla birlikte ortaya çıkabilecek sağlık problemlerinin birinci derece sağlık hizmetleri değerlendirmelerinde kullanımının artırılmasıyla sağlıklı yaşam için önem taşımaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde kullanımı ile ortaya çıkacak sonuçlar açısından değerlendirilmesi çalışmamıza özgünlük ve toplum hayatına destek oluşturmaktadır.

YSA'lar veri tahminleri için başarılı araçlardır. Doğada matematiksel olarak modellenmemiş birçok olgu ile veriler arasında ilişkiler bu kapsamda sonraki çalışmalarda denenebilir. Bu modellemeler sınırlı sayıdaki kaynakların optimize edilerek imkânların verimli kullanılmasına fırsat verebilecektir.

KAYNAKÇA

Akalan, C., Robergs, R. A., & Kravitz, L. "Prediction of VO2max from an individualized submaximal cycle ergometer protocol.", JEPonline, Vol. 11, No. 2, 2008, pp. 1–17

Abdullah, M. R., Maliki, A. M., Musa, R. M., Kosni, N. A., & Juahir, H. (2016). Intelligent Prediction of Soccer Technical Skill on Youth Soccer Player's Relative Performance Using Multivariate Analysis and Artificial Neural Network Techniques. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology,* 6: 668-674.

Achten, j. (2002). Determination of the Exercise Intensity that Elicits Maximal Fat Oxidation. *Med Sci Sports Exerc,* 92-97.

Achten, J., & Jeukendrup, A. (2004). Egzersiz ve diyet yoluyla yağ oksidasyonunun optimize edilmesi. *Nutrition,* 716.

ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: (PA).

AHA Scientific Statement. (2010). Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Circulation,* S: 191-225.

Akay, M. F., Zayidb, E. I., Aktürk, E., & George, J. D. (2011, Mart). Artificial neural network-based model for predicting VO2max from a submaximal exercise test. *Expert Systems with Applications,* 2007-2010.

Akgün, N. (1994). *Egzersiz ve Spor Fizyolojisi.* İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.

Albouaini, K., Egred, M., & Alahmar, A. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgrad Med J,* 675-682.

American Thoracic S. (2003). American College of Chest P. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med*, 167:211.

Aslan, U. B., Livanelioğlu, A., & Şehmus, A. (2007). Fiziksel aktivite düzeyinin üniversite. *Fizyoterapi Rehabilitasyon,* 11-19.

Åstrand, P. O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise*. New York: McGraw-Hill. doi:10.2310/6640.2004.00030

ATS Statement. (2002). Guidelines for the Six-Minute Walk Test. *Am J Respir Crit Care Med*, 166: 111-7.

ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary. (2003). *AMERICAN JOURNAL OF RESPIRATORY AND CRITICAL CARE MEDICINE*, 211–277.

Avcı, E., & Akpolat, Z. (2006). Speech recognition using a wavelet packet adaptive network based fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, Pages 495-503.

Balady, G., Arena, R., Sietsema, K., Myers, J., Coke, L., & Fletcher, G. (2010). Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. *A Scientific Statement From the American Heart Association*, 191–225.

Balcı, Ş. S., & Aslankeser, Z. (2017). Antrenmanlı ve Antrenmansız Genç Yetişkinlerde Egzersiz Sırasında Substrat Oksidasyon Hızı. *Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi Ve Spor Bilimleri Dergisi, 1*(1).

Bartlett, J. D. (2015). Relationships Between Internal and External Training Load in Team-Sport Athletes: Evidence for an Individualized Approach. *in International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2: 230-234.

Basheer, I. A., & Hajmeer, M. (2000). Artificial Neural Networks: Fundamentals,Computing, Design and Application. *Journal of Microbiological Methods*, 43 3-31.

Bassett, D., & Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 70–84.

Başaran, U., & Nezih, Ö. (2015). Hourly Forecasting of Long Term Electric Energy Demand Using Novel Mathematical Models And Neural Networks. *InternationalJournal of Innovative Computing Information and Control*, 3545-3557.

Baysal, A. (2009). *Beslenme*. Ankara: Hatipoğlu Yayınları.

Bishop, & Christopher, M. (1995). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Clarendon.

Cameron, N. (1978). *Human Growth, The Methods of Auxological Anthropometry*. Boston: Springer MA. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2622-9_3

Carter, J. E. (1990). *Somatotyping-Development and Application*. Cambridge: Cambridge University Press.

Carter, J. E. (2002). *The Healt - Carter Anthropometric Somatotype - INSTRUCTION MANUAL*. San Diego, CA. U.S.A.: Department of Exercise and Nutritional Sciences San Diego State University.

Cartwright, H. M., & Long, R. A. (1993). Simultaneous optimization of flowshop sequencing and topology using genetic algorithms. *Ind Eng Chem Res*, 32: 2706–2713.

Ceylan, E. (2014). Kardiyopulmoner egzersiz testleri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 504-509.

Chan, C. C., & Lo, E. W. (2000). The available capacity computation model based on artificial neural network for lead–acid batteries in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 201-204.

Chiu, T. L., & So, S. S. (2003). QSAR. *Comb Sci*, 22: 519–526.

Cooper, C. B., & Storer, T. W. (2003). *Exercise testing and interpretation: Practical guide*. (A. Kayserilioğlu, & H. Çavuşoğlu, Çev.) Cambridge University Press.

Dutt, A., Button, C., Robins, A., & Bartlett , R. (2011). Are They Relevant to Study the Governing Dynamics of Association Football Players? *Sports Med*, 41: 1003-1017.

Eberle, S. G. (2014). *Endurance Sports Nutrition*. MS, RDN, CSSD.

Edelmann, J.-N., Hohmann, A., & Hanneberg, B. (2012). Modeling and prediction of competitive performance in swimming upon neural networks. *European Journal of Sport Science*, 2: 1-10.

Edriss MA, H. P. (2008). Prediction of second parity milk performance of dairy cows from first parity information using artificial neural network and multiple linear regression methods. *Asian J Anim Vet Adv*, 222-229.

Enright, P. L., & Sherrill, D. L. (1998). Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med*, 158: 1384-1387.

Ermes, M., Pärkkä, J., & Mäntyjärvi, J. (2008). Detection of Daily Activities and Sports With Wearable Sensors in Controlled and Uncontrolled Conditions. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE*, 20-26.

Feldman, J., Fanty, M. A., & Goddard, N. H. (1998). Computing with structured neural networks. *Computer*, 21: 91–103.

Ferrazza, A. M., Martolini, D., & Valli, G. (2009). Cardiopulmonary exercise testing in the functional and prognostic evaluation of patients with pulmonary diseases. *Respiration*, 3-17.

FJ, N. (1973). *Physiological Assessment of Maximal Performance* (Cilt 313-339). New York: Academic Press.

Foss, M., & Keteyian, S. (1998). *Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport*. William C Brown Pub.

Frayn, K. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 55-628.

Froelicher, V., & Myers, J. (2000). *Basic exercise physiology*. Philadelphia: W.B. Saunders Comp.

Ganong, W. (2002). *Tıbbi Fizyoloji*. Ankara: Nobel Tıp Kitabevİ.

Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice,Basic Books*. New York.

Gibbs, B. B., Hergenroeder, A. L., & Katzmarzyk, P. T. (2015). Definition, measurement, and health risks associated with sedentary behavior. *Med Sci Sports Exerc.*, 47: 1295-300.

Gülçelik, N. E., Gürlek, A., & Usman, A. (2007). Obezitenin medikal tedavisi. *Hacettepe T›p Dergisi*, 38:212-217.

Hasson, S. M. (1994). Metabolic responses during exercise and normal effects of training. *Clinical Exercise Physiology*, 29-43.

Heyward, V. (1998). The Physical Fitness Specialist Certification Manual, The Cooper Institute for Aerobics. *revised 1997 printed in Advance Fitness Assessment & Exercise*, 48.

Hill, A., Long, C., & Lupton, H. (1924). H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen. *Proc R Soc Lond B*, 96(679): 438–75. doi:https://doi.org/10.1098/rspb.1924.0048

Himes, J. H., & Dietz, W. H. (1994). Guidelines for overweight in adolescent preventive services: recommendations from an expert committee. *Am J Clin Nutr*, 59: 307-316.

Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational. *Proc Nat Acad Sci*, 79: 2554–2558.

Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Creiteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. *MEdicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1292 - 1301.

İbrahimov, F. (2018). *Pik Oksijen Tüketimi Ölçümünün Erken Evre Akciğer Kanserli Hastalarda Postoperatif Komplikasyonları Öngörmedeki Değeri.* Ankara: Hacettepe Üniversitesi.

İpekoğlu, G. (2013, January). Aralıklı ve Aralıksız Uygulanan Aerobik Egzersizler Süresince Yağ Oksidasyon Hızındaki Değişimler. Sinop, Turkey: Sinop University.

Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (2007). Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*, 40: 497-504.

Jonathan, M., & Euan, A. (1997). A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest*, 787-795.

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, S: 35-44.

Karlık, B. (2012). Yapay Sinir Ağları ile Ağız Kokusundan Diyabet Tanısı. *Turkiye Klinikleri J Med Sci*, 6.

Kohonen, T. (1989). *Self Organization and associative memory*. New York: 3 edn. Springer-Verlag.

Kuo, R. J., Chen, C. H., & Hwang, Y. C. (2001). An intelligent stock trading decision support system through integration of genetic algorithm based fuzzy neural network and artificial neural network. *Fuzzy Sets and Systems*, 21-45.

Lewis, T. (2014). A Brief History of Artificial Intelligence.

Lvingstone, D. J., & Walker, J. W. (2008). *Artificial Neural Networks Methods and Applications*. Sandown,: Humana Press. doi:10:1007/978-1-60327-101-1

Maltarollo, V., Honório, K., & Da Silva, A. (2013). *Applications of Artificial Neural Networks in Chemical Problems*. London: Intechopen.

Martin, A. D., Spenst, L. F., Drinkwater, D. T., & Clarys, J. P. (1990). Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc*, 22(5): 729-33.

Maszczyk, A., Roczniok, R., Czuba, M., Zajα, A., Waśkiewicz, Z., Mikołajec, K., & Stanula, A. (2012). Application of Regression and Neural Models to Predict Competitive Swimming Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 2: 610-626.

McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2000). Essentials of Exercise Physiology. 2th ed. Johnson E, Gulliver K, eds. Lippincott Williams and Wilkins.

McCullagh, J. (2010). Data Mining in Sport: A Neural Network Approach. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3: 131-138.

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Bull Mathematical Biophysics*, 5:115–133.

Memmert, D., & Perl, J. (2009). Analysis and simulation of creativity learning by means of artificial neural networks. *Human Movement Science*, 263-282.

Minsky, M. L., & Papert, S. A. (1969). *Perceptrons*. Cambridge, MA: MIT Press.

Montgomery, C. D., Peck, A. E., & Vining, G. G. (2001). *Introduction to Lineer Regression Analysis*. ABD: A Wiley Interscience Publication.

Mulavara, A., Timmons, W., Nair, M., Gupta, V., Kumar, A. A., & Taylo, B. C. (1998). Electrical Impedance Cardiography Using Artificial Neural Networks. *Annals of Biomedical Engineering*, 26: 577–583.

Nagle, F. J. (1973). Physiological Assessment of Maximal Performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 313-339.

Norton, K., & Olds, T. (1996). *Anthropometrica*. Australia: III. Australian Sports Commission.

Okudan, N., & Balcı, Ş. S. (2011). Yürüyüş ve Koşu Aktiviteleri Süresince Yağ ve Karbonhidrat Oksidasyonundaki Değişimler. *Selçuk Üniv Tıp Dergisi*, 95-100.

Özenoğlu, A. (2001). *Obezitede Medikal Nutrisyon Tedavisi*. İstanbul.

Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2. b.). İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Pate, R. R., O'Neill, J. N., & Lobelo, F. (2008). The evolving definition of "sedentary". *Exerc Sport Sci Rev.*, 36(4): 173-8.

Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Inteligent Systems*. Networks of Plausible Inference Morgan Kaufmann.

Pekcan, G. (2000). Şişmanlığın Tanımı ve Saptanması. *III. Uluslar arası Beslenme ve Diyetetik Kongresi, Obezite Sempozyumu, Hacettepe Üniversitesi Beslenme Diyetetik Kongresi, Obezite Sempozyumu, Hacettepe Üniversitesi Beslenme Diyetetik Kongresi, Obezite Sempozyumu*, S: 93-104.

Perl, J. (2017). Artificial Neural Networks in Sports: New Concepts and Approaches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 106-121.

Rein, R., & Memmert , D. (2016). Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science. *Springer Plus*, 5-1410-1423.

Ringwood, J. V. (1999). Anaerobic threshold measurement using dynamic neural network models. *Computers in Biology and Medicine*, 259-271.

Rosenblatt, R. (1962). *Principles of neurodynamics: perceptrons and the theory of brain mechanisms*. New York: Spartan Books.

Rothney, M. P., Neumann, M., Be´ziat, A., & Chen, K. Y. (2007). An artificial neural network model of energy expenditure using nonintegrated. *J Appl Physiol*, 103: 1419–1427.

Rowley, H. A., Balujia, S., & Kenade, T. (1998). Neural network-based face detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23 - 38.

Ruch, N., Joss, F., Jimmy, G., Melzer, K., Hänggi, J., & Mäder, U. (2013). Neural network versus activity-specific prediction equations for energy expenditure estimation in children. *Journal and Applied Phsiology*, 1229-1236.

Ruiz, R. J., Ramirez-Lechuga, J., Ortega, F. B., Castro-Pinero, J., Betinez, J. M., Arauzo-Azofra, A., . . . Zabala, M. (2008). Artificial neural network-based equation for estimating VO2max from the 20 m shuttle run test in adolescents. *Artificial Intelligence in Medicine*, 233-245.

Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing: exploration in the microstructure*. Cambridge, MA: MIT Press.

Russel, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence A Modern Approach*. New Jersey: Pearson Education.

Sachnev, V., Kim, H. J., & Zhang, R. (2009). Less detectable JPEG steganography method based on heuristic optimization and BCH syndrome coding. *Proceeding MM&Sec '09 Proceedings of the 11th ACM workshop on Multimedia and security*, 131-140.

Scott, C. (2005). Misconceptions about aerobic and anaerobic energy. *J Int Soc Sports Nutr*, 32-37.

Silva, A. J., Costa, A. M., Oliveira, P. M., Reis, V. M., Saavedra, J., Perl, J., . . . Marinho, D. A. (2007). The use of neural network technology to model swimming performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6: 117-125.

Silva, G., Oliveira, N. L., Aires, L., Mota, J., Oliveira, J., & Ribeiro, J. C. (2012). Calculation and validation of models for estimating VO2max from the 20-m shuttle run test in children and adolescents. *Arch Exerc Health Dis 3*, 145-152.

Staudenmayer, J., Pober, D., Crouter, S., Bassett, D., & Freedson, P. (2009). An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer. *The American Physiological Society*, 107: 1300 –1307.

Sue, D. Y., & Hansen, J. E. (1984). Normal values in adults during exercise. *Clin Chest Med*, 5: 89-97.

Takma, Ç., Atıl, H., & Aksakal, V. (2012). Çoklu Doğrusal Regresyon ve Yapay Sinir Ağı Modellerinin Laktasyon Süt Verimlerine Uyum Yeteneklerinin Karşılaştırılması. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 941-944.

Tarek, K., & Hamid-Abdel. (2003). Exercise and Diet in Obesity Treatment: An Integrative System Dynamics Perspective. *Perspective. Med. Sci. Sports Exerc.*, 3: 400-414.

Türk Cerrahi Derneği. (2018). *TÜRK CERRAHİ DERNEĞİ YETERLİLİK (BOARD) OKULU DERS NOTLARI*. Ankara: Türk Cerrahi Derneği Yayınları.

Ulubay, G., & Eyyüboğlu, F. (2006). Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, 54:90-98.

US Dept of Health and Human Services. (2000). *Healthy People 2010: Understanding and Improving Health*. Washington: DC: US Government Printing Office.

Vainamo, K., Nissila, S., Makikalio, T., & Tulppo, M. (1996). Artificial neural networks for aerobic fitness approximation. *Proceedings of International Conference on Neural Networks*, 1939-1944.

Wang, J., Thornton, J. C., Kolesnik, S., & Pierson Jr., R. N. (2000). Body Composition Unit. *ANNALS NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, 317-326.

Wasserman, K., Hansen, J., & Sue, D. (2005). *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS.

Wei, Z., Liu, F., Wei, A., & Cui, X. (2009). Fencing Training Decision Support System Based on Bayesian Network. *International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, 1-4.

William, B., & Adams, G. (2009). *Excersize Physiology*. McGraw-Hill Humanities.

Williams, L. &. (2013). *The American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 9. ed. Philadelphia.

Yiğit, Z., & Öztunç, F. (1998). Sağlıklı Çocuklarda Egzersize Kardiyovasküler Yanıtın Değerlendirilmesi . *Türk Kardiyol Dern Arş*, 265-271 .

Yıldız, S. A. (2012). Aerobik ve Anaerobik Kapasitenin Anlamı Nedir? *Solunum Dergisi*, 1-8.

Zhang, K., Sun, M., Lester, D. K., Pi-Sunyer, F. Z., Boozer, C. N., & Longman, R. W. (2005). Assessment of human locomotion by using an insole measurement system and artificial neural networks. *Journal of Biomechanics*, 2276-2287.

Zou, J., Han, Y., & So, S.-S. (2009). *Overview of Artificial Neural Networks*. Springer science.

Waddoups, L., Wagner, D., Fallon, J., & Heath, E. "Validation of a single-stage submaximal treadmill walking test.", Journal of Sports Sciences, Vol. 26, No. 5, 2008, pp. 491–497

Wu, H. C., & Wang, M. J. J. "Establishing a prediction model of maximal oxygen uptake for young adults in Taiwan.", Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 19, No. 3, 2002, pp. 1–6.

EKLER

Ek 1

Türkiye Cumhuriyeti

Çukurova Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

Yapay Sinir Ağlarıyla İnsan Vücudunun Karbonhidrat Ve Yağ Kullanımının Modellenmesi

Araştırması Onam Formu

Adı – Soyadı:	
TC Kimlik No:	
E-Posta:	
Telefon:	
Bir Yakının;	
Adı – Soyadı:	
Tel. No:	

Sayın gönüllü, Çukurova Üniversitesi tarafından yürütülen "Yapay Sinir Ağlarıyla İnsan Vücudunun Karbonhidrat Ve Yağ Kullanımının Modellenmesi" adlı araştırmaya davet edilmiş durumdasınız. Araştırmada 20 – 30 yaş aralığında erkek bireylere yapılacak olan 4 adet test ve vücudunuzun antropometrik (boy, kilo vücut çap-çevre) ölçümleri yer alacaktır. Takiben, 12 saatlik açlıkla laboratuvara gelmeniz istenecektir. En yüksek yağ yakım aralığınızın belirlenebilmesi için, yürüme bandında her 6 dk'da bir arttırılan yürüme testi uygulanacak ve bu esnada yüzünüzde yine bir maske takılı olacaktır. Aynı zamanda göğüs kafesinizin altına sarılan bir bant aracılığı ile kalp atım sayınız takip edilecektir. Başlangıçta çok hafif olan temponuz giderek artacak ve siz egzersizi durdurmak isteyinceye ya da test yönetimini yapan ekibin sonlandırma kararını vermesine kadar teste devam edilecektir. Sonraki testte ise konuyla ilgili olarak fiziksel durumunuzun tespit edilmesi, yine yürüme bandında ancak bu defa dakikada bir şiddetin arttığı bir egzersiz testi uygulanacaktır. Yine test, siz egzersizi durdurmak isteyinceye ya da test yönetimini yapan ekibin sonlandırma kararını vermesine kadar devam edilecektir. Uygulama sırasında baş dönmesi, denge kaybı hissi, göğüs ağrısı, bacaklarda ağrı ya da aşırı yorgunluk veya testi devam ettiremeyeceğinizi hissettiğinizde, yürümekte olduğunuz koşu bandının hemen sağında bulunan kırmızı butona basarak uygulamayı istediğiniz anda durdurabilirsiniz. Teste bağlı olarak 10.000'de 1 ila 4 oranında yan etkiler ortaya çıkabilmektedir. Testin bitiminden hemen sonra yavaş tempoda birkaç dakika daha yürümeniz önerilmektedir.

Bundan sonraki süreçte, sizin için belirlenmiş olan yağ yakımının en fazla olduğu nabız ve hız aralığında yaklaşık 40 dk, yine yüzünüzde maske varken, Spor Fizyolojisi Laboratuarında ilk ölçümlerin yapıldığı koşu bandında yürüme/koşma egzersizini uygulamanız istenecektir. Yapılan fiziksel aktivitenin düzenli olarak izlenebilmesi için çalışma süresince koşu bandı hızı yanında egzersiz nabzı kontrol edilecektir.

Son yapılacak 6 dakika yürüme testinde, 6 dakika boyunca sizden ulaşa 30 metrelik düz bir koridorda yapabildiğiniz kadar hızlı, ama koşmadan yürümeniz istenecektir. Bu süreççe toplam kaç metre yürüdüğünüz, yürüme hızınız ve nabız değerleriniz ölçülecektir.

Çalışmaya katılmanız için herhangi bir hastalığınızın bulunmaması ve ilaç kullanmıyor olmanız gerekmektedir.

Bu çalışma süresince sizden bir ücret talep edilmeyecek ve size bir ödeme yapılmayacaktır.

YUKARIDA YAZILANLARI OKUDUM VE AYRINTILI OLARAK BİLGİLENDİRİLDİM. BU TESTİ İSTEDİĞİM ZAMAN SONLANDIRABİLECEĞİMİ VE BUNDAN DOLAYI HERHANGİ BİR SORUNLA KARŞILAŞMAYACAĞIMI BİLİYORUM. YUKARIDA BAHSEDİLEN ÖLÇÜMLERİN YAPILABİLMESİ İÇİN GEREKLİ ONAYI VERİYORUM.

Katılımcı İmza

Ek 2

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

ADI VE SOYADI: Erkan TİYEKLİ

DOĞUM YERİ VE TARİHİ : Antakya- 04.03.1983

ADRES: Ç.Ü. Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı - Sağlıklı Yaşam ve Spor Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi 01330 ADANA

TELEFON (İŞ): (0322) 338 71 16 (2350,2353 Dahili) - (322) 338 60 84 (5050 Dahili)

FAX : (322) 338 73 70

E-POSTA: etiyekli@cu.edu.tr, erkan@tiyekli.com

EĞİTİM DURUMU

2015 – 2020: Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı Doktora

2003 – 2007: Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Yüksek Lisans

1999 – 2003: Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü

1996 – 1999: Antakya Lisesi

YABANCI DİL: İngilizce- İyi Derecede

İŞ TECRÜBESİ

01.2020-	**Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı**	**Adana, Türkiye**
	• Öğretim Görevlisi – Yazılım Geliştirme	
07.2016-07.2019	**Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu**	**Adana, Türkiye**
	• Özel Yeteken Sınavı Yazılımı Geliştirme ve Sınav Komisyon Üyesi	
01.2018-...	**Sağlıklı Yaşam ve Spor Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi**	**Adana, Türkiye**
	• Muhasebe Veri Giriş Görevlisi	
10.2016-01.2020	**Çukurova Üniversitesi Anaokulu**	**Adana, Türkiye**
	• Müdür Yardımcısı	
08.2013-...	**Çukurova Üniversitesi Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanlığı**	**Adana, Türkiye**
	• Yazılım Geliştirme	
08.2013-...	**Çukurova Üniversitesi**	**Adana, Türkiye**
	• Lisans Düzeyinde Ders Verme (Fakülte / Bölüm)	

- Eğitim Fakültesi (Almanca Öğretmenliği, Sosyal Bilgiler Öğretmenliği, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği)
- Mühendislik - Mimarlık Fakültesi (Bilgisayar Mühendisliği (İngilizce), Bilgisayar Mühendisliği (İngilizce) (II. Öğretim), Makine Mühendisliği (İngilizce) (II. Öğretim))
- Adana Sağlık Yüksekokulu (Hemşirelik, Hemşirelik (II. Öğretim))
- Güzel Sanatlar Fakültesi (Seramik)
- Ziraat Fakültesi (Tarım Makineleri, Peyzaj Mimarlığı)
- İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (Maliye (II. Öğretim), İşletme, İşletme (II. Öğretim), Uluslararası İlişkiler, İktisat (II. Öğretim))
- Fen-Edebiyat Fakültesi (Biyoloji, İstatistik, Türk Dili ve Edebiyatı)
- Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Beden Eğitimi Öğretmenliği Bölümü, Spor Yöneticiliği Bölümü)

- Verilen Dersler
  - Bilgisayar
  - Temel Bilgi Teknolojileri
  - Bilgisayar Sistemlerine Giriş
  - Html, Css Ve Javascript İle Web Tasarımı,
  - Web Tasarımı
  - Çoklu Ortam Tasarımı Ve Üretimi
  - Betik Programlama Dili
  - Bilişim Teknolojileri
  - Ağ İşletimi ve Yönetimi
  - Etkili Sunum Teknikleri
  - Ekonomi

06.2011-6.2012 **Dr. M. Hacı Hatice Turgut Anadolu Lisesi / Çukurova** **Adana, Türkiye**

- Öğretmenlik
- Fatih Projesi Kapsamında Bilgisayar Formatörlüğü
- 2013 yılından itibaren Çukurova Üniversitesi'nde Sağlık Kültür Daire Başkanlığı'nda "Yazılım Geliştirme" için geçici süreyle görevlendirildim.

06.2011-7.2013 **Adana İl Milli Eğitim Müdürlüğü İl Formatörü** **Adana, Türkiye**

- 2012 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nın uygulamaya koyduğu FATİH Projesi kapsamında Adana İl Formatörü olarak görev yaptım

06.2011-6.2012 **Dr. M. Feyyaz Ekiz Anadolu Lisesi** / Seyhan **Adana, Türkiye**

- Öğretmenlik
- Fatih Projesi Kapsamında Bilgisayar Formatörlüğü
- Seyhan İbrahim Atalı Lisesi Fatih Projesi Kapsamında Bilgisayar Formatörlüğü

09.2009-12.2011 **Paşalı YİBO / Feke** **Adana, Türkiye**

- Öğretmenlik
- Bilgisayar Formatörlüğü

09.2006-09.2009 **Şehit Temel Cingöz Lisesi / Çukurova** **Adana, Türkiye**

- Öğretmenlik

10.2008-09.2009 **Sarıçam İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü** **Adana, Türkiye**

- İnternet Kafe Denetleme Komisyonu Başkanı
- Bilgi İşlem

01.2007-03.2008 **Seyhan İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü** **Adana, Türkiye**

- Okullar Web Sayfası İnceleme Komisyonuna
- Okullar İçin Seyhan İlçe Mem Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulması
- Bilgi İşlem

10.2005-04.2006 **Adana İl Milli Eğitim Müdürlüğü** **Adana, Türkiye**

- Adana İli Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulması

10.2005-04.2006 **Atatürk İlköğretim Okulu / Saimbeyli** **Adana, Türkiye**

- Öğretmenlik