

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI

**DESTEK VEKTÖRLERİ YÖNTEMİ KULLANILARAK SPORCU
PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN TAHMİN
EDİLMESİ**

Mustafa AÇIKKAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Kadir AYDIN

ADANA - 2007

Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde yürütülmüş olan “Destek Vektörleri Yöntemi Kullanılarak Sporcu Performansını Etkileyen Faktörlerin Tahmin Edilmesi” adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi

15.05.2007

Prof. Dr. Kadir AYDIN

Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. S. Sadi KURDAK

Çukurova Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Gonca İNCE

Çukurova Üniversitesi

Yukarıdaki tez, Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Halil KASAP

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde olduğu gibi her zaman her konuda bana güvenen, beni yönlendiren, benden desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kadir Aydın'a, bu çalışmada kullanılan verilerin hazırlanmasında ve yorumlanmasında yardımını ve zamanını esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Sanlı Sadi Kurdak'a, öğretim görevlisi Dr. Kerem Tuncay Özgünen'e ve Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu araştırma görevlilerinden Zübeyde Yazıcı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın hazırlanması süresince yardımlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen akademik ve idari kadroda görev yapan tüm iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	2
1.2. Araştırmanın Önemi	3
2. GENEL BİLGİ.....	4
2.1. Enerji Kavramı	4
2.1.1. Enerji Sistemleri	4
2.1.2. Anaerobik ve Aerobik Enerji Metabolizması	6
2.1.2.1. Anaerobik Enerji Metabolizması	6
2.1.2.2. Aerobik Enerji Metabolizması	8
2.2. Solunum	11
2.2.1. Solunum Sisteminin Fizyolojik Anatomisi.....	12
2.2.2. Dinlenik Durumda ve Egzersizde Solunum	13
2.2.3. Akciğer Hacim ve Kapasiteleri.....	17
2.2.3.1. Statik Akciğer Hacimleri.....	17
2.2.3.2. Dinamik Akciğer Hacimleri	17
2.2.3.3. Egzersizde Akciğer Hacimleri	18
2.2.4. Egzersizin Solunuma Etkileri	19
2.2.5. Solunum ve Anaerobik Eşik	19
2.2.6. Solunum ve Aerobik Performans.....	21

2.2.7.	Antrenman ve Solunuma Etkileri	21
2.3.	Kalp ve Egzersiz.....	23
2.3.1.	Kalp Debisi	23
2.3.2.	Kalp Atım Hızı ve Önemi.....	24
2.3.3.	Kalp Atım Hızı ve Kalp Debisi İlişkisi.....	25
2.3.3.1.	Egzersizin Başlangıcında Kalp Atım Hızı	26
2.3.3.2.	Egzersizde Kalp Atım Hızı	26
2.3.4.	Egzersizdeki Kalp Atım Hacmine Antrenmanın Etkisi.....	28
2.3.5.	Antrenmanın Kalp Üzerindeki Etkileri.....	28
2.3.6.	Egzersizde Kaslar	29
2.4.	Öğrenme Yöntemi	30
2.4.1.	Danışmanlı Öğrenme	30
2.4.2.	Destek Vektörleri Yöntemi (Support Vector Machines).....	31
2.5.	MATLAB	34
3.	GEREÇ ve YÖNTEM.....	36
3.1.	Araştırma Grubu.....	36
3.2.	Verilerin Toplanması.....	37
3.2.1.	Boy ve Vücut Ağırlığının Ölçülmesi.....	37
3.2.2.	Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Sonuçlarının Kaydedilmesi	37
3.3.	Verilerin Hazırlanması	38
3.4.	Veri Setlerinin Oluşturulması.....	43
3.5.	Verilerin Analizi.....	47
4.	BULGULAR.....	49
5.	TARTIŞMA	56
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	60
7.	KAYNAKLAR	61
	ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER

- Şekil 2.1** A'da ATP'nin yapısı basit olarak gösterilmiştir. B'de iki fostat grubu arasındaki yüksek enerjili bağın parçalanması ile ATP'nin ADP ve inorganik fosfata (Pi) parçalanması ile açığa çıkan kullanılabilir enerji gösterilmektedir 5
- Şekil 2.2** A'da fosfokreatinin (PC) basit yapısı ve yüksek enerjili fosfat bağı gösterilmiştir. B'de ATP'nin yenilenmesi için kullanılan enerji PC'nin kreatin ve inorganik fosfata (Pi) parçalanması sonucunda açığa çıkar 7
- Şekil 2.3** Elektron Taşıma Sistemi. Krebs devrinde ayrılan H⁺ ve e⁻ sisteme giriş anında yüksek enerjiye sahiptir. Buradaki hidrojen iyonları ve elektronlar tepkime sonunda elektron taşıyıcıları aracılığıyla soluduğumuz oksijene taşınarak su (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) oluşturur. Aynı anda da eşleşen tepkime sonucu çıkan enerjiyle ATP yeniler. 9
- Şekil 2.4** Elektron Taşıma Sistemi. Krebs devrinde ayrılan H⁺ ve e⁻ sisteme giriş anında yüksek enerjiye sahiptir. Burada iki önemli kimyasal olay gerçekleşir. Buradaki hidrojen iyonları ve elektronlar tepkime sonunda elektron taşıyıcıları aracılığıyla soluduğumuz oksijene taşınarak su (H₂O) oluşturur. Aynı anda da eşleşen tepkime sonucu çıkan enerjiyle ATP yeniler 10
- Şekil 2.5** Antrenmansız ve antrenmanlı kişilerde egzersizin dakika solunumuna etkileri. A'da V_E ve VO₂'nin yakın ilişkisi ve B'de VCO₂ ile ilişkisi gösterilmiştir. Maksimal bir egzersizde V_E'nin VO₂'ye göre oranı değişken ama VCO₂'ye göre oranının sabit olduğu görülmektedir 14
- Şekil 2.6** Egzersiz öncesinde, egzersiz sırasında ve egzersiz sonrasında solunum. 16
- Şekil 2.7** Egzersiz ve kalp atım sayısı 27
- Şekil 2.8** (A) İki sınıflı veriyi ayıran bir alt düzlem, (B) en iyi alt düzlem ve sınırları 32
- Şekil 3.1** Dakika solunum hacminin (V_E) zamana bağlı grafiği. 39
- Şekil 3.2** Dakika solunum hacminin (V_E) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır). 39

Şekil 3.3	Dakikada tüketilen oksijen miktarının (VO_2) zamana bağlı grafiği	40
Şekil 3.4	Dakikada tüketilen oksijen miktarının (VO_2) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).	40
Şekil 3.5	Dakikada üretilen karbondioksit miktarının (VCO_2) zamana bağlı grafiği.	41
Şekil 3.6	: Dakikada üretilen karbondioksit miktarının (VCO_2) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).	41
Şekil 3.7	Kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği.	42
Şekil 3.8	Kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).	42
Şekil 3.9	Performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan bir sporcuya ait dakika solunum hacmi, oksijen tüketim miktarı, karbondioksit üretim miktarı ve kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).	43
Şekil 3.10	Excel belgelerindeki verilerin görüntülenmesi ve veritabanına kaydedilmesi.	44
Şekil 3.11	Veritabanına kaydedilen verilerin görüntülenmesi ve veri setinin oluşturulması.	45
Şekil 3.12	Örnek eğitim veri seti.	46
Şekil 4.1	Performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).	53
Şekil 4.2	Performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).	54
Şekil 4.3	Performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).	54

ÇİZELGELER

Çizelge 4.1	Sporcuların yaşlara göre dağılımı	49
Çizelge 4.2	Sporcuların uğraştıkları spor dallarına göre dağılımı	50
Çizelge 4.3	Eğitim, test ve tahmin grubuna katılan sporcuların yaş, boy ve vücut ağırlığı ortalamaları	50
Çizelge 4.4	Sporcu performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan test grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.	51
Çizelge 4.5	Sporcu performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan test grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.	52
Çizelge 4.6	Sporcu performans düzeyi hakkında bilgi sahibi olmadığımız tahmin grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.	55

SİMGELER ve KISALTMALAR

ADP	Adenozin Difosfat
ATP	Adenozin Trifosfat
dk	Dakika
DVY	Destek Vektörleri Yöntemi
FADH ₂	Flavin Adenin Dinükleotid
lt	Litre
MVV	Maksimum İstemli Solunum
NADH	Nikotinamide Adenin Dinükleotid
PC	Fosfo Kreatin
VCO ₂	Üretilen Karbondioksit Miktarı
V _E	Dakika Solunum Hacmi
VO ₂	Tüketilen Oksijen Miktarı
VO _{2max}	Maksimal Oksijen Tüketimi

ÖZET

Destek Vektörleri Yöntemi Kullanılarak Sporcu Performansını Etkileyen Faktörlerin Tahmin Edilmesi

Bu araştırmanın amacı bir istatistiksel öğrenme sistemi olan Destek Vektörleri Yöntemini (DVY) kullanarak sporcunun aerobik performans düzeyini tahmin etmeye çalışmaktır.

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Spor Fizyolojisi Laboratuvarı'nda 2003-2006 yılları arasında kardiyopulmoner egzersiz testini yapan 32 erkek sporcunun yaşı, boyu, vücut ağırlığı ve test verileri kullanıldı. Egzersiz testi protokolüne göre hız ve eğim kademeli olarak arttırılarak belli zaman aralıklarında elde edilen dakika solunum hacmi (V_E), oksijen tüketim miktarı (VO_2), karbondioksit üretim miktarı (VCO_2) ve kalp atım hızı kaydedilmiştir. Bu verilere DVY'nin uygulanabilmesi için ileri düzeyde teknik hesaplamalar yapabilen MATLAB programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir.

Sporculardan 17 tanesi eğitim grubuna, 10 tanesi test grubuna ve 5 tanesi tahmin grubuna dahil edilmiştir. Egzersiz testinden elde edilen verilerin ortalamaları alınarak ve verilere eğri uydurma algoritması uygulanarak saçaklanmalar giderilmiş, daha kararlı olması sağlanmıştır.

Eğitim grubuna dahil edilen sporcuların verileri kullanılarak eğitim veri seti oluşturulmuş ve öğrenme aşamasından sonra elde edilen karar verme fonksiyonu test ve tahmin grubundaki sporcuların veri setlerine sırasıyla uygulanmıştır. Sonuç olarak test grubunda bulunan sporcuların tamamının performans düzeyleri doğru bir şekilde tahmin edilmiştir.

DVY son yıllarda pek çok alanda birçok problemin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmada da DVY ile sporcunun aerobik performans düzeyi tahmin edilmiş ve başarı sağlanmıştır. Bu yöntemin beden eğitimi ve spor alanında uygulanabileceği çok sayıda konunun olduğu düşüncesiyle DVY'nin kullanılacağı çalışmaların yapılmasına gerek vardır.

Anahtar Sözcükler: Destek Vektörleri Yöntemi, Sporcu Performansı, Sporcunun Fizyolojik Özellikleri

ABSTRACT

Prediction of Factors That Affect Sportsman Performance by Using Support Vector Machines

The aim of this study is to predict aerobic performance level of a sportsman by using Support Vector Machines (SVM), which was defined as a kind of statistical learning system.

In this study; age, height, weight and test results belonging to Sportsmen that had cardiopulmonary exercise tests at Çukurova University Sport Physiology Laboratory between the years of 2003 and 2006 were used. According to the exercise test protocol, velocity and slope were increased gradually and the quantities of minute ventilation volume (V_E), oxygen consumption (VO_2), carbon dioxide generation (VCO_2), and heart rate were saved in a certain time interval. To analyze data with SVM, software was developed by using MATLAB programming language that makes high level technical computing.

The sportsmen have been separated in three groups, which were named as train group, test group and predict group respectively. 17 of them were included in the train group, 10 of them were included in the test group and 5 of them were included in the predict group. It has been shown that exercise test data become more stable by taking average of data and applying a curve-fitting algorithm to data.

The decision function that was obtained after learning phase has been applied to the datasets that belong to sportsmen who were included in the test and predict group in turn in order. As a result, performance levels of all sportsmen who were included in the test group have been predicted correctly.

SVM has successfully been used in a wide range of areas in analysis of many problems. Also in this study, performance levels of sportsmen were predicted with SVM successfully. Having an idea that this method can be applied in many subjects on physical education and sports area, further studies are needed that use SVM.

Key Words: Support Vector Machines, Sportsman Performance, Sportsman Physiological Characteristics

1. GİRİŞ

Egzersiz kapasitesini değerlendirmek ve egzersizi sınırlayıcı etkenleri belirlemek amacıyla çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kardiyopulmoner egzersiz testleri sporcunun performans düzeyini belirlemek ve aerobik kapasitesini ölçmek için sıklıkla kullanılan laboratuvar testlerindedir. Bu testler, kas-iskelet sisteminin egzersize karşı verdiği kardiyovasküler ve solunumsal yanıtları değerlendirebilmek için uygulanmaktadır. Egzersiz testlerinden elde edilen verilerin tümü anlamlı bir bilgi edinebilmek için dikkatle incelenmesi gerekir¹.

Öte yandan vücudun egzersize verdiği yanıtın değerlendirildiği performans testlerinde yorumu doğru yapabilmek ise, söz konusu solunum ve dolaşım sistemlerinin temel fizyolojisini iyi bilmek ile mümkün olabilir².

Solunum sistemi dokulara gereken oksijenin alınmasını ve dokularda oluşan karbondioksitin uzaklaştırılmasını sağlar. Özellikle aerobik enerji yollarının devrede olduğu, dayanıklılık egzersizleri sırasında kas dokusunun artan iş yükünün karşılanabilmesi için çok fazla oksijene gereksinim duyulur. Bu süreç, akciğer ve kan ile kan ve kas dokusu arasındaki gaz alışverişinin artmasını beraberinde getirir. Bunun sonucunda dinlenik durumda dakika solunum hacmi yaklaşık 6 lt/dk iken egzersiz sırasında bu değer 200 lt/dk'ya kadar ulaşmaktadır³. Ayrıca egzersizle artan vücut dokularının oksijen ve besin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için gerekli olan kan akımını sağlayan dolaşım sisteminde de, egzersize uyum sağlamak için bazı değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler ise kalp atım hızında ve kalp atım hacminde meydana gelen artışlardır. Egzersizle artan metabolik gereksinimler ise bu artışlara bağlı olarak kalp debisinde meydana gelen artışla sağlanabilmektedir⁴.

Sporcunun aerobik performansı için önemli ölçütlerden birisi de çalışmakta olan kaslara gönderilebilen ve kullanılabilen en yüksek miktardaki oksijendir. Bu maksimal oksijen tüketimi (VO_{2max}) olarak tanımlanmaktadır. Ancak antrenmanlarla belirli bir düzeye kadar arttırmak mümkün olabilen VO_{2max} 'ın yüksek değerleri sporcunun performansını tek başına açıklamaya yeterli deęildir³.

Sporcularda aerobik performans düzeyini etkileyen birçok faktör vardır. Laboratuvar koşullarında yapılan kardiyopulmoner egzersiz testlerinden elde edilen ve

test zamanına bağlı olarak değişen; dakika solunum hacmi (V_E), tüketilen oksijen (VO_2) miktarı (dolayısıyla VO_{2max}), üretilen karbondioksit (VCO_2) miktarı ve kalp atım sayısı gibi değişkenler ile sporcunun cinsiyeti, yaşı, boyu ve vücut ağırlığı gibi fiziksel özellikleri bu faktörlerin en önemlilerindedir. Bu faktörleri birbirinden bağımsız ya da birkaç tanesini birlikte yorumlayarak sporcunun performans düzeyi ve aerobik kapasitesi hakkında bilgi edinmek mümkün olabilmektedir. Ancak kişiden kişiye farklılıklar gösterebilen bu faktörlere ait yüzlerce verinin tamamını dikkate alarak yorum yapabilmek çoğu zaman imkansızdır.

İşte bu noktada, bahsedilen yüzlerce veriyi yorumlayarak sporcunun performans düzeyini tahmin edebilecek bilgisayar destekli öğrenme sistemine ihtiyaç duyulmuştur.

Destek Vektörleri Yöntemi (DVY) V.N. Vapnik tarafından geliştirilen danışmanlı bir istatistiksel öğrenme sistemi olup iki sınıflı bir sınıflandırıcıdır^{5,6}. Bu sınıflandırma yöntemi, birçok bilim ve mühendislik alanındaki konulara başarıyla uygulanmıştır^{7,8,9,10,11,12}. Ayrıca diğer geleneksel öğrenme yöntemleriyle karşılaştırıldığında bu sınıflandırıcının doğrusal olmayan problemleri çözmesindeki performansı ve yeteneği çok daha iyidir¹³.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, DVY ile kardiyopulmoner egzersiz testinden elde edilen sonuçlar kullanılarak sporcunun aerobik performans düzeyini tahmin etmeye çalışmaktır.

Yapılacak bu tez ile sporcu performansını etkileyen ve belirleyen onlarca temel veri ile organ sistemlerinin çalışma prensiplerinin fizyolojik açıdan ne anlama geldiğini ayrıntılarıyla bilmeye gerek kalmadan sporcunun performans düzeyini tahmin etmek mümkün olabilecektir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Bu yöntemin diğer bilim alanlarında olduğu gibi beden eğitimi ve spor alanında uygulanabileceği çok sayıda konu bulunmaktadır. Bu alanda daha önce çalışılmış birçok konuya, destek vektörleri yöntemi ve bu yöntem gibi öğrenme sistemleri uygulanarak, bu alanda cevap bulmuş problemlere farklı bir bakış açısı getirebilir ya da cevap bulmada zorluk çekilen problemlere çözüm üretilebilir.

2. GENEL BİLGİ

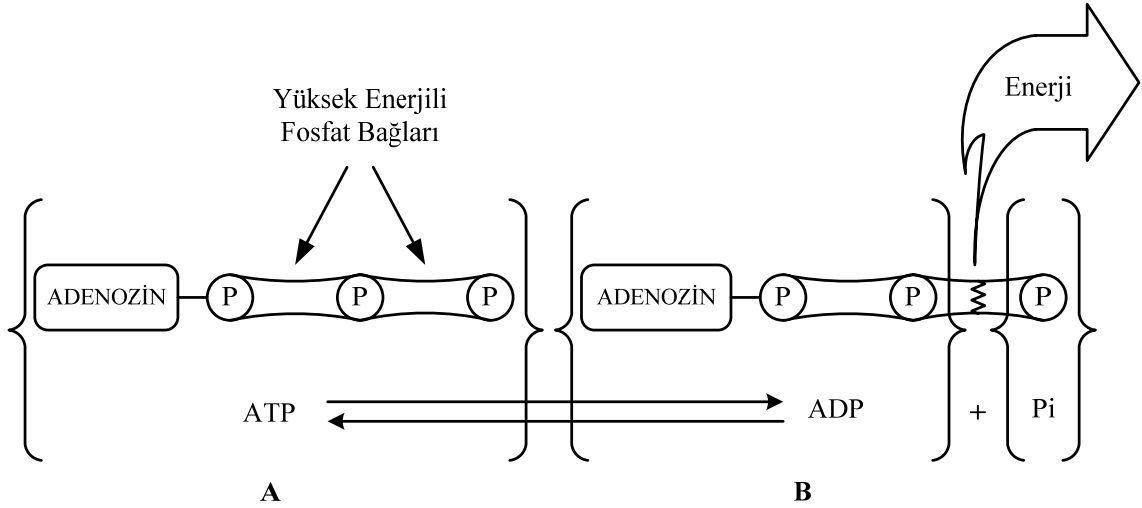
2.1. Enerji Kavramı

Enerji iş yapabilme yeteneğidir¹⁴. Kimyasal enerji, mekanik enerji, ısı enerjisi, ışık enerjisi, elektrik enerjisi ve nükleer enerji olmak üzere 6 enerji tipi vardır. Özellikle mekanik ve kimyasal enerji insan hareketlerinin ortaya konmasında önemli rol oynar⁴. Temel enerji kaynağı güneştir. Yeşil bitkiler güneşten gelen ışık enerjisinin bir kısmını kimyasal enerji olarak depolar ve fotosentez ile karbondioksit (CO₂) ve sudan (H₂O) oluşan glikoz, selüloz, protein ve yağ gibi besin moleküllerinin oluşturulmasını sağlar. İnsanlar yaşamları için gerekli olan enerjiyi, bitkisel ve hayvansal besinlerle aldıkları karbonhidrat, yağ ve protein moleküllerinin yapısını oluşturan kimyasal bağları parçalayarak elde edebilirler¹⁵. Bu besinler solunumla alınan oksijen (O₂) yardımıyla karbondioksit, su ve kimyasal enerjiye dönüştürülür^{4,16}.

2.1.1 Enerji Sistemleri

Organizmada enerji üretimi ile ilgili birçok metabolik işlemler söz konusudur. Fiziksel aktivitelerin sınırlarını belirleme yönünde metabolik süreçlerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Kas kasılması enerji gerektiren bir olaydır ve kas kimyasal enerjiyi mekanik işe çeviren bir mekanizmadır. İnsan organizmasındaki yaşamsal fonksiyonlar kimyasal reaksiyonlarla enerji açığa çıkarılmasına bağlıdır. Bu enerjinin kaynağı kastaki enerjiden zengin organik fosfat bileşikleridir ve kaynağını karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmalarından almaktadır⁴.

Besinlerin parçalanmasıyla oluşan enerji doğrudan bir iş yapımında kullanılmaz yani mekanik enerjiye dönüştürülemez. Bu enerji tüm hücrelerde depolanabilen adenozin trifosfatın (ATP) yapımında kullanılır. Hücreler görevlerini fonksiyonları için sadece ATP'nin parçalanmasıyla ortaya çıkan enerjiyi kullanabilirler. Hücre içinde depolanmış ATP miktarı sınırlı olup, insanların günlük aktivitelerinin şiddetine göre devamlı olarak yenilenmektedir⁴.



Şekil 2.1: A'da ATP'nin yapısı basit olarak gösterilmiştir. B'de iki fosfat grubu arasındaki yüksek enerjili bağın parçalanması ile ATP'nin ADP ve inorganik fosfata (Pi) parçalanması ile açığa çıkan kullanılabilir enerji gösterilmektedir.

ATP'nin moleküler yapısında bir adenozin ve üç fosfat molekülü bulunmaktadır. Son iki fosfat molekülü arasında yüksek enerjili fosfat bağı bulunmaktadır. Bu bağ kimyasal olarak parçalandığında bir molekül ATP başına en fazla 12 kilokalorilik bir enerji açığa çıkar ve adenozin difosfat (ADP) ve serbest bir fosfat (Pi) meydana gelir^{4,14,16}.

İyi antrenmanlı sporcularda bile en yüksek düzeyde kas gücünü ancak birkaç saniye sürdürebilecek kadar ATP bulunmaktadır (2,4 mmol/kas ağırlığı)¹⁶. Ancak bu sınırlı ATP miktarına rağmen, ATP'nin sürekli olarak yeniden yapımı ile kasta metabolizma için gerekli ATP sağlanmaktadır¹⁶.

ATP'nin kimyasal reaksiyonlarla yıkımı sonucu enerji nasıl açığa çıkıyorsa, tekrar kullanılmak üzere yapımı için de enerji gerekmektedir. ATP yıkımı ve yapımı iki yönlü bir kimyasal reaksiyondur. ATP'nin yeniden yapımı için gerekli olan enerji alaktik anaerobik metabolizma, alaktik anaerobik metabolizma ve aerobik metabolizma ile sağlanmaktadır⁴.

Alaktik anaerobik metabolizmada fosfokreatinin (PC), laktik anaerobik metabolizmada glikoz ve glikojenin, aerobik metabolizmada ise karbonhidratların ve

yağların parçalanmasıyla ortaya çıkan enerji ATP molekülün yeniden yapımı için kullanılır¹⁴.

2.1.2 Anaerobik ve Aerobik Enerji Metabolizması

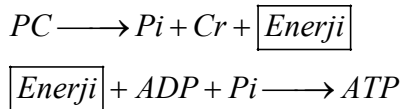
Organizma için gerekli olan enerjinin oksijensiz ortamda bir dizi kimyasal reaksiyonlar ile elde edilmesine "anaerobik"; oksijenli bir ortamda elde edilmesine "aerobik" metabolizma denir^{1,4,14,17}.

2.1.2.1 Anaerobik Enerji Metabolizması

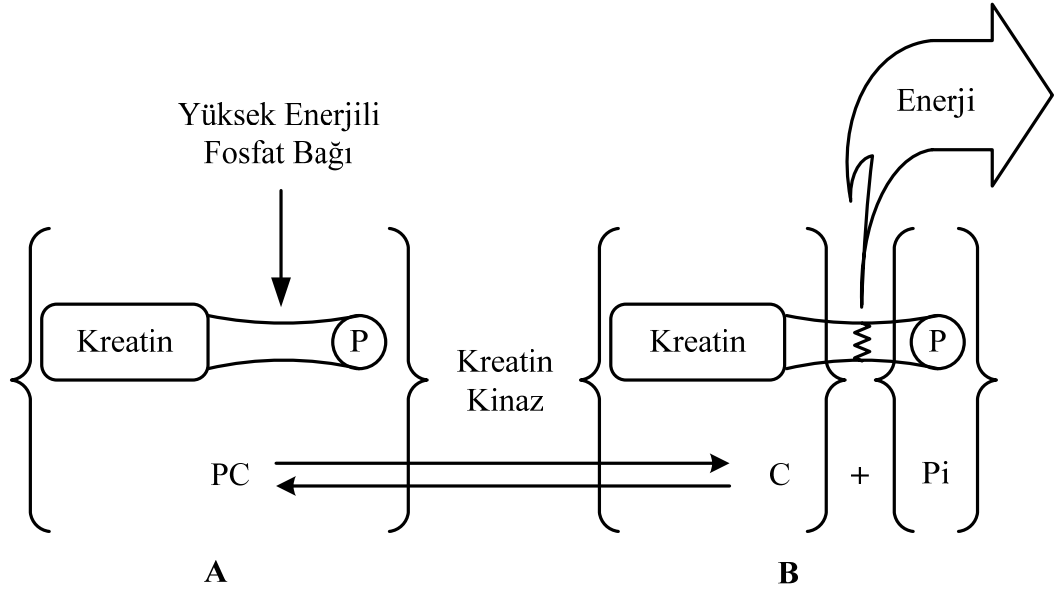
Alaktik Anaerobik Metabolizma: 1 mol ATP'nin parçalanmasıyla 7,3 kcal enerji açığa çıkar¹⁶.



Fosfokreatin (PC), ATP gibi kas hücrelerinde depolanan yüksek enerji bağı içeren bir kimyasal bileşiktir. Yüksek enerjili fosfat bağının parçalanması sonucu kreatin (Cr), inorganik fosfata (Pi) ayrışırken aradaki kimyasal bağın parçalanmasının bir sonucu olarak enerji açığa çıkar. Ortaya çıkan bu enerji yardımıyla ATP sürekli olarak ADP ve Pi ile tepkimeye girerek yenilenir¹⁴. Bu eşleşen tepkimeler şu biçimde özetlenebilir;



İskelet kaslarının yapısında ATP'nin 4-5 katı kadar PC bulunur^{16,17}. Ancak PC miktarı da ATP miktarı gibi oldukça sınırlıdır. Yüksek şiddetli ve çok kısa süreli egzersizlerde gerekli olan enerjinin önemli bir kısmı alaktik anaerobik süreç ile sağlanmaktadır^{4,16,17}.



Şekil 2.2: A'da fosfokreatinin (PC) basit yapısı ve yüksek enerjili fosfat bağı gösterilmiştir. B'de ATP'nin yenilenmesi için kullanılan enerji PC'nin kreatin ve inorganik fosfata (Pi) parçalanması sonucunda açığa çıkar.

Laktik Anaerobik Metabolizma: Bu metabolizma 1930'larda iki Alman bilim adamı Gustov Embden ve Otto Meyerhof tarafından bulunmuştur. Bu nedenle Embden ve Meyerhof yolu olarak da bilinir^{4,14}. Bu yolla enerji üretilirken sadece kasta depolanan glikojenin parçalanmasıyla elde edilen glikoz kullanılır. 1 mol glikozun parçalanması ile iki mol pirüvik asit oluşur. Ortamda oksijen olmadığı için sitrik asit (krebs) döngüsüne giremeyen pirüvik asit laktat dehidrogenaz enzimi ile laktik aside dönüşür. Bu yolla ATP oluşturulurken son ürün olarak ortaya laktik asit çıkmasından dolayı bu metabolizmaya laktik anaerobik metabolizma adı verilir^{4,14}.

Ortamda H iyon konsantrasyonunun artması pH'ın düşmesine neden olur. pH'daki bu azalma mitokondrideki bazı enzim aktivitelerini engelleyerek karbonhidratların yıkım hızını azaltır. Bu nedenle laktik asit kas ve kanda yüksek yoğunluğa ulaşır ve yorgunluğa yol açar^{4,14,15,17}.

Bir mol glikojen yıkımı sonucunda elde edilen enerji ile 3 mol ATP'nin yenilenmesi sağlanılırken, bir mol glikoz yıkımı ile 2 mol ATP yenilenir. Bunun nedeni

glikoz yıkımında glikozun glikoz-6-fosfata dönüşümü için 1 mol ATP'nin kullanılmasıdır.

Anaerobik glikolizde fosfojen sistemi kadar olmasa da hızlı bir şekilde ATP yenilenmesi söz konusudur. Yaklaşık olarak 1-3 dakikalık maksimum düzeyde devam eden egzersizlerde (400 m ve 800 m koşularındaki gibi) enerji daha çok bu yolla sağlanır ve ATP yenilenmesi, alaktik anaerobik ve laktik anaerobik metabolizma ile birlikte sağlanmaktadır^{4,14}.

Kandaki glikoz sindirilen karbonhidratlardan ve karaciğerdeki glikojenden sağlanır. Glikojen, glikojenesiz yoluyla glikozdan sentezlenerek karaciğer ve kasta depolanır. Kanda glikoza ihtiyaç duyulduğunda, karaciğer ve kasta depolanmış olan glikojen glikojenoliz yoluyla glikoza (glikoz-1-fosfata) indirgenebilir.

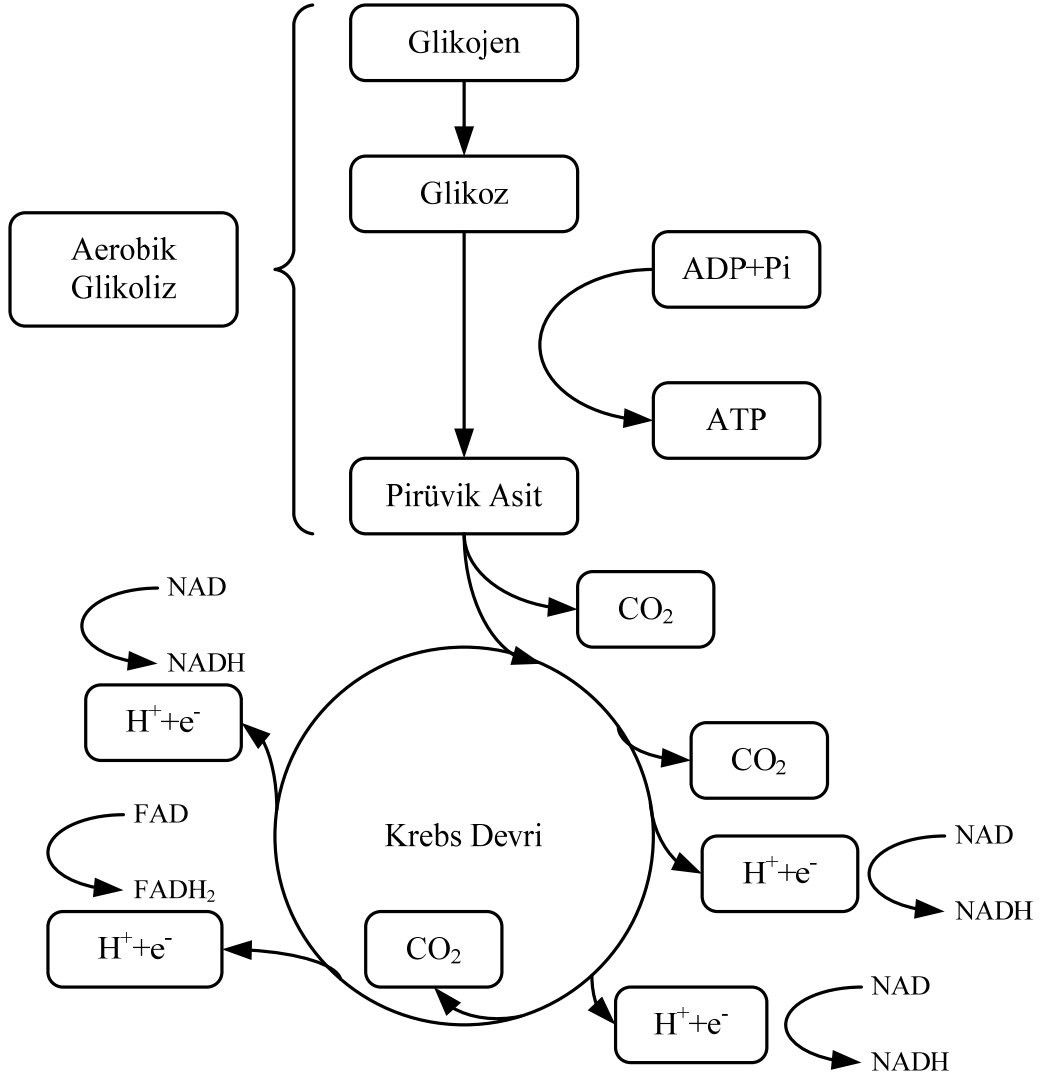
2.1.2.2 Aerobik Enerji Metabolizması

Aerobik sistem oksijenli ortamda karbonhidrat ve yağların H₂O ve CO₂'ye kadar parçalanması ile enerji elde edilmesini sağlamaktadır^{1,4,14,17}. Bu yolda 39 mol ATP açığa çıkar. Aerobik enerji yolunda ilk basamaklar anaerobik glikoliz ile aynıdır ve bir mol glikojen iki mol pirüvik aside çevrilir. Bu basamak (anaerobik glikoz) sarkoplazmada gerçekleşir. Anaerobik yol ile bu sistem arasındaki temel fark ise laktik asidin oluşmamasıdır⁴.

Krebs (Sitrik Asit) Devri: Eğer reaksiyonlar aerobik yolla devam ediyorsa işlemler mitokondride gerçekleşir ve pirüvik asit iki karbonlu yapı olan asetil koenzim A'ya dönüşerek krebs devrine girer. Aerobik yolla enerji oluşumuna yağlar ve kısmen de karbonhidratlar katkıda bulunduğu halde proteinler vücudun koruma mekanizması, büyüme ve hormon sisteminde yer aldığından enerji veren bir madde olarak tercih edilmemektedir⁴.

Krebs devrinde iki önemli kimyasal süreç vardır:

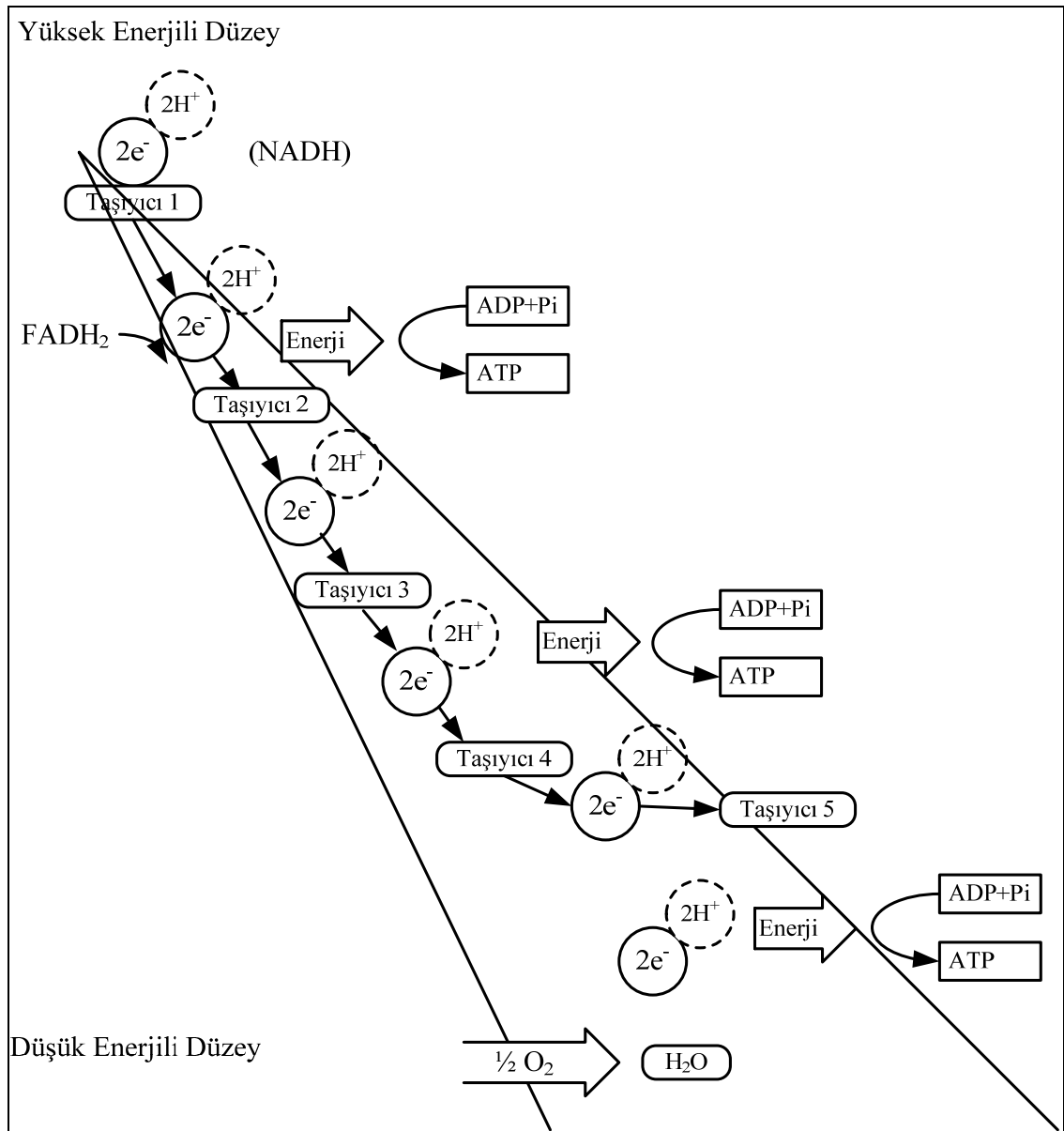
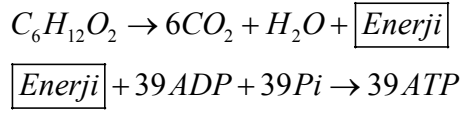
- Karbondioksit (CO₂) üretimi
- Elektronların taşınması (oksidasyon)



Şekil 2.3: Krebs Döngüsü. Aerobik glikolizin son ürünü olan pirüvik asit küçük bir kimyasal değişimden sonra krebs devrine girer. Krebs devrine her girişte iki kimyasal tepkime olur: (1) CO₂ açığa çıkar. (2) Oksidasyon, yani hidrojen iyonlarının (H⁺) ve elektronların (e⁻) kopması ve bunların elektron transferi sisteminde kimyasal tepkimelere girmeye hazırlanması.

Elektron Taşıma Sistemi: Solunan oksijen ile krebs devrinden ayrılan-taşınan hidrojen iyonlarının birleşmesi sonucu su oluşmaktadır. Suyun meydana gelmesine sebep olan reaksiyonlar mitokondride gerçekleşir. Elektron taşıma sisteminde 4 hidrojen iyonu, 4 elektron ve oksijen, 2 molekül su meydana getirirler. Bu elektron ve hidrojen iyonları yüksek enerji düzeyine sahiptir. Yüksek enerji düzeyinden düşük enerji düzeyine geçişte;

$4H^+ + 4e^- + O_2 \rightarrow 2H_2O$ meydana gelirken enerji açığa çıkar ve bu enerji ATP'nin yeniden sentezi için gerekli reaksiyonu sağlar⁴. Aerobik metabolizma sonucu bir mol glikojen ile 39 mol ATP üretilmektedir^{1,4}.



Şekil 2.4: Elektron Taşıma Sistemi. Krebs devrinde ayrılan H⁺ ve e⁻ sisteme giriş anında yüksek enerjiye sahiptir. Buradaki hidrojen iyonları ve elektronlar tepkime sonunda elektron taşıyıcıları aracılığıyla soluduğumuz oksijene taşınarak su (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) oluşturur. Aynı anda da eşleşen tepkime sonucu çıkan enerjiyle ATP yeniler.

Krebs devrinde H atomları okside edilmek için salınırlar ve buradan salınan H^+ atomları NAD^+ (nikotinamide adenine dinükleotid) ve FAD^+ (flavin adenine dinükleotid) adı verilen koenzimlerle birleşerek taşınırlar. Bu reaksiyonu hızlandıran enzimler dehidrogenaz veya oksidazdır. Hidrojenler NAD^+ ve FAD^+ ile birleşerek $NADH$ ve $FADH_2$ halini alırlar. Daha sonra solunum zincirinde H^+ 'nin elektron ve protonlarından ayrışması ile enerji elde edilir ve H^+ , O_2 ile birleşerek suya dönüşür⁴.

2.2. Solunum

Solunum canlı varlık ile onun dış ortamı arasındaki gaz alışverişidir. Genel olarak iç ve dış solunum olmak üzere iki tür solunumdan bahsetmek mümkündür. Dış solunum vücuda oksijenin (O_2) alınıp, karbondioksitin (CO_2) atılması ve iç solunum, hücreler ve hücrelerarası sıvı arasındaki gaz değişimleri ile O_2 kullanımı ve CO_2 üretimidir. Solunum sistemi kan ile atmosfer arasındaki gaz değişimini oluşturacak şekilde düzenlenmiş bir sistemdir. Solunumun en önemli görevleri ise;

- Gaz değişimi (O_2 'nin alınması ve CO_2 'nin verilmesi)
- pH ve vücut ısısının düzenlenmesi,
- Su ve ısı kaybının sağlanmasıdır.

Organizmada meydana gelen enerji karbon taşıyan kompleks moleküllerin (örneğin karbonhidrat) oksidasyonu ile sağlanır ve son ürün olarak CO_2 meydana gelir. Bu nedenle oksidasyonun devamlılığı O_2 'nin sürekli olarak alınıp, CO_2 'nin atılmasına yani solunuma bağlıdır⁴.

Dakika Solunumu (V_E): Solunum iki safhadan oluşmaktadır. Havanın akciğere alınması (soluk alma), havanın akciğerlerden dışarı verilmesidir (soluk verme). Dakika solunum bir dakika içinde akciğere alınan veya verilen hava miktarına denir ki çoğunlukla bir dakikada çıkarılan hava miktarı ile belirlenmektedir^{4,14}.

Solunum hacmi tek bir soluk alma ile alınan veya verilen hava miktarıdır. Solunum frekansı ise bir dakikadaki solunum sayısıdır. Dakika solunumu ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$V_E = SH \times f$$

V_E = Dakika Solunumu (lt/dk)

SH = Solunum Hacmi (lt)

f = Solunum Frekansı (1/dk)

2.2.1. Solunum Sisteminin Fizyolojik Anatomisi

Solunum sistemi bir gaz değişim organı (akciğerler) ve akciğere hava girişini ve çıkışını (solunum) sağlayan bir pompadan oluşur. Pompa göğüs kafesi, göğüs boşluğu, hacmi arttıran ve azaltan solunum kasları, kasları beyine bağlayan sinirler ve kasları denetleyen beyin bölgelerinden oluşur⁴.

Solunum sistemi, sırasıyla burun, ağız, yutak (farinks), gırtlak (larinks), soluk borusu (trakea), bronşlar ve alveol adı verilen keseciklerden oluşur. Solunumla hava alındığında bu yapıları, sırasıyla geçer ve alveollere ulaşır.

Solunum sisteminin gırtlaktan sonra hava yolları ve alveoller olmak üzere ikiye ayrılır. Hava yolları soluk borusu ile başlar, dallanmalar göstererek akciğerlerin içine doğru ilerler. Dallanmalar sırasında tüplerin çapları daralır, boyları kısalır ve alveol adı verilen keselerde sonlanırlar⁴.

Üst solunum yolları yani ağız, burun, gırtlak, yutak ve soluk borusu havanın filtre edilmesi vücut ısısına ulaştırılması ve nemlendirilmesi gibi önemli işlevleri yerine getirirler. Soluk borusundan itibaren hava yolu sağ ve sol olmak üzere iki ana bronşla devam eder, bronşlar daha küçük bronşlara dallanır ve bronşiol adı verilen küçük soluk borucuklarında sonlanır. Öyle ki alveollere gelene kadar solunum yolları 20-25 kez bölünmeye uğrar⁴.

Solunumun soluk borusundan başlayarak bronşiollerde sonlanan bölümüne anatomik ölü boşluk adı verilir. Bu bölümde gaz değişimi yapılamamakta sadece iletici hava yolu olarak kullanılmaktadır. Her bir solunumla alınan 500 ml havanın 150 ml'si bu bölümde kalmaktadır⁴.

Akciğerlerde gaz değişimi yani O₂ ve CO₂ değiş tokuşu sadece alveollerde gerçekleşmektedir. Alveollerin etrafı ise kılcal damarlarla çevrelenmiş durumdadır ve O₂-CO₂ difüzyonu alveoller ile kılcal damarlar arasında gerçekleşmektedir⁴.

İnsanın akciğerlerinde 300 milyondan fazla alveol vardır bu alveollerin toplam yüzeyi 70- 100 m² arasında değişir. Dinlenik durumunda iken dakikada yaklaşık 250 mlt O₂ alveollerden kana ve 200 mlt CO₂'de kandan alveole geçer. Özellikle dayanıklılık sporlarında şiddetli egzersizler sırasında oksijen taşınımı 25 kat artar⁴.

2.2.2. Dinlenik Durumda ve Egzersizde Solunum

Dinlenik durumda dakika solunumu kişiden kişiye yaş, cinsiyet, vücut yüzeyi gibi fiziksel özellikleri; iklim, sıcaklık gibi çevre şartları ve kişinin kondisyon düzeyi gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir.

Dinlenik durumda soluk hacmi 400-600 mlt, solunum frekansı 12-18/dk arasındadır.

Soluk hacmini ortalama 500 mlt ve soluk frekansını da dakikada 12 olarak kabul edersek, dinlenik durumda dakika solunumu;

$$\begin{aligned}V_E &= SH \times f \\ &= 0,5lt \times 12 \frac{1}{dk} \\ &= 6lt/dk\end{aligned}$$

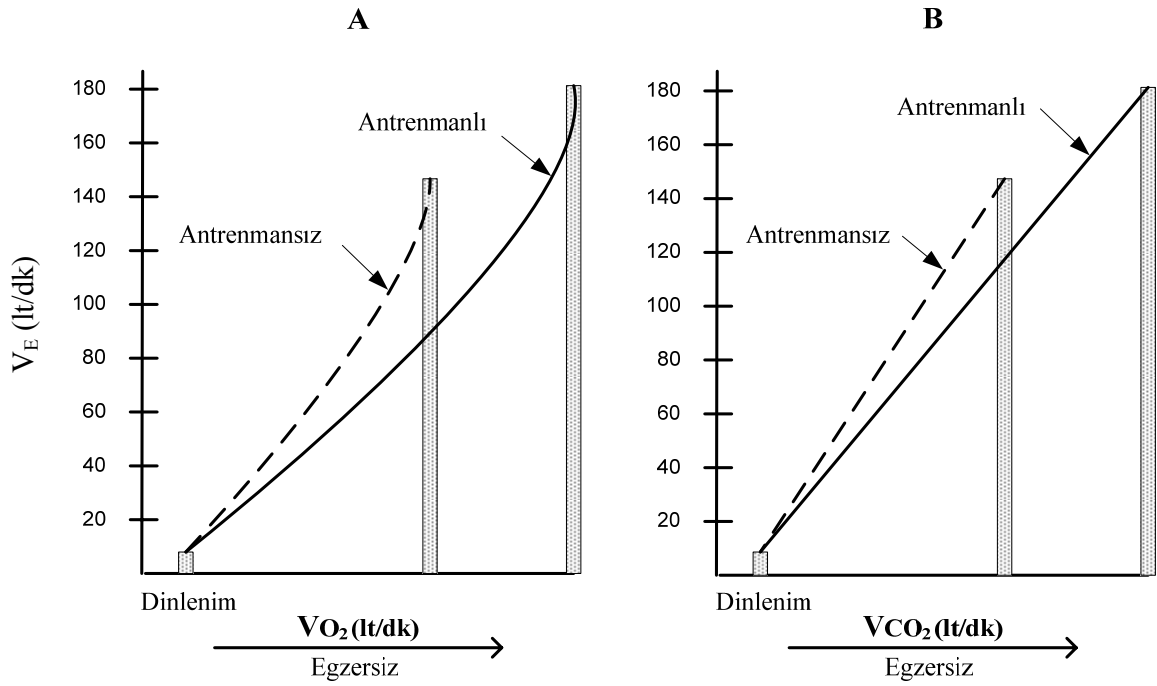
olarak hesaplanır.

Sportif etkinlik sırasında dokuların oksijen gereksinimi arttıkça, solunum sistemiyle vücuda gelen oksijen miktarının da artması gerekir. Egzersiz sırasında aktif dokuların oksijen ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ve oluşan karbondioksitin uzaklaştırılabilmesi için kardiyovasküler ve solunum sistemlerinin birbiriyle entegre şekilde çalışması zorunludur. Dolaşıma bağlı değişmeler aktif olan kasların kan akımının artırılması ile sağlanır. Ayrıca egzersiz yapan kasların kandan O₂ alışında bir artış görülmekte ve solunumdaki artış ile birlikte fazladan O₂ sağlanmakta ve CO₂ fazlalığı atılmaktadır⁴.

Egzersizde akciğerden kana giren O₂ miktarı artar, çünkü her birim kana eklenen O₂ miktarı ve dakika başına akciğer kan akımı artar. Kan akımı 25-30 lt/dk'ya kadar yükselir ve alveolden kana O₂ difüzyonunun artışı ile birlikte kana daha çok oksijen

verilir. Dinlenik durumda genç bir erişkin erkekte kana verilen O_2 miktarı 250 ml/dk iken egzersiz sırasında bu değer sedanterlerde 3 lt/dk, sporcularda ise 5 lt/dk'ya ulaşmaktadır. Buna bağlı olarak CO_2 atılımı da 200 ml/dk'dan 8 lt/dk'ya kadar yükselmektedir⁴.

Egzersizde solunumun artması hem soluk frekansı ve hem de soluk hacminin artışı ile sağlansa da sporcularda ventilasyonun artışından soluk hacminin artışı sorumludur. Solunum hacminde meydana gelen artış gereksinimi karşılayamaz ise solunum frekansında da artış görülmektedir⁴.



Şekil 2.5: Antrenmansız ve antrenmanlı kişilerde egzersizin dakika solunumuna etkileri. A'da V_E ve VO_2 'nin yakın ilişkisi ve B'de VCO_2 ile ilişkisi gösterilmiştir. Maksimal bir egzersizde V_E 'nin VO_2 'ye göre oranı değişken ama VCO_2 'ye göre oranının sabit olduğu görülmektedir.

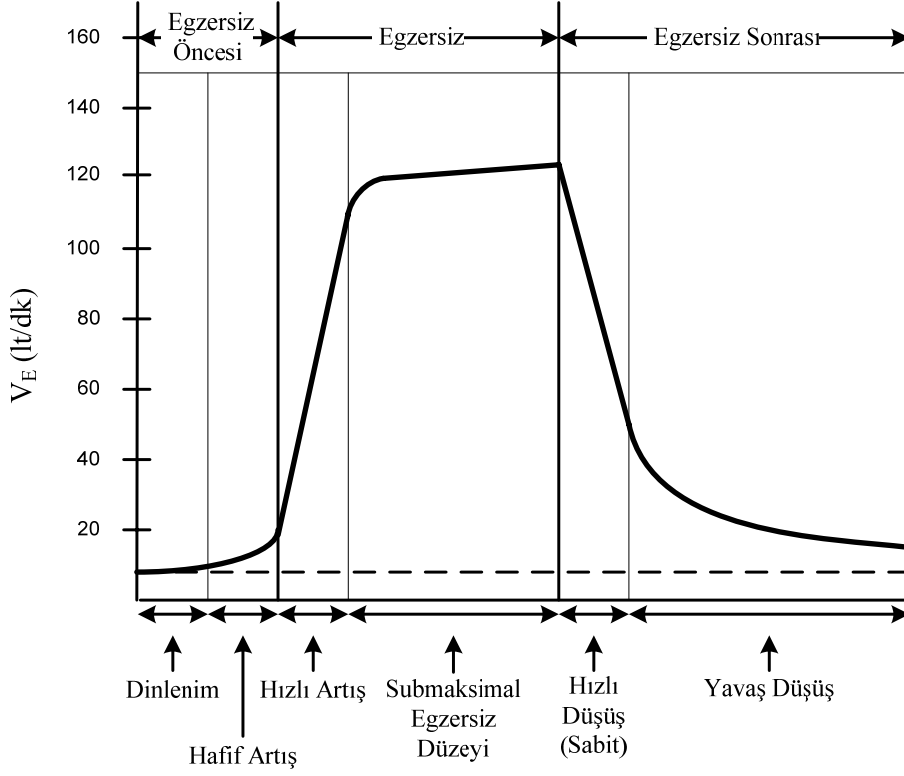
Sporcular sedanterlere göre egzersiz esnasında daha düşük soluk frekansına sahiptirler. Bu durum dayanıklılık sporcularında daha belirgindir. Maksimal egzersizlerde soluk frekansı dakikada 40-50'ye ulaşabilir¹⁸. Soluk hacmi de yaklaşık 3 lt'yi bulabilir. Bununla birlikte solunum dakika hacmi 100 lt üzerinde bir değere ulaşır ki, (erkekler de 180 lt/dk, bayanlarda 130 lt/dk) bu da dinlenik durumda 6 lt/dk olan solunum hacminde meydana gelen 25-30 katlık bir artışı gösterir⁴.

Egzersize başlamadan hemen önce solunumda artış görülür. Bu artışa serebral korteksin egzersiz öncesi yapmış olduğu uyarılar neden olmaktadır^{4,14,17}. Egzersizin başlaması ile birlikte ilk bir kaç saniye içinde kas, tendon ve eklemlerdeki reseptörlerden kaynaklanan sinir uyarılarına bağlı olarak solunumda hızlı bir artış meydana gelmektedir. Bundan sonraki artış ise egzersizin şiddeti ile ilgilidir. Orta dereceli (submaksimal) bir egzersizde solunum artışı büyük ölçüde solunum hacmindeki artışa bağlıdır⁴.

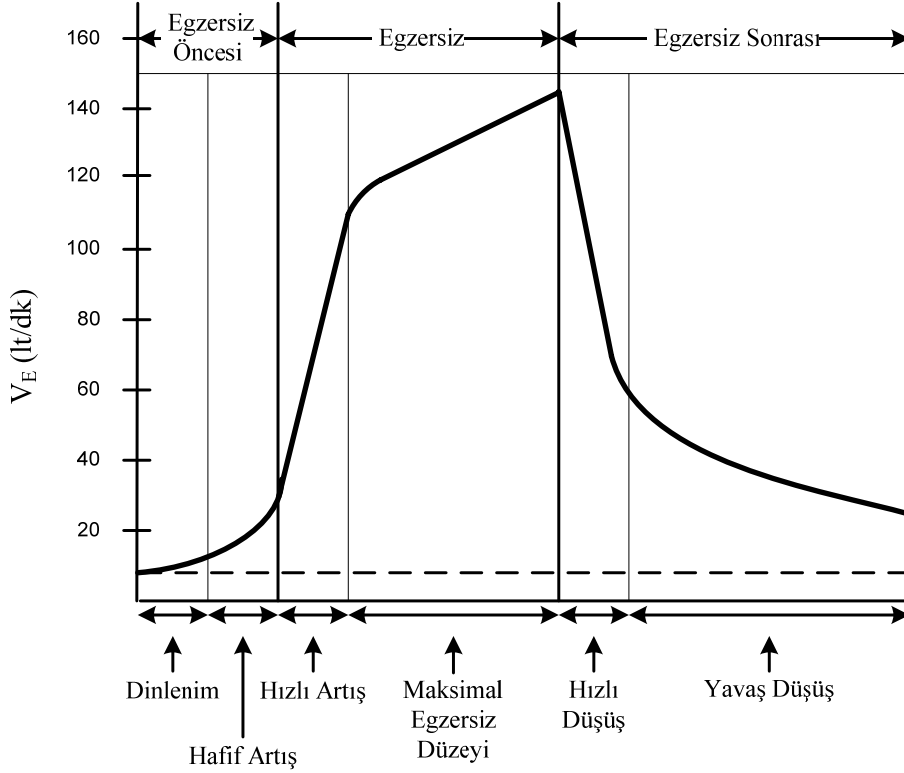
Maksimal egzersizlerde soluk hacmindeki artışa soluk frekansında meydana gelen artışlar da eşlik eder. Maksimal egzersizlerde kararlı denge oluşmadığı gibi asit ve CO₂ üretimindeki artışlara bağlı olarak solunum daha da artar⁴.

Egzersiz biter bitmez solunumda çok hızlı bir düşüş görülür. Çünkü kas, tendon ve eklemlerdeki reseptörlerden kaynaklanan impulslar durmuştur. Daha sonraki dinlenme dakikalarında ise bu hızlı düşüş yerini yavaş ve kademeli bir düşüşe bırakmıştır. İş yükü (egzersiz) ne kadar şiddetli ise solunumun dinlenik durumdaki düzeyine dönüşü o kadar geç olur. Egzersiz sonrasında soluk frekansı O₂ borcu ödeninceye kadar bazal düzeye inmez. Egzersiz sonrası solunumu etkileyen O₂ ve CO₂ değil aksine laktik asit birikiminden dolayı artan H⁺ yoğunluğudur. Laktik asit ve dolayısıyla H⁺ iyonlarının uzaklaştırılması ile birlikte solunum fonksiyonları da bazal duruma döner⁴.

A (Submaksimal Egzersiz)



B (Maksimal Egzersiz)



Şekil 2.6: Egzersiz öncesinde, egzersiz sırasında ve egzersiz sonrasında solunum.

2.2.3 Akciğer Hacim ve Kapasiteleri

Akciğer hacim ve kapasiteleri statik ve dinamik olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

2.2.3.1 Statik Akciğer Hacimleri

▪ **Solunum Hacmi (TV):** Dinlenik durumdaki bir insanın akciğerlerine aldığı veya verdiği hava miktarıdır. Genel olarak verilen hava miktarı ile belirlenir. Yaklaşık 500 ml'tir⁴.

Yaş, boy, vücut ağırlığı, cinsiyet gibi değişkenler solunum hacmini etkiler. Ancak vücut ağırlığı bilindiği takdirde pratik olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{Solunum Hacmi(mlt)} = 0,00745 \times \text{Vücut Ağırlığı(gr)}$$

Çıkan sonuç yaklaşık ve tahmini bir değerdir. En geçerli ölçüm spirometre yardımı ile yapılır.

▪ **Soluk Alma Yedek Hacmi (IRV):** Normal bir soluk almanın ardından akciğerlere zorlayarak alınabilen maksimum hava miktarıdır. Yaklaşık 3 lt kadardır.

▪ **Soluk Alma Kapasitesi (IC):** Solunum hacmi ve soluk alma yedek hacminin toplamıdır. Kısacası akciğerlere soluk alma ile doldurulabilen maksimum hava miktarıdır.

▪ **Soluk Verme Yedek Hacmi (ERV):** Normal bir soluk vermenin ardından zorlayarak ikinci bir soluk verme ile akciğerlerden çıkarılan maksimum hava miktarıdır. Yaklaşık 1,1 lt kadardır.

▪ **Tortu Hacim (RV):** Akciğerlerden zorlu soluk vermeyle dahi çıkarılamayan hava miktarına denir. Yaklaşık 1200 ml gibi bir değerdir.

▪ **Fonksiyonel Tortu Hacim (FRC):** Tortu hacim ve soluk verme yedek hacminin toplamıdır. Normal soluk vermenin ardından (zorlama olmadan) akciğerde kalan hava miktarıdır. Yaklaşık olarak 2,4 lt'dir.

- **Vital Kapasite (VC):** Maksimal bir soluk almanın ardından maksimum soluk verme ile çıkabilen hava miktarıdır. Yaklaşık olarak 4,5 lt kadardır.
- **Toplam Akciğer Kapasitesi (TLC):** Akciğerlere alınabilecek maksimum hava miktarıdır. Vital kapasite ve tortu hacminin toplamıdır.

$$\begin{aligned} TLC &= VC + RV \\ &= 4,5 + 1,2 \\ &= 5,7 \text{ lt} \end{aligned}$$

2.2.3.2 Dinamik Akciğer Hacimleri

- **Zorlu Vital Kapasite (FVC):** Maksimum bir soluk almayı takiben zorlayarak maksimum soluk verme ile çıkarılan hava miktarıdır.
- **Zorlu Soluk Verme Hacmi (FEV₁):** Zorlu vital kapasite değerlendirilirken 1 sn içerisinde çıkarılabilen hava miktarıdır.
- **Maksimum İstemli Solunum (MVV):** Kişinin bir dakikada maksimum olarak yapılan hızlı ve derin soluma ile akciğerlerine alabildiği hava miktarıdır.

Akciğer hacim ve kapasiteleri kişiden kişiye; yaş, cinsiyet, vücut yüzeyi, antrenmanlı olup olmama gibi nedenlerden dolayı farklılık göstermektedir. Bu yüzden sporcularda vital kapasite yerine MVV ile elde edilen sonuçlara göre solunum fonksiyonlarının değerlendirilmesi daha doğrudur. Ayrıca FEV₁/FVC'nin oranının normal sağlıklı bir bireyde %80'in olması beklenir⁴.

2.2.3.3 Egzersizde Akciğer Hacimleri

Egzersizde soluk hacmi artış gösterir. Maksimal bir egzersizde bu artış 5-6 kat gibi bir düzeye çıkabilir. Dinlenik durumda 500 ml olan solunum hacmi 2,5-3 lt'ye ulaşır. Soluk frekansı da artarak dakikada 40-50 kadar ulaşır¹⁸. Böylece yaklaşık dinlenik durumda 6 lt olan solunum dakika hacmi egzersizde 150 lt/dk'nın üzerine çıkabilir⁴.

2.2.4 Egzersizin Solunuma Etkileri

Egzersizde artan metabolizma için gerekli O₂'ni sağlamak için soluk hacmi ve frekansında artış meydana gelir. Aynı şiddette yapılan egzersizde antrenmanlı sporcularda dakika soluk hacmi 200 lt/dk'ya çıkabilirken, normal kişilerde 100 lt/dk civarındadır. Bu farkın sebebi antrenmanlı kişilerde antrenmanın solunum kaslarını kuvvetlendirmesine bağlıdır. Yapılan bir araştırmada 20 haftalık bir antrenman ile solunum kaslarının dayanıklılığının %16 civarında geliştirildiği belirlenmiştir⁴.

Antrenmanlarla VO_{2max} (maksimal oksijen tüketimi) bir artış meydana gelmektedir. 7-13 haftalık bir antrenmanla VO_{2max}'da %10'un üzerinde bir artış görülür. Sağlıklı antrenmansız bireylerde dahi solunum sistemi her zaman vücudun ihtiyacından çok daha fazla oksijeni sağlayabilmektedir. O₂ difüzyon kapasitesi oksijenin alveollerden kana geçiş hızının bir göstergedir. Antrenmanın en belirgin etkisi sporcularda O₂ difüzyon kapasitesini artırmasıdır. O₂ difüzyon kapasitesi, egzersizde sedanterlerde 48 ml/dk iken, yüzücülerde 71 ml/dk, kürekçilerde 80 ml/dk olarak bulunmuştur^{4,17}.

Yapılan düzenli antrenmanlar ile sporcularda soluk hacmi, dinlenik durumda ve submaksimal egzersizlerde pek değişmez ise de maksimal bir egzersizde belirgin artış görülür. Bu belirgin artış soluk frekansı ve solunum dakika hacminde de görülür⁴.

2.2.5 Solunum ve Anaerobik Eşik

Anaerobik eşik tanımı 1964 yılında ilk olarak Wasserman ve Mcniroy tarafından ortaya atılmış, sonraki yıllarda anaerobik eşik kavramı tartışılır hale gelmiştir. Kardiyovasküler sistemin amacı O₂'yi akciğerlerden hücrelere taşımak ve oluşan CO₂'yi uzaklaştırmaktır. Kaslara taşınan O₂ miktarının yürüyüşte yaklaşık 20 kat, jogda 40 kat ve orta şiddette bir koşuda 60 kat veya daha fazla artması gerekir. Egzersiz şiddeti artıkça kaslara taşınan O₂ miktarı artarken, gerekli enerji aerobik sistemle sağlanır. Egzersiz şiddeti belirli noktayı aştığında ise aerobik sistem yetersiz kalmakta ve enerji

üretimine anaerobik metabolizmalar katılmaktadır. ATP yenilenmesine anaerobik metabolizmaların da katıldığı bu egzersiz şiddetine anaerobik eşik adı verilir⁴.

Anaerobik eşikte enerji üretiminin aerobik yoldan tamamen anaerobik yola geçmesi söz konusu değildir. Anaerobik eşik sadece anaerobik enerji yolunun daha belirgin kullanımı sonucunda kasta oluşan laktatın kana geçişinin hızlanması ve kanda laktatın uzaklaştırılmasının yavaş olmasından dolayı kan laktat düzeyinin yükselmeye başlamasıdır⁴.

Anaerobik eşik terimi, aerobik enerji üretiminin gereksinimi karşılayamadığı ve anaerobik metabolizmanın da devreye girdiği iş yoğunluğu ya da oksijen kullanım düzeyini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Laktat eşik değerinde büyük kişisel farklılıklar görülse de 2,5-4 mmol/l arasında bir değer olduğu kabul edilmektedir⁴.

Antrenmanlı kişilerde (özellikle dayanıklılık sporlarında) VO_{2max} 'ın %80-85'i gibi bir egzersiz şiddeti anaerobik eşığe karşılık gelirken, sağlıklı antrenmansız kişilerde VO_{2max} 'ın %55-65'i anaerobik eşığın geçildiği egzersiz şiddetine denk gelmektedir⁴.

VO_{2max} maksimal bir egzersizde dokuların kullandığı maksimum O_2 miktarıdır. VO_{2max} 'a denk gelen egzersiz şiddetinde kan laktat konsantrasyonu 8-12 mmol arasındadır. Çok iyi performansla sahip sporcular bile egzersize 10-12 dakika devam edebilirler. Anaerobik eşik ise bu sporcularda VO_{2max} 'ın %85-90 seviyesindedir⁴.

Anaerobik eşik yaş ve cinsiyete göre de farklılık göstermektedir. Gençler yaşlılara, erkekler kadınlara göre daha yüksek anaerobik eşik değerine sahiptirler.

Anaerobik eşik sporcunun uygulayacağı en uygun antrenman şiddetinin belirlenmesinde de kullanılır. Maksimal oksijen tüketiminin %80'ni üzerinde yapılan çalışmalarda anaerobik eşik yükseltilmekte, böylece sporcu aynı egzersizde yorgunluk duymaksızın etkin ve yüksek bir yoğunlukta devam ettirmektedir. Kısacası sporcunun anaerobik eşığı ne kadar yüksek ise egzersizde gerekli olan enerjinin büyük bir kısmını aerobik yoldan sağlayarak, anaerobik enerjiyi yedek olarak tutmakta, böylece laktik asit birikimine bağlı olarak yorgunlukta geciktirilmektedir. Anaerobik eşığı yükseltici çalışmalarla (dayanıklılık antrenmanları) sporcularda anaerobik eşik VO_{2max} 'ın %90'ına kadar çıkartılabilmektedir⁴.

2.2.6 Solunum ve Aerobik Performans

Bazı özel durumlar dışında solunum aerobik performansı sınırlayıcı bir faktör değildir. Yaşlı bireylerdeki düşük solunum oranının maksimal O₂ alınımını sınırlayabileceği gibi yükseltiye bağlı olarak ortaya çıkan hipoksik şartlarda solunum için aerobik performansı sınırlayıcı bir faktör teşkil etmektedir. Bunlara rağmen genel olarak solunumun aerobik performansı sınırlamadığı kabul edilmektedir. Aşağıda açıklanan bilgilerde bunu doğrulamaktadır⁴.

- Egzersizde ventilasyon 6 lt/dk'dan 200 lt/dk'ya (yaklaşık 33 kat) artarken, dolaşım yani kalpten pompalanan kan miktarı (kalp debisi) yaklaşık 5 lt/dk'dan 30 lt/dk'ya (6 kat) yükselir.

- Egzersizde O₂ kullanımı da artar. Dinlenik durumda dokuda 250 ml/dk O₂ kullanılırken bu oran egzersizde 5 lt/dk'ya kadar yükselir.

- Egzersiz sırasında solunum MVV düzeyine ulaşamaz. MVV'nin ancak %75'i gibi bir düzey egzersizde kullanılmaktadır. Dolayısıyla en zorlu egzersiz sonrasında bile daha fazla solunum yapabilecek şartlar akciğerde her zaman vardır.

- Dinlenik durumda alveollerden kana O₂ difüzyonu 23 ml/dk iken bu oran egzersizde 80 ml/dk'ya çıkar.

Bu bilgilere dayanarak solunum sisteminin anormal şartlar dışında dokulara O₂ ihtiyacını sağladığı, hatta kullanılabilenden daha fazlasını akciğerlerde bulunduğu fakat dolaşım sisteminin kapasitesine bağlı olarak dokulara O₂ taşınıldığı kabul edilmektedir.

Bu yüzden aerobik performans solunum sistemince değil, aksine dolaşım sistemi tarafından sınırlanmaktadır^{4,14,15,17}.

2.2.7 Antrenman ve Solunuma Etkileri

Genelde akciğer hacim ve kapasiteleri çok az değişir. Solunum hacmi dinlenik durumda ve submaksimal egzersizde değişmez ise de maksimal egzersizlerde artabilir. Solunum oranı (V_E/VO_2) ancak maksimal egzersizde artar⁴.

Pulmoner difüzyon kapasitesi sadece maksimal egzersiz düzeyinde artarken, bu artışlara çok az bir artışta olsa arteriyel kandaki O₂ ve hemoglobin miktarının da artışı

eşlik eder. Ayrıca antrenmanla maksimal egzersizdeki a-v O₂ farkı arttırılabilir. Bu artış dokuya daha fazla O₂'nin bırakılmasının bir sonucudur⁴.

Dayanıklılık antrenmanları laktat eşiğini yükseltir. Laktat eşiğinin yükselmesi daha yüksek egzersiz şiddetinde ve daha yüksek O₂ tüketiminde çalışmayı sağlar.

Ayrıca solunumsal değişim oranı (R) (dokuda üretilen CO₂'in tüketilen O₂'ne oranı) submaksimal egzersizde düşerken, maksimal egzersizde arttır.

Antrenmanın en önemli etkisi VO_{2max}'ı arttırmasıdır⁴.

Dayanıklılık antrenmanlarının oksidatif potansiyeli arttırması ile ilgili iki hipotez öne sürülmektedir. Birincisi; kasın toplam oksidatif potansiyeli vücudun toplam oksijen tüketimini (VO_{2max}) sınırlamaktadır. Kasta mitokondri yoğunluğunun artışı VO_{2max}'ın artışı da zorunlu kılmaktadır. Antrenmanla a-v O₂ farkının artışı mitokondri yoğunluğun artışına bağlı olarak artan O₂ ihtiyacını karşılamaya yeterlidir⁴.

- Mitokondri yoğunluk artışı VO_{2max} artışından fazladır.
- Kalp debisinde meydana gelen artış VO_{2max}'da meydana gelen artıştan daha fazladır.
- VO_{2max} artışı sadece çalışan kaslarda değil diğer kaslarda da meydana gelir.
- Özellikle yaşlı bireylerde meydana gelen VO_{2max} artışı kalp debisindeki artışa bağlıdır.
- Sporun bırakılması ve aktif olarak devam edilmemesi durumunda mitokondriyal yoğunlukta meydana gelen azalma, VO_{2max}'da meydana gelen azalmadan yüksektir.

İkinci hipotez ise, oksidatif kapasitenin artışının metabolik düzenlemeler ve hücre içi materyal ve maddelerin etkin biçimde kontrol edilebilmesi açısından oldukça önemli olduğudur. Bunlarda;

- Standart bir egzersizde güç üretimi ve yorgunluğun oluşum süresinde artış dayanıklılık antrenmanında VO_{2max} artışından daha sonra meydana gelir.
- Dayanıklılık antrenmanlarından sonra belirli bir yükteki egzersizde CP ve glikojen kullanımı azalırken yağların kullanımı artmaktadır.

Bu sonuçlar mitokondri yoğunluğunun artışının kasın çalışma kapasitesinin ve VO_{2max}'ın artışı açısından oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Aerobik kapasitenin artışı mitokondri sayısının ve hacminin artışına bağlıdır⁴.

2.3 Kalp ve Egzersiz

Kalp ve dolaşım sisteminin görevi gerekli kan akımını sağlayarak vücut dokularının beslenmesini ve homeostazisini sağlamaktır. Egzersizle birlikte aktif kasların O₂ kullanımı artar ve daha çok besin maddesine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle metabolik süreçler hızlanır ve daha çok son ürün meydana gelir, vücut ısısı ve ter miktarı artar. Şiddetli egzersizlerde H iyonlarının kandaki ve kastaki yoğunluğu artar ve bu durum kas-kan pH'nın düşmesine neden olur. Vücudun artan metabolik gereksinimlerini karşılamak ve egzersize devam edebilmek için kardiyovasküler sistemde de adaptasyonlar oluşturulması gerekmektedir⁴.

Fiziksel egzersizlere dolaşım sisteminin uyumu yaş, cinsiyet ve form durumu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Egzersizde artan metabolik gereksinimler kalp debisi ve kas kan akımının artışı ile sağlanabilmektedir⁴.

2.3.1 Kalp Debisi

Kalp debisi kalbin bir dakikada pompalayabildiği kan miktarıdır. Kalp debisi kalbin kontraktilitesine ve bir dakikadaki atım sayısına bağlıdır. Kalbin her bir kasılmada pompalayabildiği kan miktarı yaklaşık 70 ml, dakikadaki atım sayısı ise dinlenik durumda yaklaşık olarak 70'dir. Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Kalp Debisi} &= \text{Atım Hacmi} \times \text{Kalp Atım Hızı} \\ &= 70 \text{ ml} \times 70 \text{ atım/dk} \\ &= 4,9 \text{ lt/dk} \end{aligned}$$

olarak bulunur^{4,16,17}.

Dinlenik durumda ve egzersizde kalp debisi farklıdır. Artan kas kan akımı ihtiyacına göre kalp debisi artar ve daha fazla kan periferik pompalanır. Sadece bir bireyde kalp debisi artışı kalp atım hızının artışı ile sağlanırken; antrenmanlı bir sporcuda bu artış kalp kontraktilitesinin artışı ile sağlanır. Çünkü antrenmanlarla kalp kası da iskelet kası gibi kasılma yeteneğini artırır ve bir kasılmada daha güçlü

kontraktilite ile aorta daha fazla kan gönderebilir. Bu uzun süreli adaptasyon dinlenik durumda da sporcu ile sedanter bireyin kalbinin özelliklerini farklı kılar. İyi antrene edilmiş performans sporcularında atım hacminin dinlenik durumda 80-120 ml'ten egzersizde 120-150 ml'te gibi bir değere ulaşır^{4,16}.

Egzersizde sporcu olmayanlarda kalp debisi 4 kat artarken, aktif sporcularda 7 kat artabilmektedir. Sporcularda VO_{2max} 'ın yüksek oluşunun en önemli etkeni kalp atım hacminin artmasıdır. Aktif sporcularda meydana gelen kalp kasının hipertrofisi ile kalp hacmi 800 cc'den 1000 cc'ye kadar artabilmektedir. Bunun sonucu olarak kalp debisi de artmaktadır. Kalp debisi egzersizde VO_{2max} ı sınırlayan bir faktördür¹⁹.

2.3.2 Kalp Atım Hızı ve Önemi

Kalbin bir dakikadaki kasılma sayısıdır. Dinlenik durumda kalp atım hızı kişiden kişiye ve aynı kişide farklı zamanlarda yapılan incelemelerde bile değişiklik gösterir. Ancak dinlenik durumda kalp atım hızı yaklaşık 70 atım/dk olduğundan normal kabul edilmektedir. Bu rakam sporcularda daha düşüktür. Egzersizde ise kalp atım hızında meydana gelen artış spor yapmayanlarda daha fazladır. Sporcuların kalp atım hızları en yüksek düzeye daha geç ulaşır. Bu yüzden dayanıklılık sporcularında görülen düşük kalp atım hızını anormal yorumlamamak gerekir⁴.

Egzersiz sırasında ve sonrasında kalp atım hızı spor fizyolojisi yönünden oldukça önemli bilgiler verir. Ancak dinlenik durumda kalp atım hızı bazı faktörlerden etkilenir ki bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- **Yaş:** Doğum sonrası 130 atım/dk'dan, ergenlik sonrası 72 atım/dk'ya kadar düşen kalp atım hızının egzersizde erişebileceği en üst düzey de yaşla birlikte düşer. Egzersizde bireyin ulaşacağı maksimum kalp atım hızı genelde 220-yaş formülü ile hesaplanır.

- **Cinsiyet:** Erişkin bayanların kalp atım hızları erkeklerinkinden 5-10 atım/dk daha yüksektir.

- **Duruş:** Vücudun pozisyonu da kalp atım hızını etkiler. Yatar durumdan ayağa kalkınca kalp atım hızında 10-12 atım/dk'lık bir artış görülür.

- **Yiyecek Alımı:** Sindirim sırasında kalp atım hızı yüksektir.

- **Psikolojik faktörler:** Heyecan, sevinç, üzüntü v.b kalp atım hızını artırır.
- **Vücut Isısı:** Vücut ısısının artışı kalp atım hızını artırır.
- **Çevresel Faktörler:** Hava sıcaklığı egzersiz sırasında kalp atım hızı ve kardiyovasküler sistemi etkileyen en önemli çevresel faktördür. Egzersiz sırasında sıcaklığa bağlı olarak kalp atım hızı 10-40 atım/dk artabilir. Ayrıca nem ve hava akımı da kalp atım hızını etkiler.
- **Sigaranın Etkisi:** Araştırmalar bir tek sigara içmenin bile dinlenik durumdaki kalp atım hızının yükselmesine sebep olduğunu ortaya koymuştur.
- **Egzersiz ve Antrenmanın Etkisi:** Egzersizde kalp atım hızı egzersizin şiddetine bağlı olarak artış gösterir. Bu artış dokuda artan O₂ ve diğer metabolik ihtiyaçları karşılar. Kalp atım sayısı ile VO_{2max} arasında yüksek bir ilişki vardır. Sporcuların atım hacimleri fazla olduğu için aynı kalp atım hızıyla daha yüksek O₂ tüketebilirler. Bu yüzden egzersizde kalp atım hızının düzeyi atım hacmi ve O₂ tüketimine bağlıdır. Ayrıca aerobik antrenmanlar ile kalp atım hızı 12-15 atım/dk azaltılabilir⁴.

2.3.3 Kalp Atım Hızı ve Kalp Debisi İlişkisi

Kalp debisinin kalp atım hızı ile atım hacminin çarpımına eşit olduğu belirtmiştik. Dinlenik durumda kalp atım hızının 70 atım/dk, atım hacminin de 70 ml olduğunu kabul edersek normal bir bireyde kalp debisi 4,9 lt/dk'dır^{4,17}.

Ancak bu durum sporcularda farklılık gösterir, bunun sebebi de yapılan antrenmanlar ile atım hacminin artışıdır. Sporcularda kalpten bir atımda pompalanan kan miktarı arttıkça, dinlenik durumdaki kalp atım hızı da buna bağlı olarak azalır. Bunun nedeni ise kalbin atım hacminin artmış olmasına karşın, dinlenik durumdaki kalp debisinin değişmemesidir. Sporcularda bu yüzden atım hacmi yaklaşık 100 ml'ye yükselirken kalp atım hızı ise 50 atım/dk gibi bir değere kadar düşebilir^{4,17}.

Atım hacmi, metabolizma hızının artışıyla duyulan ihtiyaç nedeni ile artar, egzersizde özellikle bu düzeye kadar olan kan akımındaki artış sadece kalp atım hızının artışı ile sağlanılır. Kalp atım hızı egzersiz sırasında O₂ alımıyla orantılı olarak değişir. Aynı iş yükünde egzersiz yaparken daha düşük kalp atım hızına sahip bir kalp daha

verimli çalışıyor demektir. Çünkü egzersizin yüklenme şiddeti sabitken kalp atım hızı artıyor ise kalbin O₂ alımı yükselmektedir. Kalp atım hızının yükselmesi kalbin kan ile dolma zamanını kısaltır. Bu yüzden kalp atım hızı egzersiz şiddetinin meydana getirdiği baskının derecesini yansıtır. Dolayısıyla, kalp atım hızı bakarak egzersizin şiddetini rahatlıkla tahmin edilebilir ve antrenmanlarda yüklenmeler kalp atım hızına göre ayarlanabilir⁴.

Kan dolaşımından söz ederken iskelet kası kan akımı ve miyokardın kan akımını ayırmak gerekir: iskelet kasları kasılmaya başladıklarında lokal kimyasal faktörler aracılığı ile kas arteriyelleri uyarılarak vazodilatasyon meydana gelir. Bu kimyasal faktörlerin en önemlisi oksijen konsantrasyonunun azalmasıdır. Ayrıca potasyum iyonları, asetilkolin, ATP, laktik asit ve karbondioksit de diğer vazodilatörler arasındadır¹⁷.

Koroner olarak egzersizde kalp parasempatik etkilerden kurtulur ve sempatik etkiler artar, kalp hızının ve kontraktilitesinin artışı da bu yolla sağlanır. Egzersizde kalp kasının da kan ihtiyacı arttığından koroner kan akımı da artar. Normal koroner kan akımı 225 ml/dk'dır, yoğun egzersizde bu rakam 3-4 kat artar¹⁷.

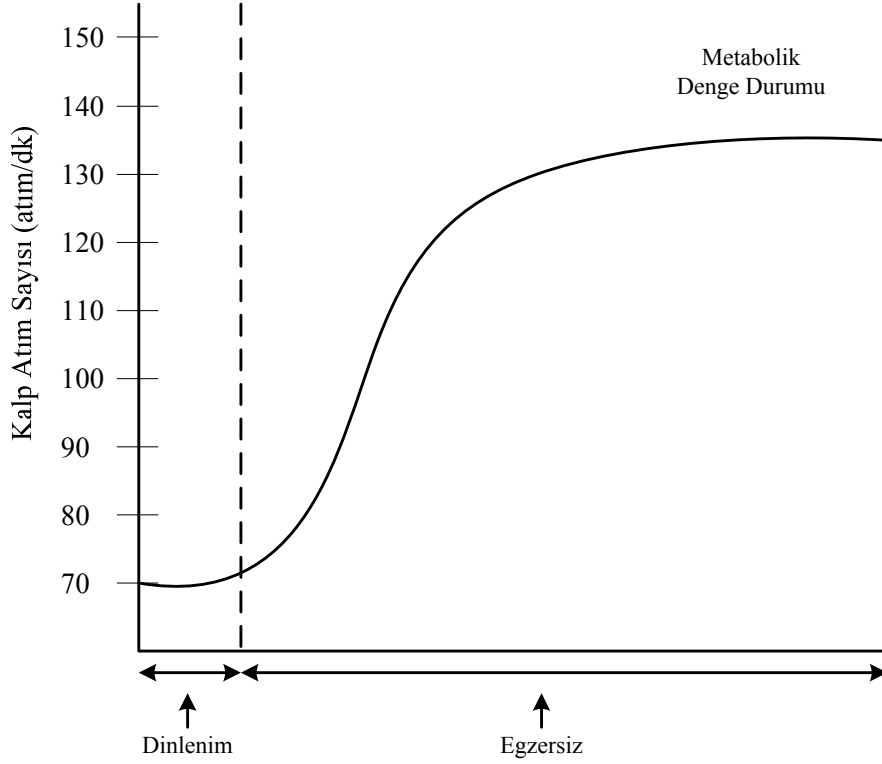
2.3.3.1 Egzersizin Başlangıcında Kalp Atım Hızı

Egzersizin başlaması ile birlikte kalp atım hızı hızla yükselir. Sempatik nöronlar yoluyla böbrek üstü bezinde norepinefrin adı verilen hormonun salınması sağlanarak Sino-atriyal (SA) düğümü uyarılır. Böylece kalp atım hızı artar.

2.3.3.2 Egzersizde Kalp Atım Hızı

Egzersizin başlaması ile birlikte artan kalp atım hızı ve buna bağlı olarak kalp debisinde önce hızlı bir yükselme görülür. Egzersiz hafif veya orta şiddette ise kalp atım hızı 30-60 sn içinde belirli bir seviyeye (buna metabolik denge durumu adı verilir) erişir. Kalp atım hızının yükselmesi durur. Bu durumda dokulara sağlanan O₂ ve besin

maddeleri ile tüketilen miktarlar dengededir. Bu kalp atım hızı ile egzersiz tamamlanır. Eğer egzersizin şiddeti yüksek ise kalp atım hızı egzersizin sonuna kadar yükselir⁴.



Şekil 2.7: Egzersiz ve kalp atım sayısı

Egzersiz sonrasında ilk 2-3 dk'da kalp atım hızı hemen hızla yavaşlar. Bu hızlı yavaşlamadan daha yavaş bir kalp atım hızı düşüşü görülür ki, bu yavaş düşüş düzeyi ve süresi yapılan egzersizin şiddeti ve sporcunun kondisyonu ile doğru orantılıdır⁴.

Kalp atım hızı egzersizin türü ve düzeyine göre de farklılık göstermektedir. Kalp atım hızı dinamik egzersizlerde statik egzersizlere göre daha çok artış gösterir. Ayrıca kalp atım hızı egzersizin şiddeti ile doğru orantılıdır. Egzersizin süresi de kalp atım hızını etkileyen diğer bir faktördür⁴.

2.3.4 Egzersizdeki Kalp Atım Hacmine Antrenmanın Etkisi

Sporcuların dinlenik durumda ve egzersizde atım hacimleri yüksektir. Egzersize başlanması ile atım hacminde artış görülür. Maksimum atım hacmine VO_{2max} tüketiminin %40-50'sinde ulaşılır. Bu da 120-140 kalp atım hızında gerçekleşir. Sedanterlerde dinlenik durumdan egzersize geçilmesi kalp atım hacminde az bir artışa neden olur. Bireylerde kalp debisi artışı daha çok kalp atım hızının artışına bağlıdır⁴.

Sporcularda ise kalp debisinin artışı hem atım hacminin hem de kalp atım hızının artışına bağlıdır. Ayrıca üst düzey sporcularda O_2 taşınmasını etkileyen faktör atım hacmidir. Sporcularda egzersizdeki kalp atım hacmi artışı dinlenik durumdaki atım hacminde %50-60'lık bir artışa karşılık gelir⁴.

Atım Hacmi ve VO_{2max} : VO_{2max} 'nin sporcularda yüksek olmasının nedeninin atım hacmi ve kalp debilerinin yüksek olmasına bağlı olduğu görülür. Sporcularda VO_{2max} sedanterlere göre %62 daha fazladır ve atım hacimleri de buna paralel olarak %60 fazladır. Sporcular ve sedanterlerin kalp atım sayıları birbirine yakın olduğuna göre kalp debisinin ve VO_{2max} 'nin sporcularda yüksek oluşu kalp atım hacmine bağlıdır⁴.

2.3.5 Antrenmanın Kalp Üzerindeki Etkileri

Antrenmanla kalpte meydana gelen uzun süreli değişimler aşağıdaki başlıklar halinde toplanmıştır.

- **Kalp Atım Hızı:** Antrenman düzeyi ve süresi uzadıkça aynı egzersiz şiddetinde ki kalp atım hızı düşer, aynı egzersiz şiddetinde antrenmanlı sporcuların kalp atım hızları sedanterlere göre daha düşüktür. Yapılan çeşitli araştırmalarda düzenli yapılan antrenmanlarla kalp atım hızında anlamlı azalmalar elde edilmiş ve kalbin kasılma gücü, atım hacminde meydana gelen artışlardan kaynaklandığı belirlenmiştir.

- **Kalbin Atım Hacmi:** Sporcuların maksimum atım hacmine bağlı olarak kalp debisinde arttığı gözlemlenmiş olup, özellikle dayanıklılık sporcularında istirahat sırasında görülen düşük kalp atım hızı (50 atım/dk) kalbin atım hacminin artışına bağlanmaktadır. Sedanter bireylerde 70 ml gibi bir değerde olan atım hacmi

sporcularda düzenli antrenmanlar sonucu 120 ml gibi bir düzeye çıkmaktadır. Özellikle atım hacminin artışı kalp atım sayısının düşüşüne neden olmaktadır.

▪ **Kalbin Hipertrofisi:** Yapılan düzenli antrenmanlar sonucu kalp kaslarında hipertrofi meydana getirildiği yolunda birçok bulgular mevcuttur. Egzersizin kalp üzerinde yarattığı etkiler yapılan antrenman çeşidine göre farklılık göstermektedir. Yapılan güç ve hız antrenmanları sonucu kalp kaslarında hipertrofi görülürken, dayanıklılık antrenmanları sonucu ise sol ventrikül hacminde büyüme görülmektedir.

Düzenli egzersizler ile kalbin hacmi ve boyutlarından da olumlu artışlar elde edilir. Hücrel proteinlerin sentezinin artışı kas fibrillerini kalınlaştırır ve her bir fibrilde kontraktıl elemanların sayısı artar. Antrenmanla boyut artışı (hipertrofi) antrenman bırakıldığında tekrar eski durumuna dönebilir⁴.

2.3.6 Egzersizde Kaslar

Egzersizin süre ve şiddetine, kas lifinin tipine (tip I lifler aerobiktir, tip II lifler anaerobiktir) göre kasta hazır ATP-CP, Glikojen laktik asit sistem ve aerobik enerji yolu kullanılmaktadır. Egzersizden sonra ise yine aktivitenin süre ve şiddetine bağlı olarak oksijen borcu ve fosfajen-glikojen depolarının yenilenmesi ortaya çıkar. Karbonhidrattan zengin beslenme ile glikojen depolarının yenilenmesi hızlandırılabilir^{16,17}.

Egzersize başlayan kas dokularının enerji gereksinimi arttığı için metabolizmaları hızlanır. Dinlenik durumda iken kas kan akımı 4 ml/dk/100 gr kas iken ağır egzersizde kasın metabolik aktivitesi 60 kat ve daha fazla ve kan akımı da 20 kat artarak 100 gr kas için 80 ml/dk olmaktadır. Dokunun bu ani kan akımı artışı arteriyoller, metarteriyoller ve prekapiller sfinkterlerin çok hızlı bir şekilde ihtiyaca uygun hareketi ile mümkün olur. Uzun sürede ise yapılan antrenmanlar ile kronik adaptasyonlar sayesinde yeni damarlar oluşarak egzersizde artan kan akımı bu yolla sağlanır^{16,17}.

2.4 Öğrenme Yöntemi

2.4.1 Danışmanlı Öğrenme

Bilgisayarların basit bir problemin çözümünde kullanılacağı zaman, istenilen çıkışın genelde bir takım girişler cinsinden açıkça elde edilebileceği yöntemdir. Sistem tasarımcısının görevi, bu yöntemi bilgisayarın takip edip istenilen etkiyi yaratacak şekilde sıralı komutlar haline getirmektir²⁰.

Bilgisayarlar daha zor problemlerin çözümünde kullanıldığı zaman, bir takım girişler cinsinden çıkışı elde etmenin bilinen bir yöntemi olmayabilir veya o yöntemi kullanmak maliyetli olabilir. Bu durumun örnekleri, değişik tepki verenlerin hassas etkileşimlerinin bilinmediği karmaşık bir kimyasal reaksiyonun modellenmesi, DNA sırasından elde edilen proteinlerin sınıflandırılması veya geri ödenecek kredi başvurularının sınıflandırılmasıdır²⁰.

Doğru çıkışın giriş verisinden elde edilebilmesi için gerekli yöntem açıkça ifade edilemediğinden, bu örnekler klasik programlama yaklaşımı ile çözülemez. Bu tür problemlerin çözülebilmesi için alternatif yol, aynen bir çocuğun spor arabaları öğrenmesi gibi (birçok araba içerisinde hangilerinin spor arabası olduğunun kendisine söylenmesi), bilgisayarın da giriş/çıkış işlevselliğini örneklerden öğrenmesidir. Programları sentezlemek için örnek kullanma yaklaşımına *öğrenme yöntemi* denir ve örneklerin giriş/çıkış çifti olduğu durum ise *danışmanlı öğrenme* olarak tanımlanır. Giriş/çıkış işlevselliğinin örnekleri eğitim verisi olarak adlandırılır²⁰.

Giriş/çıkış çiftleri genelde girişler ile çıkışlar arasında fonksiyonel bir eşleşme yapmalarına rağmen, çıkışlar gürültü tarafından bozulursa bu eşleşme sağlanamaz. Girişlerden çıkışlara bir fonksiyon varsa, bu fonksiyon hedef fonksiyon olarak ifade edilir. Hedef fonksiyonunun öğrenme yöntemi tarafından tahmin edilmesi öğrenme probleminin çözümüdür. Sınıflandırma durumunda, bu fonksiyon bazen *karar verme* fonksiyonu olarak da bilinir. Çözüm, giriş uzayını çıkış alanına eşleştiren bir takım aday fonksiyonlardan seçilir. Doğru fonksiyonu bulmaya çalışmadan önce, genelde hipotez olarak bilinen aday fonksiyonlardan bir grup seçilir. Hipotez kümesinin seçimi öğrenme yönteminin en önemli aşamalarından biridir. Eğitim verisini giriş olarak alan ve hipotez uzayından hipotez seçen algoritma, ikinci en önemli aşamadır²⁰.

Spor arabalarını ayırt etmeyi öğrenme durumu için çıkış, *ikilik çıkış* değeri olarak düşünülebilen basit bir evet/hayır mantığıdır. Protein çeşitlerini tanıma problemi için, çıkış değeri sonlu sayıdaki kategorilerden biri, bir kimyasal reaksiyonu modelleme için ise, çıkış değerleri reaksiyona giren reaktanların gerçek sayı olarak verilen değerleridir. İkili çıkışlı öğrenme problemine ikili sınıflandırma problemi denir. Sonlu sayıda kategorili olanlar *çoklu-sınıf sınıflandırması* olarak bilinir. Gerçek değerli çıkışlara sahip probleme de *regresyon* denir²⁰.

Danışmanlı öğrenme dışında başka öğrenme tipleri de mevcuttur. Örnek olarak, *danışmansız öğrenme* çıkış değerlerinin olmadığı ve öğrenme işinin veriyi oluşturan sürecin anlaşılması durumunu ele alır. Bu tip öğrenme yoğunluk tahmini, dağılımın desteklenmesini öğrenmek vb. durumları içerir. Öğrenci ve çevresi arasındaki daha karmaşık etkileşimleri inceleyen öğrenme modelleri de mevcuttur²⁰.

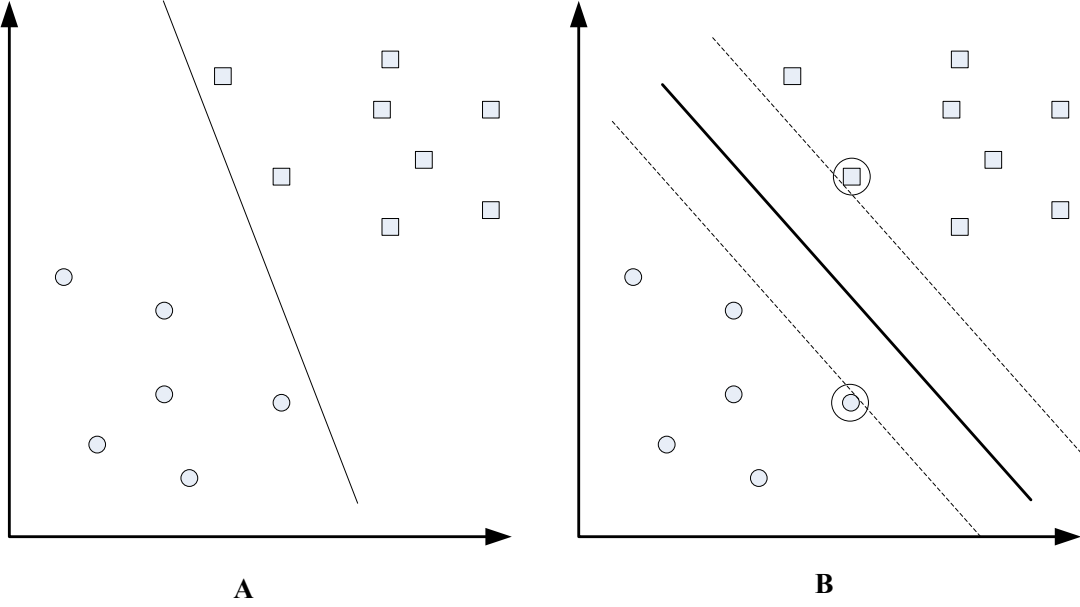
Öğrenme modelleri arasındaki diğer bir farklılık ise, öğrenme verisinin nasıl yaratıldığı ve öğrenciye nasıl sunulduğudur. Örnek olarak, öğrenciye öğreneceği verinin başlangıçta toplu olarak verilmesi olan *toplu öğrenme* ile öğrencinin doğru çıkış değerini bulana kadar giriş verisini tek tek alması olan *çevrimiçi (on-line) öğrenme* arasında fark vardır. Çevrimiçi öğrenmede her bir yeni örneğe karşılık mevcut hipotez güncellenir ve öğrenmenin kalitesi öğrenme sırasında yapılan toplam hata sayısı ile ölçülür²⁰.

2.4.2 Destek Vektörleri Yöntemi (Support Vector Machines)

Destek vektörleri yöntemi 1960'ların sonunda V.N. Vapnik tarafından geliştirilen bir istatistiksel öğrenme sistemi olup iki sınıflı bir sınıflandırma yöntemidir^{5,6}. Bu yöntem el yazısı tanıma, ses tanıma, meme kanseri tahmini, bioinformatik ve uzaysal veri analizi gibi birçok alanda sıkça kullanılmaktadır^{5,8,9,10,11,12}.

Destek vektörleri yönteminin en basit modeli doğrusal olarak ayrılabilen girişler için uygulanan modeldir. Gerçek dünyada karşımıza çıkan problemlerin çoğu doğrusal olarak ayrılabilen verilere sahip değildir. Bu durumda giriş verileri klasik yöntemle çözülmeyebilir. Böyle problemlerde ise doğrusal olmayan sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır²⁰.

Doğrusal olarak ayrılabilir veri durumunda her biri $y_i = \{-1,1\}$ ile gösterilen sınıflardan birine ait olan, \mathbf{R}^n 'in elemanı olan x_i 'ler, $i=1,\dots,N$, kümesi S verilmiştir. Amaç, veri kümesini verilen etiketlere göre bir alt düzlemlle ayırıp, aynı sınıfa ait bütün veri noktalarını alt düzlemin aynı tarafında bırakmaktır.



Şekil 2.8. (A) İki sınıflı veriyi ayıran bir alt düzlem, (B) en iyi alt düzlem ve sınırları

Bir x_i 'ler veri kümesi, eğer $i=1,\dots,N$ için

$$y_i (\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i + b) \geq 1 \quad \text{Denklem 2.1}$$

koşulunu sağlayan bir \mathbf{w} varsa doğrusal olarak ayrılabilir. Burada (\mathbf{w}, b) aşağıdaki denkleme sahip bir alt düzlem tanımlamaktadır;

$$\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b = 0 \quad \text{Denklem 2.2}$$

ve ayıran alt düzlem olarak adlandırılır ve denklem 2.1'deki çarpım, veri noktası ile etiketinin alt düzlemin aynı tarafında olmasını belirler. Şekil 2.8 (A)'da iki sınıflı ayıran

böyle alt düzlemlerden biri gösterilmiştir. Tabii ki, iki sınıfı ayırabilen sonsuz sayıda alt düzlem vardır. Şimdi alt düzlemden bir veri noktası x_i 'ye olan bir d_i uzaklık ölçüsü tanımlayalım:

$$d_i = \frac{\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i + b}{\|\mathbf{w}\|} \quad \text{Denklem 2.3}$$

Eğer denklem 2.1 ve denklem 2.3 birleştirilirse aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$y_i d_i \geq \frac{1}{\|\mathbf{w}\|} \quad \text{Denklem 2.4}$$

Burada $\frac{1}{\|\mathbf{w}\|}$ 'nin (\mathbf{w}, b) alt düzlemi ile x_i veri noktası arasındaki uzaklığın bir alt sınırı olduğunu görülmektedir. Dolayısıyla, eğer veri noktaları kümesi içinde bu alt sınırı eşitlikle sağlayan bir x_i noktası bulunursa bu, alt düzleme en yakın noktanın bulunduğu anlamına gelir. Aynı zamanda, en iyi alt düzlemi elde etmek için alt düzlemle en yakın veri noktası arasındaki uzaklığı maksimuma çıkarmak gerekir ki ve bu sınır gerçekten de $\frac{1}{\|\mathbf{w}\|}$ değerine karşılık gelir. Bu sınırı maksimuma çıkarmak için $\|\mathbf{w}\|$ ifadesini minimum yapmak gerekir.

Bu sınırı minimum yapmakla elde edilen \mathbf{w}^* ve b^* kullanarak sınıflandırma problemi, \mathbf{x} gelen veri olmak üzere,

$$y = \mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x} + b^* \quad \text{Denklem 2.5}$$

Denklem 2.5'in işaretini bulmaya indirgenir. Böylelikle, karar fonksiyonu;

$$\begin{aligned} f(x) &= \text{sign}(\mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x} + b^*) \\ &= \text{sign}(\langle \mathbf{w}^* \cdot \mathbf{x} \rangle + b^*) \end{aligned} \quad \text{Denklem 2.6}$$

olur²¹.

Destek vektör makineleri yöntemi esas olarak iki sınıf sınıflandırması için tasarlanmış olmasına rağmen bire-bir ve bire-tüm yöntemleri kullanılarak çok sınıflı sınıflandırma gerçekleştirebilmektedir. Her ikisi de çok sınıflandırma problemini iki sınıf sınıflandırma problemlerinin toplamı olarak ele almaktadır. k sınıf sınıflandırma için, bire-tüm metodu bir sınıf ile kalan $k - 1$ sınıf arasında yüzeyi oluştururken, bire-bir yönteminde her olası sınıf çifti arasındaki $\frac{k(k-1)}{2}$ sayısındaki yüzeyler oluşturulmaktadır. Her iki yöntemde de belirlenen bir seçme kuralı ile karar verilmektedir²².

2.5 MATLAB

MATLAB²³ algoritma geliştirmede, veriyi görselleştirmede (2 ve 3 boyutlu grafik çizebilme), veri analizinde ve sayısal ve simgesel hesaplamalarda kullanılan ileri düzeyde teknik hesaplamalar yapan bir programlama dilidir. Ayrıca MATLAB; C, C++ ve FORTRAN gibi geleneksel programlama dillerine göre teknik hesaplamalara dayanan problemleri daha hızlı bir şekilde çözer²⁴. MATLAB adı İngilizce MATrix LABoratory (Matris Laboratuvarı) kelimelerinden elde edilmiş bir kısaltmadır.

MATLAB sayısal ve simgesel hesaplama, işaret ve resim işleme, haberleşme, kontrol sistemleri tasarımı, test etme ve ölçme, finansal modelleme ve analiz, hesaplanabilir biyoloji, bulanık mantık, optimizasyon ve yapay sinir ağları gibi çok geniş bir uygulama alanı vardır²⁴.

MATLAB bilim ve mühendislik alanlarında kullanılan ortak matematiksel işlemler için birçok fonksiyonu içinde bulundurmaktadır. Bu fonksiyonlar MATLAB dilinin temelini oluşturur. Ayrıca araç kutusu (toolbox) adı verilen eklenebilir fonksiyon kütüphaneleri sayesinde MATLAB'ın kullanılabilirliği ve çok yönlülüğü arttırmak mümkündür. Bu kütüphaneler yukarıda belirtilen uygulama alanlarıyla ilgilenen çeşitli bilim dallarının problemlerini çözebilen, özel olarak hazırlanmış fonksiyon dosyalarından oluşur. Bu kütüphanelere her geçen gün bir yenisi eklenmekte ve böylece MATLAB'ın kullanım alanları da genişlemektedir.

MATLAB, lineer cebir, istatistik, fourier analizi, filtreleme, optimizasyon, matris işlemleri ve sayısal integrasyon gibi alanlara ait matematiksel fonksiyonlarla her türlü hesaplamayı kolay ve hızlı bir şekilde tek bir komut satırında yapar. Böylece matematiksel hesaplamaların bilgisayarda yapılması, diğer programlama dillerinde (C, C++, FORTRAN gibi) olduğundan daha kısa sürede ve daha az kod yazılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle problemin bilgisayara uyarlanmasından çok problemin kendisine yoğunlaşmak daha da kolaylaşmaktadır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada destek vektörleri yöntemi kullanılarak sporcu performansını etkileyen fizyolojik faktörleri kullanarak sporcu performans düzeyinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Araştırma Grubu

Çalışmada 2003-2006 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Spor Fizyolojisi Laboratuvarı'nda kardiyopulmoner egzersiz testi yapan, yaşları 13-31 arasında değişen, farklı spor dallarıyla uğraşan ve aktif olarak spor yaşamına devam eden 32 erkek sporcunun yaşı, boyu, vücut ağırlığı ve test sonuçları kullanılmıştır.

Sporcular, testlerde elde edilen sonuçlarından çalışmada kullanılmak üzere eğitim, test ve tahmin veri seti oluşturmak için üç gruba ayrılmıştır. Sporculardan 17 tanesi eğitim grubuna, 10 tanesi test grubuna ve geri kalan 5 tanesi ise tahmin grubuna dahil edilmiştir.

Eğitim ve test grubunda bulunan sporcuların testlerde gösterdikleri performans, antrenman düzeyi, uğraştıkları spor dalı ve spor geçmişindeki başarıları dikkate alınarak aerobik performans düzeyleri “iyi” ve “kötü” olarak tanımlanıp sınıflandırma yapılmıştır.

Sınıflandırma sonunda sporcuların performans düzeyi, eğitim grubunda bulunanlardan 9 tanesi “iyi” ve 8 tanesi “kötü”, test grubunda bulunanlardan 5 tanesi “iyi” ve 5 tanesi “kötü” olarak belirlenmiştir. Tahmin grubunda bulunan sporcular için böyle bir sınıflandırma yapılmayıp, bu sporcuların performans düzeyleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3.2. Verilerin Toplanması

3.2.1. Boy ve Vücut Ağırlığının Ölçülmesi

Çalışmaya katılan sporcuların boy (cm) ve vücut ağırlığı (kg) ölçümleri elektronik baskül (Professional Sport Technologies, Sport Expert) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Kardiyopulmoner Egzersiz Testi Sonuçlarının Kaydedilmesi

Sporcuların maksimal aerobik kapasitelerinin ölçülmesi ergospirometre (Quark b² – Cosmed T-150 Koşu Bandı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her test öncesinde gaz analizörü atmosfer havası ve %16 O₂ - %5 CO₂ gaz karışımı kullanılarak kalibre edilmiştir. Solunum hacmini ölçmede kullanılan türbün kalibrasyonu ise 3 litrelik standart kalibrasyon şırıngası ile yapılmıştır.

Ergospirometrede yapılan kardiyopulmoner egzersiz testi protokolünde hız ve eğim kademeli olarak arttırılmıştır. Kardiyopulmoner egzersiz testi süresinin kabul edilebilirlik standartlarına göre 8-12 dakika arasında olması nedeniyle, hız ve eğim tüm sporcular için kabul edilebilir bir seviyeye gelecek şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan test protokolünde hız 2,7-8,9 km/s arasında değişirken eğim %10-%20 arasında değişmiştir. Kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında solunum, gaz ve kalp atımı ile ilgili değişkenler her nefes alıp vermede ölçülerek ergospirometrenin yazılımı tarafından kaydedilmesi sağlanmıştır.

Kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında ergospirometrede ölçülen değişkenler; solunum hacmi, kalp atım sayısı, oksijen ve karbondioksit gazlarının parsiyel basınçları şeklinde özetlemek mümkündür. Sonuç olarak test esnasında elde edilen bu veriler ve bu verilerin kullanılmasıyla hesaplanan sonuçlar çalışmada kullanılmıştır.

Solunum hacminin ölçümü ile soluk verme frekansı ve dakika solunum hacmi (V_E) gibi değişkenlerin hesaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca O₂ ve CO₂ parsiyel basınçlarının ölçülmesi ile de dakikada kullanılan oksijen miktarı (VO₂) ve üretilen karbondioksit miktarı (VCO₂) hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada sırasıyla sporcunun yaşı, boyu (cm) ve vücut ağırlığı (kg) ile birlikte kardiyopulmoner egzersiz testinde elde edilen zaman (sn), hız (km/s), eğim (%), dakika solunum hacmi (lt/dk), dakikada kullanılan oksijen miktarı (mlt/dk), dakikada üretilen karbondioksit miktarı (mlt/dk) ve kalp atım sayısı veri olarak kullanılmıştır.

3.3. Verilerin Hazırlanması

Kardiyopulmoner egzersiz testi sırasında her bir soluk alıp vermede ergospirometre (Quark b² – Cosmed T-150 Koşu Bandı) tarafından üretilen sonuçlar ergospirometreye bağlı bir bilgisayar üzerinde çalışan yazılım yardımıyla izlenebilmekte ve veritabanına kaydedilmektedir. Yine bahsi geçen yazılım yardımıyla test sonrasında kaydedilen sonuçları sayısal olarak görmek, grafiksel olarak izlemek mümkün olabilmektedir. Ayrıca yazılım her bir sporcuya ait test öncesinde girilmiş olan cinsiyet, yaş, boy, vücut ağırlığı gibi veriler ile test sonuçlarını Microsoft Excel belgesi olarak kaydedebilmektedir.

Kardiyopulmoner egzersiz testinde her bir sporcu için elde edilen sonuçlar ilgili yazılım yardımıyla sayısal ve grafiksel olarak incelenmiş, veriler üzerinde bazı düzeltmeler ve iyileştirmeler yapılmıştır.

Dakikada solunum hacmi, tüketilen oksijen miktarı, üretilen karbondioksit miktarının ve kalp atım hızının zamana bağlı grafikleri incelenerek ve anormal değerlerin (alt ve üst uç noktalar) bulunduğu satırlar ve testin durdurulmasının ardından kaydedilen satırlar tespit edilerek silinmiştir.

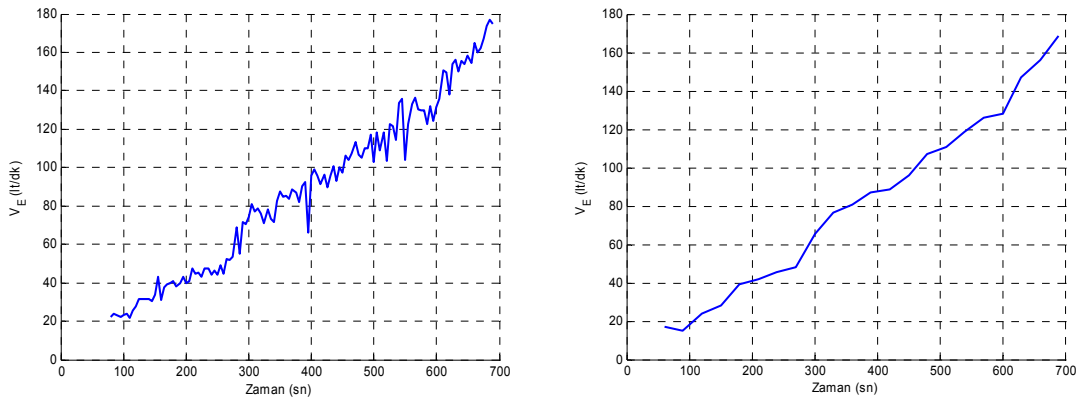
Yukarıda bahsedilen düzeltmelerden sonra her sporcu için elde edilen sonuçların 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları alınarak Microsoft Excel belgesi formatında kaydedilmiştir.

Sonuçların, dakika solunum hacmini (bkz. Şekil 3.1), tüketilen oksijen miktarını (bkz. Şekil 3.3), üretilen karbondioksit miktarını (bkz. Şekil 3.5) ve kalp atım sayısını (bkz. Şekil 3.7) gösteren verilerde aşırı saçaklanma (gürültü) olmasından dolayı, bu verilerin daha kararlı duruma getirilebilmesi için ortalamaları (bkz. Şekil 3.2, Şekil 3.4, Şekil 3.6, Şekil 3.8) alınmıştır. Ayrıca test süresine bağlı olarak değişen sonuç sayısı her bir sporcu için ortalama 400 satır iken, 5 saniyelik ortalamaları alınmasıyla ortalama

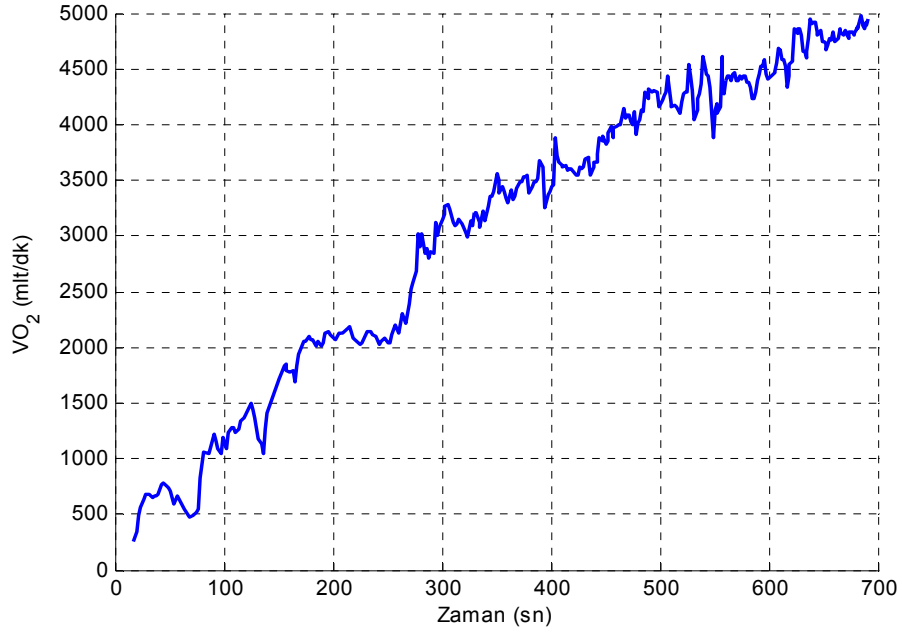
125 satıra, 10 saniyelik ortalamaları alınmasıyla ortalama 60 satıra, 30 saniyelik ortalamaları alınmasıyla da ortalama 20 satıra kadar gerilemiştir. Böylece üzerinde çalışılması gereken toplam veri miktarında azalma sağlanarak verilerin işlenmesi için gereken sürenin önemli ölçüde azalması amaçlanmıştır. Ayrıca verilerin daha kararlı olması nedeniyle de daha doğru sonuçların alınması için uygun bir zemin hazırlanmıştır.



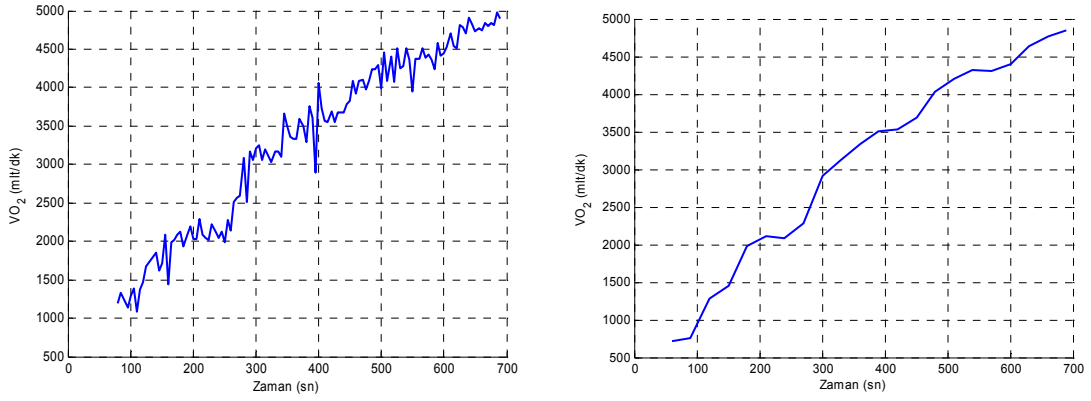
Şekil 3.1: Dakika solunum hacminin (V_E) zamana bağlı grafiği.



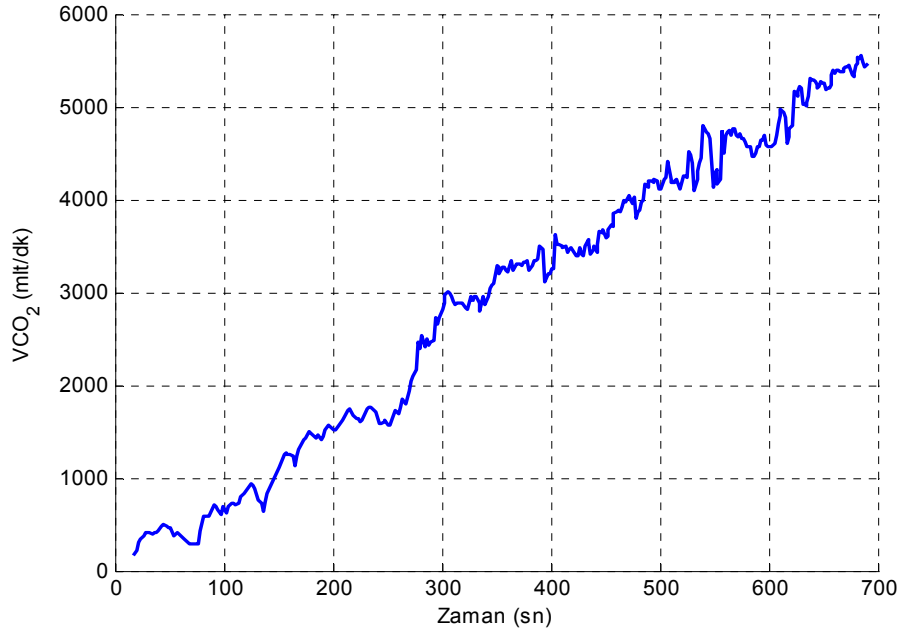
Şekil 3.2: Dakika solunum hacminin (V_E) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).



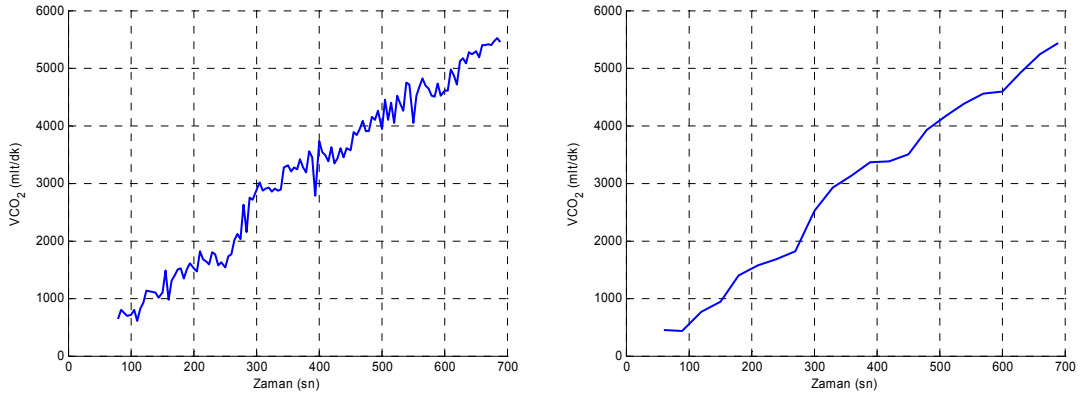
Şekil 3.3: Dakikada tüketilen oksijen miktarının (VO₂) zamana bağlı grafiği



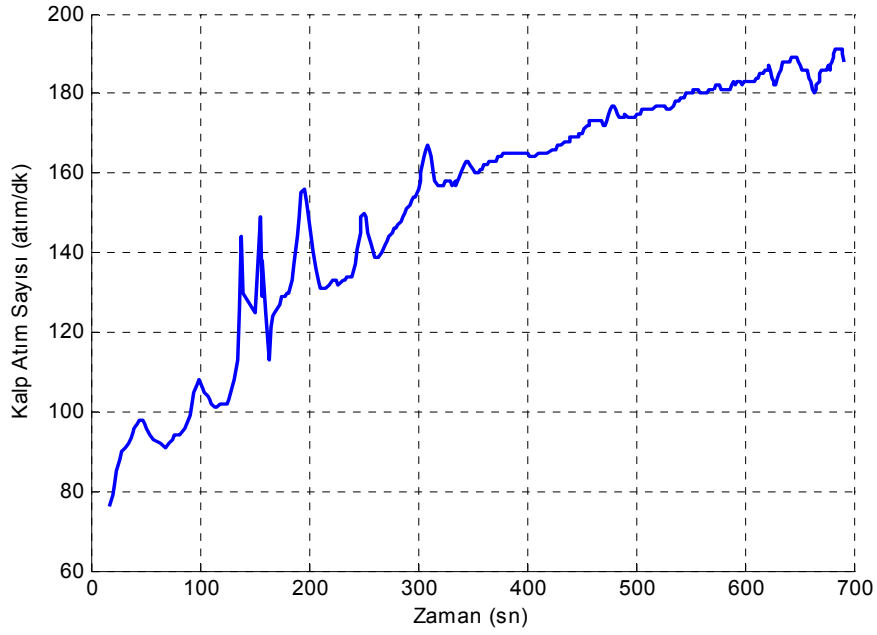
Şekil 3.4: Dakikada tüketilen oksijen miktarının (VO₂) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).



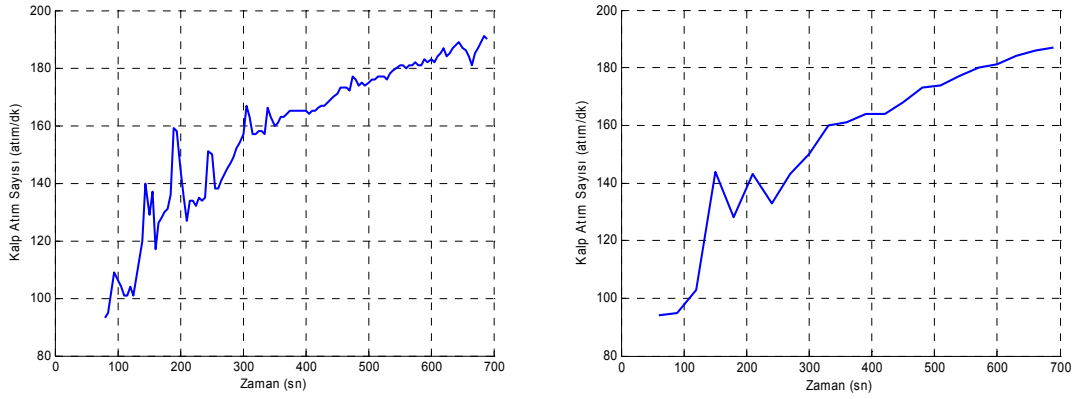
Şekil 3.5: Dakikada üretilen karbondioksit miktarının (VCO₂) zamana bağlı grafiği.



Şekil 3.6: Dakikada üretilen karbondioksit miktarının (VCO₂) zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).



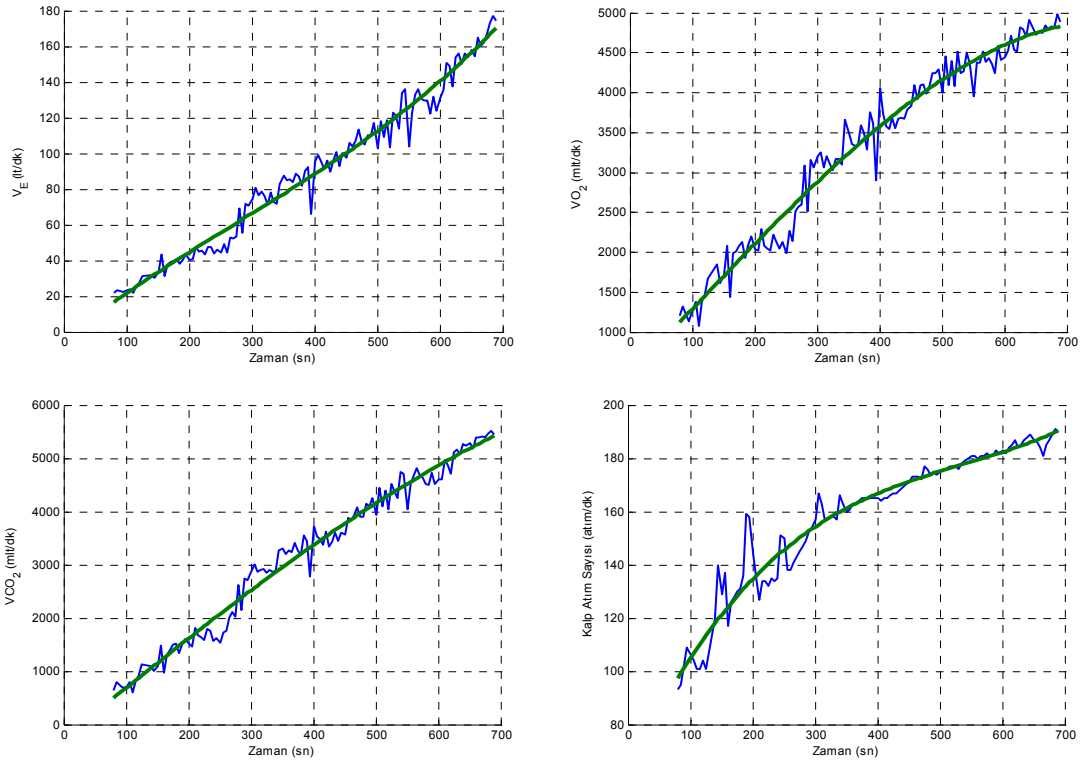
Şekil 3.7: Kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği.



Şekil 3.8: Kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği (5 ve 30 saniyelik ortalamaları alınmıştır).

Şekil 3.2, Şekil 3.4, Şekil 3.6 ve Şekil 3.8 incelendiğinde, 5 saniyelik ve hatta 30 saniyelik ortalamaları alınmış verilerin grafiğinin ideale çok yakın olmadığı görülmektedir. Verilerde gürültünün fazla olmasından dolayı grafiğin ideale yakın olmaması nedeniyle öğrenme sürecinin tamamlanması daha uzun sürecek ve bu sürecin sonunda elde edilen karar verme fonksiyonu test verilerine uygulandığında doğrulanabilir tutarlı sonuçlar elde etmek çoğu zaman mümkün olmayacaktır.

Bahsedilen bu gerekçelerden dolayı verilere 3. dereceden polinomsal eğri uydurma (curve fitting) algoritması uygulanarak verilerin daha doğrusal olmaları sağlanmış ve ideale daha yakın olmaları amaçlanmıştır. Şekil 3.9 incelendiğinde performans düzeyi iyi olarak tanımlanan bir sporcuya ait verilerdeki saçaklanmanın eğri uydurma algoritması uygulandıktan sonra nasıl giderildiği görülmektedir.



Şekil 3.9: Performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan bir sporcuya ait dakika solunum hacmi, oksijen tüketim miktarı, karbondioksit üretim miktarı ve kalp atım sayısının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).

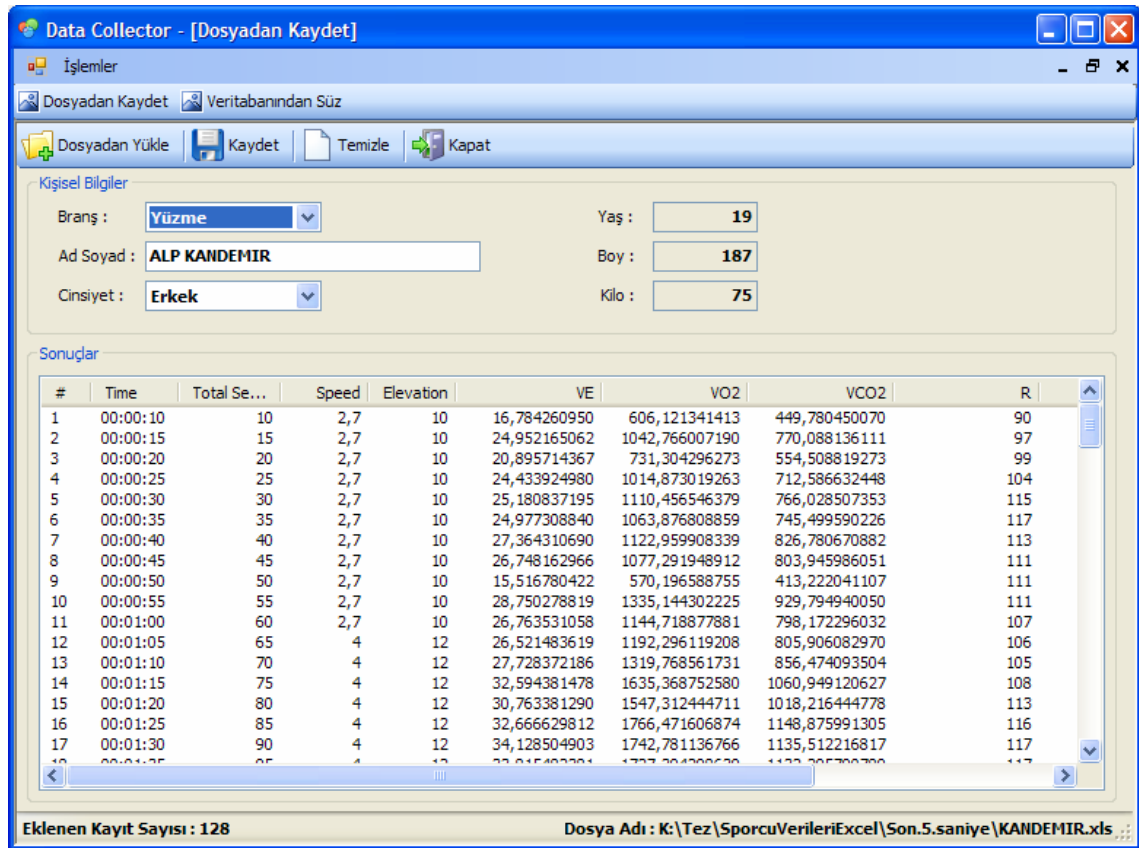
3.4. Veri Setlerinin Oluşturulması

Eğitim grubunda bulunan sporcuların verileri tek bir veri setine, test ve tahmin grubunda bulunan sporcuların verileri ise birbirinden bağımsız veri setlerine dönüştürülmüştür. Ergospirometreye bağlı bilgisayar üzerinde çalışan yazılım tarafından hazırlanan verilere ait Microsoft Excel belgesi formatındaki dosyalardan veri setlerinin oluşturulabilmesi için ayrı bir yazılımın geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Bu yazılım Microsoft Visual Studio 2005²⁵ yazılım geliştirme aracı ve Microsoft SQL Server 2005²⁶ veritabanı kullanılarak geliştirilmiştir.

Mevcut Microsoft Excel belgelerinden veri süzmek ve bu verileri bir veri seti haline getirmenin zaman alması ve hata yapma riskinin fazla olmasına karşın geliştirilen yazılım aracılığıyla sporcuların verilerinden hızlı ve esnek bir şekilde veri seti oluşturmak mümkün hale gelmiştir.

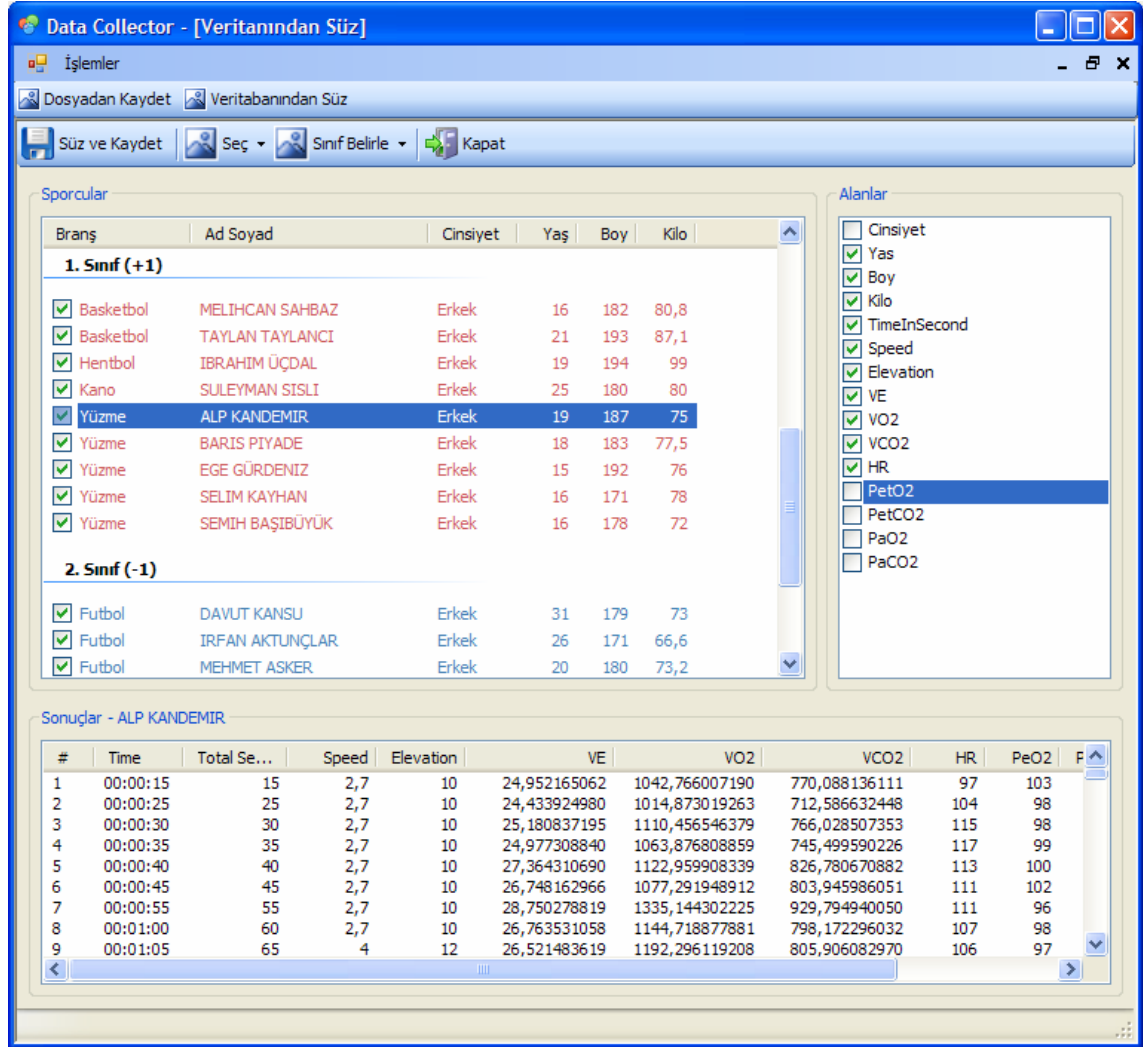
Yazılım, Microsoft Excel belgelerinde ki verilerin oluşturulan veritabanına kaydedilmesini sağlarken, kaydedilen bu verilerin isteğe bağlı olarak hem görüntülenmesine hem de istenilen biçimde veri setleri oluşturulmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 3.10: Excel belgelerindeki verilerin görüntülenmesi ve veritabanına kaydedilmesi.

Şekil 3.10'da geliştirilen yazılıma ait ekran görüntüsünde görüldüğü gibi sporcuların verilerinin bulunduğu Excel belgeleri sırasıyla seçilerek, dosyadaki ad,

soyad, cinsiyet, yaş, boy ve vücut ağırlığı ile egzersiz testi sonuçları yazılım tarafından görüntülenmiş ve “kaydet” komutuyla birlikte veritabanına kaydedilmiştir.



Şekil 3.11: Veritabanına kaydedilen verilerin görüntülenmesi ve veri setinin oluşturulması.

Şekil 3.11’de görüldüğü üzere geliştirilen yazılım aracılığıyla veritabanına kaydedilen verilerin görüntülenmesi sağlandığı gibi istenilen ölçütlere uygun veri seti oluşturmakta mümkün olabilmektedir.

Veri seti oluşturulurken ilk önce performans düzeylerine göre “iyi” ve “kötü” olarak sınıflandırılan sporculardan “iyi” olanlar “1. Sınıfa”, “kötü” olanlar ise “2. Sınıfa” dahil edilmiştir. Daha sonra veri setini oluşturacak veri tiplerine karar verilerek

işaretlenmiştir. Tüm sporcuların erkek olmasından dolayı cinsiyet alanı veri setine dahil edilmemiştir. Bu aşamalar tamamlandıktan sonra belirtilen ölçütlere uygun veriler yazılım tarafından veritabanından süzülerek veri seti oluşturulmuştur.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım	Yaş	Boy	Vücut Ağırlığı	Zaman	Eğim	Hız	Dakika Solunum Hacmi	Kullanılan O ₂ Miktarı	Üretilen CO ₂ Miktarı	Kalp Atım Sayısı	Sınıf
16	182	80.8	065	2.7	08	19.30006741	868.05896034	508.05442146	105	+1					
16	182	80.8	070	2.7	08	28.25685876	1538.21264596	909.15332937	104	+1					
16	182	80.8	075	2.7	08	30.53445511	1514.06679060	930.11908681	107	+1					
16	182	80.8	770	8.5	19	198.32161390	5058.21153333	5419.06092167	184	+1					
16	182	80.8	775	8.5	19	194.48658939	4963.23660941	5227.82721311	188	+1					
16	182	80.8	780	8.5	19	205.27280890	4988.46089130	5226.19726046	186	+1					
21	193	87.1	065	2.7	08	32.63868825	1513.11836452	970.53726342	098	+1					
21	193	87.1	070	2.7	08	30.38757969	1493.31884895	933.42643746	096	+1					
21	193	87.1	075	2.7	08	35.21337815	1745.71558557	1088.59047627	095	+1					
21	193	87.1	830	8.5	19	190.77835282	5735.85481877	6205.38895662	185	+1					
21	193	87.1	835	8.5	19	185.53025387	5465.43770722	6044.50589625	185	+1					
21	193	87.1	840	8.5	19	192.57688020	5737.14305671	6151.96627004	185	+1					
26	171	66.6	065	4.0	12	48.39120808	1273.40844656	1402.25174010	127	-1					
26	171	66.6	070	4.0	12	42.36043439	1061.66093165	1151.29790778	130	-1					
26	171	66.6	075	4.0	12	38.47872481	1121.45088281	1152.40168865	132	-1					
26	171	66.6	510	8.0	18	122.78358698	3385.82713050	4016.66192140	189	-1					
26	171	66.6	515	8.5	19	134.80434879	3102.28018227	4053.70959235	189	-1					
26	171	66.6	520	8.5	19	152.38479001	3731.38177015	4401.10850169	189	-1					
20	180	73.2	065	4.0	12	25.32900257	1079.09708950	915.28049113	120	-1					
20	180	73.2	070	4.0	12	30.83339465	1425.58229280	1179.42192231	120	-1					
20	180	73.2	075	4.0	12	31.00767687	1406.56966801	1160.18771562	121	-1					
20	180	73.2	455	8.0	18	152.96172340	4349.41138881	4980.28588583	191	-1					
20	180	73.2	460	8.0	18	150.94292784	4296.37846167	4956.65865810	192	-1					
20	180	73.2	465	8.0	18	158.32975161	4502.44103042	5136.08705288	192	-1					
20	180	73.2	470	8.0	18	158.07291383	4551.54953205	5164.82401055	193	-1					

Şekil 3.12: Örnek eğitim veri seti.

Şekil 3.12’de görülen eğitim veri seti örneği incelendiğinde ilk 10 sütunun sırasıyla; yaş, boy, vücut ağırlığı, zaman (saniye cinsinden), hız, eğim, dakika solunum hacmi, kullanılan oksijen miktarı, üretilen karbondioksit miktarı ve kalp atım sayısı olduğu görülmektedir. Son sütunda bulunan “+1” ve “-1” değerleri ise o sporcunun hangi sınıfa dahil olduğuyla alakalıdır. Burada “1. Sınıf” yani sporcu performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan sporcular için “+1”, “2. Sınıf” yani sporcu performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan sporcular için “-1” kullanılmıştır. “+1” ve “-1” değerlerinin kullanılmasının nedeni ise destek vektörleri yönteminin matematiksel algoritmasının gereğidir.

3.5. Verilerin Analizi

Elde edilen veri setleri bir istatistiksel öğrenme yöntemi olan destek vektörleri yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ancak bu tür öğrenme yöntemlerini kullanarak herhangi bir veri seti üzerinde analiz yapmak için bile basit matematiksel hesaplamalar ve çözümler yeterli olmamaktadır.

Yöntemin matematiksel olarak algoritmasının çözümlenmesi ve bu algoritmanın bir yazılım tarafından uygulanması zorunludur. Bunun nedeni bu yöntemi kullanarak basit bir problemin çözümünde bile sayısı milyarlarla ifade edilen matematiksel işlemler (özellikle matris işlemleri) yapılmasıdır. Herhangi bir problemin çözülebilmesi için eğitim veri seti üzerinde öğrenme sürecinin tamamlanarak sonucun elde edilmesi gerekmektedir. Veri setinin büyüklüğüne ve verinin yapısına bağlı olarak öğrenme sürecinde binlerce defa iterasyon yapılması gerekebilmektedir ki orta büyüklükte bir veri setine (4000 satır ve 20 sütun) sahip bir problemin çözümü için günümüz şartlarında en iyi performansa sahip bir masaüstü bilgisayarda (3,4 GHz işlemci ve 2 GB bellek) bile bu süreç en az 36 saat devam edebilir.

Yukarıda ifade edilen nedenlerden dolayı destek vektörleri yönteminin elde edilen veri setine uygulanabilmesi bir yazılımın geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu yazılım destek vektörleri yönteminin matematiksel algoritmasına uygun olarak ileri düzeyde teknik hesaplamalar yapabilen MATLAB²³ programlama dili ile geliştirilmiştir.

Genel olarak yazılımın işlevini öğrenme (training), test etme (testing) ve tahmin etme (predicting) olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

Öğrenme aşamasında yazılım, eğitim veri seti üzerinde çalışarak giriş verileri (yaş, boy, vücut ağırlığı ve zamana bağlı egzersiz testi sonuçları) ile çıkış verisi (sporcu performans düzeyi “iyi” ya da “kötü”) arasındaki ilişkiyi kurabilen en uygun fonksiyonu bulur. Böylece elde edilen fonksiyon problemin çözümüdür ve karar verme fonksiyonu olarak adlandırılır.

Test etme aşamasında ise yazılım, öğrenme aşamasında elde edilen karar verme fonksiyonunu, test grubunda bulunan her bir sporcu için oluşturulmuş test veri setine uygulayarak her satır için giriş verileri ile çıkış verisi arasındaki ilişkinin doğruluğunu test eder. Yani sporcunun test veri setinde bulunan tüm satırlar için giriş verileri karar verme fonksiyonuna uygulanır ve elde edilen sonuç ile çıkış verisi karşılaştırılır.

Son olarak, tahmin etme aşamasında yazılım, yine öğrenme aşamasında elde edilen karar verme fonksiyonunu, çıkış verisini hakkında bilgi sahibi olmadığımız sporcunun giriş verilerine uygulayarak hangi oranda “iyi” ya da “kötü” bir performans sporcusu olduğu konusunda fikir sahibi olmamıza olanak tanır.

4. BULGULAR

Çalışma yaşları 13-31 arasında değişen toplam 32 erkek sporcunun antropometrik ölçümleri ve kardiyopulmoner egzersiz testi sonuçları kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmaya bayan sporcular dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, Spor Fizyoloji Laboratuvarı'nda kardiyopulmoner egzersiz testini yapan az sayıda bayan sporcu olması ve bu bayan sporcuların bir kısmına da aynı test protokolünün uygulanmamış olmasından dolayı, eğitim ve test grubuna dahil edilecek yeterli sayıda bayan sporcu bulunamamıştır.

Bu sporcuların yaş ve uğraştıkları spor dallarına ait bulgular Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1: Sporcuların yaşlara göre dağılımı

Yaş	Sporcu Sayısı	Yüzde (%)
13	3	9,4
15	3	9,4
16	4	12,5
18	2	6,3
19	6	18,8
20	2	6,3
21	1	3,1
22	1	3,1
23	4	12,5
25	3	9,4
26	2	6,3
31	1	3,1
Toplam	32	100,0

Çizelge 4.2: Sporcuların uğraştıkları spor dallarına göre dağılımı

Spor Dalı	Sporcu Sayısı	Yüzde (%)
Atletizm	1	3,1
Basketbol	2	6,3
Futbol	10	31,3
Güreş	1	3,1
Hentbol	4	12,5
Kano	1	3,1
Karate	3	9,4
Yüzme	10	31,3
Toplam	32	100,0

Çizelge 4.2’de sporcuların uğraştıkları spor dallarına göre dağılımı gösterilmiştir. Çalışmada basketbol, futbol ve yüzme gibi aerobik performans gerektiren spor dallarıyla uğraşan sporcuların yanında güreş ve karate gibi aerobik performans gerektirmeyen spor dallarıyla uğraşan sporcularda mevcuttur. Ayrıca sporcuların %62,6’sı futbolcu ve yüzücü sporculardan oluşmaktadır.

Sporcuların 17’si eğitim grubuna, 10’u test grubuna, 5’i ise tahmin grubuna dahil edilmiştir. Gruplara dahil edilen sporcuların yaşı, boyu ve vücut ağırlığı ortalamalarına ait bulgular çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Eğitim, test ve tahmin grubuna katılan sporcuların yaş, boy ve vücut ağırlığı ortalamaları

Grup Tipi	Sporcu Sayısı	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Vücut Ağırlığı (kg)
Eğitim Grubu	17	19,2	177,3	72,7
Test Grubu	10	18,8	174,5	68,6
Tahmin Grubu	5	23,2	180,0	78,6
Toplam	32	19,7	176,8	72,3

Eğitim ve test grubuna dahil edilen sporcuların yaş, boy ve vucut ağırlığı ortalamalarının aralarında belirgin bir farklılığın olmamasına özen gösterilerek eğitim ve test veri seti arasında doğrulanabilir tutarlı sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Test grubunda bulunan sporculardan performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan “1. sınıf”taki sporcuların başarı yüzdelerine ait bulgular çizelge 4.4’te, performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan “2. sınıf”taki sporcuların başarı yüzdelerine ait bulgular da çizelge 4.5’te özetlenmiştir.

Çizelge 4.4: Sporcu performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan test grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.

Test Grubu (1. Sınıf)		Başarı Yüzdesi*				
		Ortalamalara Göre			Ortalamalara Göre (Eğri Uydurma ile)	
Sporcu	Spor Dalı	5 sn	10 sn	30 sn	5 sn	10 sn
1. Sporcu	Yüzme	97	91	86	100	96
2. Sporcu	Yüzme	92	92	100	100	94
3. Sporcu	Yüzme	96	90	96	99	99
4. Sporcu	Hentbol	90	86	95	93	87
5. Sporcu	Hentbol	98	95	90	100	96

* Başarı yüzdeleri tam sayıya yuvarlanmıştır.

Çizelge 4.4’te test grubunda bulunan performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan sporcuların kardiyopulmoner egzersiz testi sonuçlarının 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları ile 5 ve 10 saniyelik ortalamalara uygulanan eğri uydurma algoritması kullanılarak oluşturulan veri setlerine göre başarı yüzdeleri incelendiğinde tüm sporcuların performans düzeyleri doğru olarak tahmin edilmiştir.

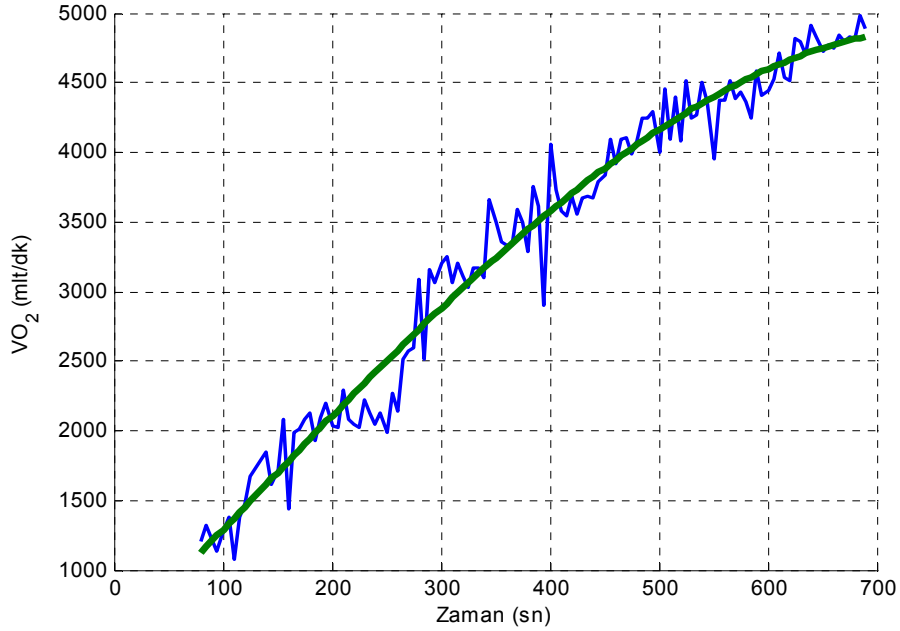
Çizelge 4.5: Sporcu performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan test grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.

Test Grubu (2. Sınıf)		Başarı Yüzdesi*				
		Ortalamalara Göre			Ortalamalara Göre (Eğri Uydurma ile)	
Sporcu	Spor Dalı	5 sn	10 sn	30 sn	5 sn	10 sn
1. Sporcu	Karate	81	91	100	100	100
2. Sporcu	Karate	60	74	87	99	99
3. Sporcu	Futbol	66	77	75	100	100
4. Sporcu	Futbol	73	69	78	100	100
5. Sporcu	Güreş	82	88	96	93	94

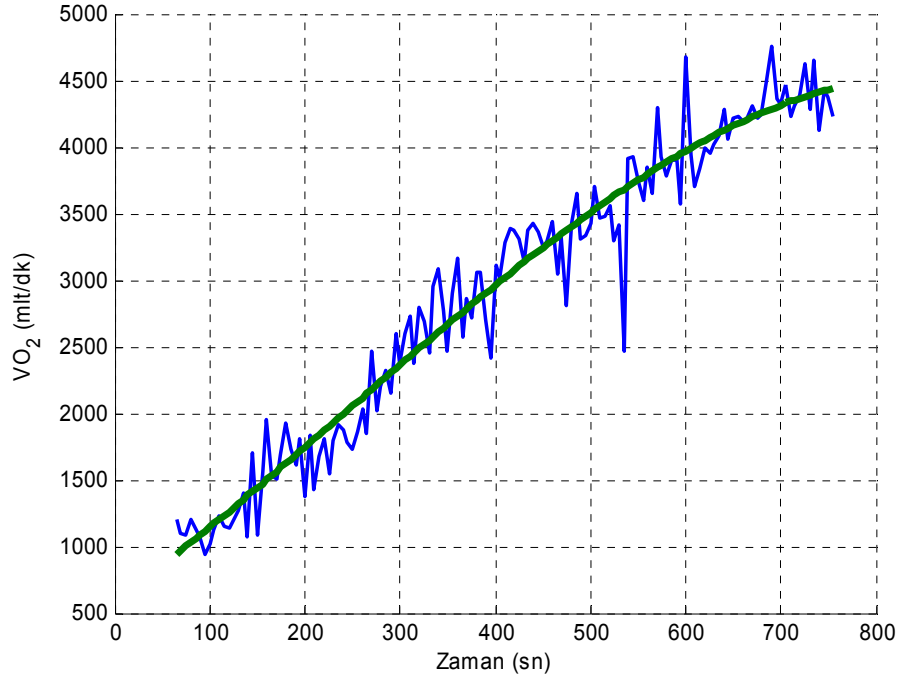
* Başarı yüzdeleri tam sayıya yuvarlanmıştır.

Çizelge 4.5’te ise test grubunda bulunan performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan sporcuların başarı yüzdeleri görülmektedir. Egzersiz testi sonuçlarının 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları ile 5 ve 10 saniyelik ortalamalara uygulanan eğri uydurma algoritması kullanılarak oluşturulan veri setlerinin tamamında başarı yüzdeleri 50’nin üzerinde olmasından dolayı tüm sporcuların performans düzeyleri “kötü” olarak bulunmuş ve doğru tahmin edilmiştir.

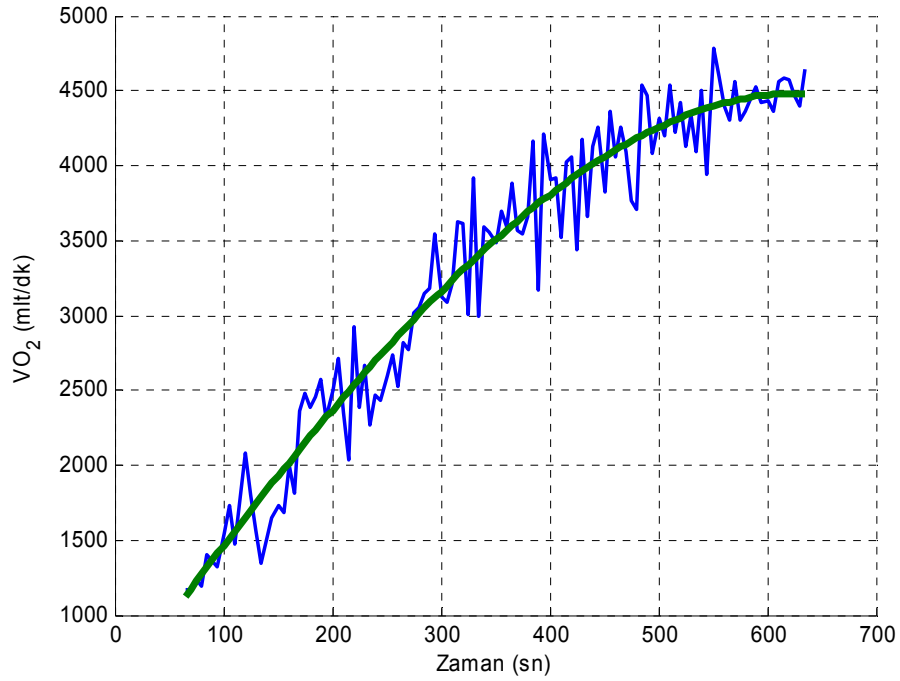
Performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan sporcuların verileriyle (bkz Şekil 4.1) performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan sporcuların verileri (bkz Şekil 4.2 ve Şekil 4.3) karşılaştırıldığında performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan sporcuların verilerinde saçaklanmanın daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bu saçaklanmalar verinin tutarlı ve güvenilir olmasını engellemekte ve istenilen başarı düzeyi sağlanamamaktadır. Ayrıca Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 incelendiğinde görüldüğü üzere eğri uydurma algoritması uygulanarak bu saçaklanmalar tümüyle giderilmiştir.



Şekil 4.1: Performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).



Şekil 4.2: Performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).



Şekil 4.3: Performans düzeyi “kötü” olarak tanımlanan bir sporcuya oksijen tüketim miktarının zamana bağlı grafiği (5 saniyelik ortalamaları alınarak eğri uydurma algoritması uygulanmıştır).

Tahmin grubu oluşturulurken performans düzeyi “iyi” ya da “kötü” olarak ayırt edilemeyen sporcuların seçilmesine özen gösterilmiştir. Bu sporcuların egzersiz testi sonuçlarının 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları ile 5 ve 10 saniyelik ortalamalara uygulanan eğri uydurma algoritması kullanılarak oluşturulan veri setlerine göre başarı yüzdelerine ait bulgular çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.6: Sporcu performans düzeyi hakkında bilgi sahibi olmadığımız tahmin grubundaki sporcuların egzersiz testi sonuçlarına göre başarı yüzdeleri.

Tahmin Grubu		Başarı Yüzdesi*				
		Ortalamalara Göre			Ortalamalara Göre (Eğri Uydurma ile)	
Sporcu	Spor Dalı	5 sn	10 sn	30 sn	5 sn	10 sn
1. Sporcu	Futbol	77	75	92	82	86
2. Sporcu	Futbol	60	57	63	62	57
3. Sporcu	Futbol	52	63	56	68	71
4. Sporcu	Futbol	49	42	57	53	49
5. Sporcu	Atletizm	58	61	60	54	55

* Başarı yüzdeleri tam sayıya yuvarlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Eğitim grubunda bulunan sporcuların kardiyopulmoner egzersiz testi sonuçlarının 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları ile 5 ve 10 saniyelik ortalamalarına eğri uydurma algoritması uygulanarak ayrı ayrı veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen bu eğitim veri setleri öğrenme aşamasından geçmiş ve her veri seti için ayrı karar verme fonksiyonu bulunmuştur. Bu karar verme fonksiyonları test grubundaki tüm sporcular için test sonuçlarından oluşturulan veri setlerine sırasıyla uygulanmıştır. Sporcunun veri setinde bulunan satırların her biri için karar verme fonksiyonunun sonucu sporcunun dahil edildiği sınıfla ($\{1,-1\}$) karşılaştırılmıştır. Eşleşen karşılaştırmaların sayısının toplam satır sayısına oranı başarı yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Örneğın performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan ve başarı yüzdesi 100 olan bir sporcunun egzersiz testine başlamasından bitişene kadar geçen sürede ölçülen tüm verileri eğitim grubunda bulunan ve performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan sporcuların verileriyle birebir örtüşüyor demektir.

Performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan bir sporcuda elde edilen başarı yüzdesi 50 ve üzerinde ise bu sporcunun performans düzeyi “iyi”, eğer başarı yüzdesi 50’nin altında ise “kötü” olarak kabul edilmiştir. Performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan bir sporcuda da elde edilen başarı yüzdesi 50 ve üzerinde ise bu sporcunun performans düzeyi “kötü”, eğer başarı yüzdesi 50’nin altında ise “iyi” olarak kabul edilmiştir.

Eğitim ve test grubundaki sporcular belirlenirken performans düzeyi oldukça iyi ya da oldukça kötü olan sporcuların seçilmesine özen gösterilmiştir. Böylece performans düzeyi açısından “iyi” ve “kötü” ayrımının daha net olarak yapılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.4’te test grubunda bulunan performans düzeyi “iyi” olarak sınıflandırılan sporcuların kardiyopulmoner egzersiz testi kullanılarak oluşturulan veri setlerine göre başarı yüzdeleri incelendiğinde tüm sporcuların performans düzeyleri doğru olarak tahmin edilmiştir.

Her sporcuya ait sonuçlara ayrı ayrı bakıldığında yüksek bir başarı yüzdesiyle performans düzeyi “iyi” olarak belirlendiği görülmektedir. Başarı yüzdelерinin yüksek olması eğitim ve test grubundaki sporcuların doğru seçildiği anlamını taşımaktadır.

Danışmanlı öğrenme sistemlerinde doğru ve tutarlı bir öğrenmenin gerçekleşebilmesi için iyi oluşturulmuş eğitim setine ihtiyaç vardır. Ayrıca öğrenmeden sonra elde edilen karar verme fonksiyonunun da güvenilirliğini tespit etmek için iyi oluşturulmuş bir test veri setine gereksinim duyulur. Test veri setinden elde edilen yüksek düzeydeki başarı oranları tutarlı ve güvenilir öğrenme sisteminin gerçekleştiği anlamına gelir.

Ortalaması alınan ve eğri uydurma algoritması uygulanan verilerden oluşturulan veri setlerinden elde edilen başarı yüzdeleri karşılaştırıldığında eğri uydurma algoritmasının uygulandığı veri setlerinde daha yüksek düzeyde başarı yüzdesi elde edilmiştir.

Ayrıca oluşturulan her veri setinden elde edilen başarı yüzdeleri her sporcu için farklılık göstermektedir. Ancak başarı yüzdelерinde farklılıklar olmasına karşın performans düzeyinin tahmininde bir farklılık gözlenmemiştir.

Çizelge 4.5’te ise test grubunda bulunan performans düzeyi “kötü” olarak sınıflandırılan sporcuların kardiyopulmoner egzersiz testi kullanılarak oluşturulan veri setlerine göre başarı yüzdeleri görülmektedir. Başarı yüzdeleri 50’nin üzerinde olmasından dolayı tüm sporcuların performans düzeyleri “kötü” olarak bulunmuş ve doğru tahmin edilmiştir.

Ayrıca oluşturulan her veri setinden elde edilen başarı yüzdeleri performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan sporcularda olduğu gibi her sporcu için farklılık göstermektedir. Buna rağmen başarı yüzdelерinde ki farklılıklar performans düzeyinin tahmininin doğruluğunu değiştirmemektedir.

Ortalama alınmış verilerden ve eğri uydurma algoritması uygulanarak oluşturulan veri setlerinden elde edilen başarı yüzdeleri karşılaştırıldığında, “1. Sınıf”ta bulunan sporcularda olduğu gibi, eğri uydurma algoritmasının uygulandığı veri setlerinde başarı yüzdesi daha iyidir. Ancak başarı yüzdeleri arasındaki farklılıklar daha belirgindir. Örneğin 2. ve 3. Sporcunun 5 sn ortalamalarından elde edilen başarı yüzdeleri dikkate alındığında, sırasıyla 2. Sporcu için %60 ve %99 (fark %39), 3. Sporcu için %66 ve %100 (fark %34) olarak görülmektedir. Bu sonuçlar tahminin

doğruluğunu değiştirmese de başarı yüzdeleri arasında çok büyük farklılıklar olduğu görölmektedir ki bu istenen bir durum değildir. Bunun asıl nedeni, daha öncede ifade edildiği üzere performans düzeyi “iyi” olarak tanımlanan sporcuların verilerine göre, performans düzeyi kötü olarak tanımlanan sporcuların verilerinde saçaklanmanın daha fazla olmasıdır. Aşırı saçaklanmalar verinin tutarlı ve güvenilir olmasını engellemekte ve istenilen başarı düzeyi sağlanamamaktadır. Hem eğitim veri setini hem de test veri setini oluşturan verilerin idealden uzaklaşması başarı yüzdeleri arasındaki farklılığın temel nedeni olarak gözlemlenmiştir. Dolayısıyla eğri uydurma gibi matematiksel yöntemler uygulanarak veriler olması gereken ideal durumlarına yaklaştırılmıştır. Ayrıca eğri uydurma algoritmasıyla elde edilen veri setlerinin eğitim aşamasında ki öğrenme süresi aynı büyüklükteki diğer veri setlerine göre büyük oranda azalma göstermiştir. Örneğin 5 saniyelik ortalamalardan elde edilen veri seti üzerinde öğrenme süresi yaklaşık 12 saat iken, bu süre eğri uydurma algoritmasıyla elde edilen veri setinde 2 saat civarındadır.

Tahmin grubunda bulunan sporcuların veri setleri oluşturulurken, bu sporcuların tamamının performans düzeyi “iyi” olarak kabul edilmiştir. Bu varsayıma dayanarak başarı yüzdeleri 50 ve üzerinde olanların performans düzeyi “iyi”, 50’nin altında olanlar için “kötü” olarak tahmin edilmiştir. Çizelge 4.6’da görölen başarı yüzdeleri incelendiğinde bu sporcuların 4 tanesinin tüm veri setlerinde performans düzeyi “iyi” olarak bulunmuştur. Ancak sadece 4. Sporcuda farklı veri setleri dikkate alındığında performans düzeyi bazılarında “iyi” bazılarında ise “kötü” olarak tahmin edilmiştir.

Tahmin grubunda bulunan sporcuların başarı yüzdelerinin tamamı incelendiğinde, sadece 1. Sporcucu dışında kalan sporculara ait başarı yüzdeleri 50 sınırına yakın değerlerdedir. Bu verilere dayanarak sporcuların performans düzeylerini oldukça iyi ya da oldukça kötü olarak tanımlamak mümkün olmamaktadır. Ancak daha öncede ifade edildiği üzere başarı yüzdesi 50 ve üzeri olanlar “iyi”, 50’nin altında olanlar ise “kötü” olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan 10 farklı değişken arasında her sporcuya ait onlarca egzersiz testi sonucuna bakarak sporcunun performans düzeyi hakkında doğru bir karar vermek her zaman mümkün olamamaktadır. Ancak her sporcucu için elde edilen bu veriler teker teker ya da bir kaç tanesinin arasındaki ilişki sayısal veya grafiksel olarak incelendiğinde sporcunun performans düzeyi hakkında genel bir bilgi edinmek mümkün

olabilir. Ayrıca bu bilgileri yorumlayabilecek bilgi düzeyine ve tecrübeye sahip olmakta gerekir. İşte bu noktada destek vektörleri yönteminin amacı, oluşturulan eğitim grubuna ait sporcuların verilerine bakarak, kullanılan çok sayıda değişken ve veri arasında anlamlı bir ilişki kurmaktır. Böylece, performans düzeyi hakkında fikir sahibi olmadığımız ya da karar vermek noktasında yetersiz kaldığımız durumlarda destek vektörleri yöntemi kullanılarak çok hızlı ve hatasız bir şekilde sporcu performans düzeyini tahmin etmek mümkün olabilecektir. Ancak unutulmamalıdır ki elde edilen başarı yüzdelerinin tutarlılığı ve güvenilirliği iyi oluşturulmuş bir eğitim ve test veri setine bağlıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Eğitim grubunda bulunan sporcuların verileri (antropometrik ölçümleri ve kardiyopulmoner egzersiz testi sonuçları) bir istatistiksel öğrenme yöntemi olan destek vektörleri yöntemi ile analiz edilmiş ve elde edilen karar verme fonksiyonuyla test grubunda bulunan sporcuların tamamının performans düzeyleri doğru bir şekilde tahmin edilmiştir.

2. Sporcuların çalışmada kullanılan kardiyopulmoner egzersiz testi sonuçlarının 5, 10 ve 30 saniyelik ortalamaları alınarak verilerin daha kararlı olması amaçlanmıştır. Ayrıca test sonuçlarının daha kararlı hale getirilmesi amacıyla verilerin ortalamalarının alınmasının yanında verilere eğri uydurma algoritması uygulanmış ve grafiksel olarak ideale daha yakın olması sağlanmıştır. Her iki durumda da test aşamasında elde edilen başarı yüzdelerinde farklılıklar görülse de sonuç olarak sporcuların performans düzeylerinin tahmin edilmesinde bir farklılık gözlenmemiştir.

3. Bu yöntem eğitim grubunda daha fazla sporcunun bulunduğu bir eğitim veri setine uygulanmalı ve böylece farklı sporcu profillerine göre sistemin daha kararlı ve duyarlı olması sağlanmalıdır. Ayrıca bu çalışmada sadece erkek sporculara yer verilmiştir. Bayan sporcularda dahil edilerek sistemin hem erkek hem de bayan sporculara karşı duyarlı olması sağlanmalıdır.

4. Aerobik performans düzeyini etkileyen diğer faktörlerde çalışmaya dahil edilerek üzerinde çalışılan değişken (giriş verisi) sayısı artırılmasında yarar vardır.

5. Destek vektörleri yöntemi son yıllarda pek çok alanda birçok problemin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmada da destek vektörleri yöntemi kullanılarak sporcunun aerobik performans düzeyi tahmin edilmiş ve başarı sağlanmıştır. Bu yöntemin beden eğitimi ve spor alanında uygulanabileceği çok sayıda konunun olduğu düşüncesiyle destek vektörleri yönteminin kullanılacağı çalışmaların yapılmasına gerek vardır.

KAYNAKLAR

1. **Cooper C B ve Storer T W.** *Egzersiz Testleri ve Yorumu.* İstanbul: Yüce Yayınları, **2003.**
2. Erişim: (<http://www.toraks.org.tr/mse.php?pid=142>). Erişim tarihi: 25.01.2007.
3. **Ergen E, Demirel H, Güner R, Turnagöl H, Başaoğlu S, Zergeroğlu A M ve Ülkar B.** *Egzersiz Fizyolojisi.* 1. Baskı, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, **2002.**
4. **Günay M ve Cicioğlu İ.** *Spor Fizyolojisi.* 1. Baskı, Ankara: Gazi Kitapevi, **2001.**
5. **Vapnik V N.** *Statistical Learning Theory.* New York: John Wiley & Sons, **1998.**
6. **Edem Z, Polikar R, Yumuşak N ve Gürgen F.** *Learn++ Algoritması ile Destek Vektörleri Makineleri Sınıflayıcılar Topluluğunun Oluşturulması.* Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings of the IEEE 13th, **2005:687-690.**
7. **Burges J C.** *A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition.* Boston :Kluwer Academic Publishers, **1999.**
8. **İbrikiçi T, Çakmak A, Ersöz İ. ve Açıkkar M.** *Destek Vektörlerinin Proteinlerin İkincil Yapılarını Tahmin Etmek İçin Uygulanması.* BİYOMUT, National Meeting on Biomedical Engineering, İstanbul, **2004.**
9. **Cao L J ve Tay F.** *Support Vector Machine With Adaptive Parameters in Financial Time Series Forecasting.* IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 14, No. 6, **November 2003.**
10. **Li S, Tin-Yau Kwok J, Wai-Hung Tsang I ve Wang Y.** *Fusing Images With Different Focuses Using Support Vector Machines.* IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 15, No. 6, **November 2004.**
11. **Hyungkeun J, Kyunghee L ve Sunghum P.** *Eye and face detection using SVM.* Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, ISSNIP '04. **2004.**
12. **Georgoulas G, Georgopoulos V C ve Stylios C D.** *Speech Sound Classification and Detection of Articulation Disorders with Support Vector Machines and Wavelets.* Engineering in Medicine and Biology Society, 28th Annual International Conference of the IEEE. **2006:2199-2202.**

13. **Chun-xi D, Shao-quan Y, Xian R ve Jian-long T.** *An Algorithm of Estimating the Generalization Performance of RBF-SVM.* Proceedings of the Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03), **2003**.
14. **Fox Bowers Foss.** *Beden Eğitimi ve Sporun Fizyolojik Temelleri.* 2. Baskı, Ankara: Bağırğan Yayınevi, **1999**.
15. **Gonang W F.** *Tıbbi Fizyoloji.* 20. Baskı, Ankara: Nobel Tıp Kitapevi, **2002**.
16. **McArdle W D, Katch F L, Katch V L.** *Exercise Physiology.*, Sixth Edition, Lippincott Williams & Wilkins, **2007**.
17. **Guyton A C ve Hall J E.** *Tıbbi Fizyoloji.* 10. Baskı (Türkçe), İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Şti., **2001**.
18. **Aktümsek A.** *Anatomi ve Fizyoloji.* 1. Baskı, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, **2001**.
19. **Saltin B, Calbet J A.** *Point: In health and in a normoxic environment, VO_{2max} is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow.* J.Appl.Physiol.100:744-748, **2006**.
20. **Cristianini N ve Shawe-Taylor J.** *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods.* 1st Edition, England: Cambridge University Press, **2000**.
21. **Sezer O G, Erçil A ve Keskinöz M.** *Destek Vektör Makinesi Kullanarak Bağımsız Bileşen Tabanlı 3B Nesne Tanıma,* Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings of the IEEE 13th, **2005**:99-102.
22. **Özbek M E, Özkurt N ve Savacı F A.** *Dalgacık Tepeleri ve Destek Vektör Makineleri ile Müzik Çalgısı Sınıflandırma.* Eleco'2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, **2006**.
23. **The MathWorks Inc.** MATLAB for Windows. Version 7.0 (R14), Michigan: The MathWorks Inc., **2004**.
24. Erişim: (<http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html>). Erişim T: 17.11.2006.
25. **Microsoft Corporation.** Microsoft Visual Studio 2005. Version 8.0.50727.42 (RTM.050727-4200), Washington: Microsoft Corporation, **2005**.
26. **Microsoft Corporation.** Microsoft SQL Server 2005. Version 9.0, Washington: Microsoft Corporation, **2005**.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Açıkkar 04.04.1976 tarihinde Kadirli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kadirli’de tamamladı. 1995 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2000 yılında mezun oldu. 2000-2003 yılları arasında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Ekim 2003’te Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Beden Eğitimi Öğretmenliği Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak atandı. Şubat 2004’te Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Beden Eğitimi Öğretmenliği Bölümü’nde ki görevini sürdürmektedir.