

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**SPOR ALANINDA HİZMET VERENLERDE GENETİK
FAKTÖRLERİN, PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Okan OĞUL

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**HAZİRAN 2025
İSTANBUL**

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**SPOR ALANINDA HİZMET VERENLERDE GENETİK
FAKTÖRLERİN, PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Okan OĞUL
(231212002)
(0009-0001-7516-2237)

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Uğur ÖNCEL

İstanbul 2025



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

25.06.2025

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 25.06.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İş Sağlığı ve Güvenliği (Tezli Yüksek Lisans) Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Uğur ÖNCEL

Danışman

İstanbul Gedik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Yavuz TAŞKIRAN

Üye (İmza)

İstanbul Topkapı Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Seyed Houtan

SHAHİDİ

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Spor alanında hizmet verenlerde genetik faktörlerin performanslarına etkisinin incelenmesi” adlı çalışmamın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlardan atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (25/06/2025)

Okan OĞUL

ÖNSÖZ

Teze başlamama vesile olan ve tez süresince hiçbir desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Uğur ÖNCEL'e teşekkür ederim. Tez araştırmasının ilerlemesinde bana destek olan, yönlendiren ve bilgilendiren spor bilimleri hocam Dr.Öğr. Üyesi Seyed Houtan Shahidi'ye teşekkür ederim. Ayrıca tüm bu süreçte desteklerini her zaman arkamda hissettiğim aileme de teşekkürlerimi borç bilirim.

Haziran 2025

Okan OĞUL

(Diyetisyen)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. SPOR İŞİ PERFORMANSINDA GENETİK FAKTÖRLERİN GENEL BİR İNCELENMESİ	4
2.1. Genetik ve Çevresel Faktörlerin Etkileşimi	4
2.2. Spor Genetiksel Faktörlerin Tarihsel Gelişimi.....	5
2.3. İnsan Genomu Projesinin Spor Bilimleri Üzerindeki Etkisi	6
2.4. Genetik Varyantların Atletik Performans Üzerindeki Genel Bulgular	7
2.5. Spor Performansında Çevresel Faktörlerin İncelenmesi.....	9
3. GENETİK VARYANTLARIN İŞ PERFORMANSINA ETKİSİ	13
3.1. Genetik Kavramı	13
3.1.1 İş genetiği kavramı ve önemi.....	14
3.2. Genetiğin Tarihsel Gelişimi	15
3.3. Dayanıklılık Sporlarının Tanımı ve Özellikleri	17
3.4. ACE Geni ve I/D Polimorfizmi.....	18
3.4.1 ACE Genotiplerinin fizyolojik etkileri	19
3.4.2. Spor performansında ACE polimorfizminin rolü.....	19
3.4.3. Klinik ve sportif uygulamalarda ACE polimorfizminin önemi.....	20
3.4.4. ACE geninin fonksiyonu	20
3.4.5. I/D Polimorfizminin dayanıklılık performansına etkileri.....	21
3.4.6. ACE Geni üzerine yapılan çalışmalar ve tartışmalar.....	21
3.5. PPARGC1A Geni ve rs8192678 Polimorfizmi.....	22
3.5.1. PPARGC1A geninin rolü	23

3.5.2. rs8192678 Polimorfizminin aerobik kapasite üzerindeki etkisi	24
3.5.3.PPARGC1A üzerine yapılan araştırma bulguları	25
3.5.4. Gly482Ser (rs8192678) polimorfizmi ve performans ilişkisi.....	25
3.6. NOS3 Geni ve G894T, T786C Polimorfizmleri	26
3.6.1. Gen-çevre etkileşimi ve popülasyon farklılıkları	26
3.6.2. Spor Genetiğinde NOS3'ün Önemi	27
3.6.3. NOS3 geni üzerine yapılan çalışmalar	27
3.7. Diğer Önemli Genetik Varyantlar	27
3.7.1. ADRB2 (Beta-2 adrenerjik reseptör) geni.....	28
3.7.2. HIF1A (Hypoxia-inducible factor 1-alpha) geni	28
3.7.3. BDKRB2 Geni.....	28
4. SPOR İŞİ UYGULAMALARINDA GENETİK TESTLERİN	
UYGULAMALARI VE ETİK BOYUTLARI.....	29
4.1. Sporda Genetik Testlerin Kullanım Alanları	29
4.2. Etik ve Sosyal Boyutlar	29
4.3. Sporcu Seçiminde Genetik Bilginin Rolü	30
4.4. Erken Dönem Sporcu Yönlendirmesi	31
4.5. Uluslararası Yaklaşımlar ve Uygulama Örnekleri	31
4.5.1. Genetik temelli antrenman planlaması	31
4.5.2. Nutrigenetik ve sporcu beslenmesinde kişiselleştirme.....	32
4.5.3. Uygulamada zorluklar ve etik düşünceler	32
4.5.4. Geleceğe yönelik yaklaşımlar.....	32
4.6. Etik Kaygılar ve Düzenleyici Çerçeveler	33
4.6.1. Gizlilik ve mahremiyet	33
4.6.2. Ayrımcılık ve etiketleme riski	33
5. SPOR İŞİ YAPANLARDA FİZİKSEL VE ANTROPOMETRİK	
DEĞERLERE GENEL BİR BAKIŞ	34
5.1. Antropometrik Özelliklerin Tanımı ve Önemi	34
5.2. Vücut Kompozisyonu ve Spor Performansı.....	34
5.3. Somatotip Dağılımı ve Branş Uyumu	34
5.4. Uygulamalı Antropometri ve Seçme-Değerlendirme Süreci	35
5.5. Antropometrik Bulgular ve Yorumları.....	35
5.5.1. Boy, kilo ve vücut kitle indeksi (VKİ) değerleri	35
5.5.2. Yağ oranı ve yağsız vücut kütlesi.....	35

5.5.3. Bel-kalça oranı (WHR) ve gövde oranları.....	36
5.5.4. Somatotip değerlendirmesi	36
6. SPOR İŞİ UYGULAMALARINDA ANTROPOMETRİK TESTLERİN UYGULAMALARI VE ETİK BOYUTLARI.....	37
6.1. Sporda Antropometrik Testlerin Kullanım Alanları	37
6.2. Etik ve Sosyal Boyutlar	37
6.3. Sporcu Seçiminde Antropometrik Bilginin Rolü	37
6.4. Erken Dönem Sporcu Yönlendirmesi	37
6.4.1. Yetenek seçimi ve branşa yönlendirme süreci	38
6.5. Uluslararası Uygulama Örnekleri.....	38
7. METOD.....	39
7.1. Genetik Analiz.....	40
7.2. Antropometrik Analiz	42
7.3. VO ₂ max Test Protokolü	43
8. BULGULAR.....	44
9. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ.....	64

KISALTMALAR

ACE	: Angiotensin-Converting Enzyme (Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim)
AIS	: Australian Institute of Sport (Avustralya Spor Enstitüsü)
BIA	: Bioelectrical Impedance Analysis (Biyoelektrik Empedans Analizi)
BKI	: Body Mass Index
COL5A1	: Collagen Type V Alpha 1 Chain (Tip V Kolajen Alfa 1 Zinciri)
DEXA	: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (Çift Enerjili X-Işını Absorpsiyometrisi)
FIMS	: Fédération Internationale de Médecine du Sport (Uluslararası Spor Hekimliği Federasyonu)
FTO	: Fat Mass and Obesity Associated Gene (Yağ Kütleli ve Obeziteyle İlişkili Gen)
GINA	: Genetic Information Nondiscrimination Act (Genetik Bilgi Ayrımcılığına Karşı Koruma Yasası)
HGP	: Human Genome Project (İnsan Genomu Projesi)
IOC	: International Olympic Committee (Uluslararası Olimpiyat Komitesi)
IGF-1	: Insulin-like Growth Factor-1 (İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-1)
IL6	: Interleukin 6 (İnterlökin-6)
MMP3	: Matrix Metalloproteinase 3 (Matriks Metalloproteinaz-3)
MSTN	: Myostatin (Kas Gelişimini Baskılayan Protein)
NOS3	: Nitric Oxide Synthase 3 (Nitrik Oksit Sentaz 3)
PPARGC1A:	Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha
RFLP	: Restriction Fragment Length Polymorphism (Kısıtlama Parça Uzunluğu Polimorfizmi)
SNP	: Single Nucleotide Polymorphism (Tek Nükleotid Polimorfizmi)
UCP2 /UCP3	: Uncoupling Proteins 2/3 (Mitokondriyal Ayrıcı Proteinler)
VKİ	: Vücut Kitle İndeksi
WADA	: World Anti-Doping Agency (Dünya Anti-Doping Ajansı)
WHR	: Waist-to-Hip Ratio (Bel-Kalça Oranı)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 8.1: Sporcunun Tüm Vücut Kemik Dansitesi	44
Şekil 8.2: Sporcunun BMD Dağılımı	44
Şekil 8.3: Sporcunun Vücut Kompozisyonunun İncelenmesi	45
Şekil 8.4: Sporcunun Sol Femur Antropometrik İncelenmesi	45
Şekil 8.5: Sporcunun Genetik Raporunun Egzersiz İncelenmesi Bölümü.....	45
Şekil 8.6: Sporcunun Genetik Raporunun Egzersizden Sonrası İçin İncelenmesi Bölümü	46
Şekil 8.7: Sporcunun Genetik Raporunun Sakatlık Riski İncelenmesinin Bölümü... 46	46
Şekil 8.8: Sporcunun Genetik Raporunun Kardiyovasküler Cevabın İncelenmesinin Bölümü	47
Şekil 8.9: Sporcunun Genetik Raporunun Vücut Ağırlığının İncelenmesi Bölümü.. 47	47
Şekil 8.10: Sporcunun Genetik Raporunun Performans İncelenmesi Bölümü	48

SPOR ALANINDA HİZMET VERENLERDE GENETİK FAKTÖRLERİN PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Spor eğitmenliği, antrenörlük ve spor hocalığı bir iş dalıdır. Yapılan işin türünde direkt insan sağlığı söz konusu olmaktadır. Yarışma yapan sporcularda, başarı tek hedef olduğundan kas yapılarının geliştirilmesi, yarışma performanslarının en üst düzeye çıkarılması için çeşitli çalışma programları uygulanmaktadır. Kişilerin doğal yatkınlıkları dışında, başarılı olma güdüsü onları çoğu zaman sağlık sorunları ile başbaşa bırakabilmektedir. Oysa bireysel genetik yapısı belirli olan sporcuları, başarılı olma ihtimalleri yüksek spor dallarında yarıştırmak için eğitmek, onların sağlıklarının korunması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu noktada İş sağlığı ve güvenliği kriterleri ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada spor işi yapanların sağlıklarının korunmasının genetik yapılarının ortaya çıkarılması ile nasıl denetlenebileceğinin gerçekliliğini vurgulamak ve bu konuya dikkat çekmek istiyoruz. Çalışmada, özellikle dayanıklılık kapasitesi, enerji metabolizması, toparlanma süreci ve sakatlık riski üzerinde etkili olduğu bilinen genetik varyasyonlar değerlendirilmiştir. Araştırmanın örneklemini, elit düzeyde dayanıklılık sporcuları oluşturmuştur. Katılımcılardan alınan tükürük örnekleri yurt dışında akredite genetik laboratuvarlarda ileri düzey yeni nesil dizileme (NGS) teknolojisi kullanılarak analiz edilmiştir. İncelenen başlıca genler arasında ACTN3, ACE, PPARGC1A, VEGF, NOS3, HIF1A, AMPD1, CKM, UCP2/UCP3 ve MSTN yer almaktadır.

Bulgular, sporcuların genetik profillerinin bireysel olarak farklılaştığını göstermiştir. ACTN3 geninde XX genotipine sahip bireylerde yavaş kas lifi oranı yüksek bulunmuş, ACE geninin I/I genotipi ve PPARGC1A'nın G aleli ise kardiyovasküler kapasite ve mitokondriyal fonksiyonlarla olumlu ilişkilendirilmiştir. Oksijen taşınımı ve hipoksiye adaptasyonda VEGF, NOS3 ve HIF1A varyantlarının rol oynadığı belirlenmiştir. AMPD1 ve UCP2/UCP3 gen varyantları enerji üretimi üzerinde etkili bulunurken, CKM ve IL6 genleri toparlanma sürecini desteklemiştir.

Sonuç olarak, genetik profillerin bilinmesi, sporcularda performans artırıcı bireyselleştirilmiş antrenman ve beslenme stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma, spor genetiğinin uygulamalı alanda kullanılabilirliğini desteklemekte ve kişiselleştirilmiş performans yönetimi için bilimsel bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Spor, Genetik faktörler, Genetik ve performans

EXAMINATION OF THE EFFECTS OF GENETIC FACTORS ON THE PERFORMANCE OF THOSE WORKING IN THE FIELD OF SPORTS

ABSTRACT

Sports training, coaching, and athletic instruction are professional fields where human health is directly involved. In competitive athletes, success is the sole objective, and various training programs are implemented to enhance muscle development and maximize performance. However, the drive for success often leads individuals to face health-related issues beyond their natural predispositions.

Training athletes—whose genetic profiles are known—in sports in which they have a higher potential for success holds great importance for preserving their health. At this point, occupational health and safety standards come to the forefront.

This study aims to emphasize the feasibility of monitoring the health of individuals working in the sports field through the identification of their genetic structures and to draw attention to this issue. The study specifically evaluates genetic variations known to affect endurance capacity, energy metabolism, recovery processes, and injury risk.

The sample group of the study consists of elite-level endurance athletes. Saliva samples collected from participants were analyzed using advanced next-generation sequencing (NGS) technology in accredited genetic laboratories abroad.

The primary genes examined include ACTN3, ACE, PPARGC1A, VEGF, NOS3, HIF1A, AMPD1, CKM, UCP2/UCP3, and MSTN. The findings revealed individual differences in the athletes' genetic profiles. Individuals with the XX genotype of the ACTN3 gene were found to have a higher proportion of slow-twitch muscle fibers. The I/I genotype of the ACE gene and the G allele of the PPARGC1A gene were positively associated with cardiovascular capacity and mitochondrial function.

Variants of VEGF, NOS3, and HIF1A were found to play roles in oxygen transport and adaptation to hypoxia. AMPD1 and UCP2/UCP3 gene variants were shown to affect energy production, while CKM and IL6 genes supported the recovery process.

In conclusion, knowledge of genetic profiles allows for the development of individualized training and nutrition strategies that enhance athletic performance. This study supports the practical application of sports genetics and provides a scientific foundation for personalized performance management.

Keywords: *Sports, Genetic factors, Genetics and performance*

1. GİRİŞ

Spor eğitmenliği ve koçluk, yalnızca fiziksel performansı artırmakla sınırlı olmayan, aynı zamanda bireylerin sağlıklı yaşam biçimlerini sürdürmelerine rehberlik eden ve onları güvenli bir şekilde fiziksel aktivitelere yönlendiren profesyonel bir meslektir. Bu meslek, insan sağlığı üzerinde doğrudan etkili olduğundan, iş sağlığı ve güvenliği ilkeleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Spor eğitmenleri, görevlerini yerine getirirken belirli eğitim programlarından geçmekte ve çeşitli yeterlilik belgeleriyle donatılmaktadır. Genellikle spor bilimleri, antrenörlük eğitimi, egzersiz ve kondisyon gibi alanlarda lisans düzeyinde eğitim alırlar. Ayrıca ilk yardım sertifikası, antrenörlük belgeleri, temel yaşam desteği ve egzersize bağlı riskleri değerlendirme eğitimleri gibi iş sağlığıyla doğrudan ilişkili sertifikalara da sahip olmaları beklenir (Demir & Sevim, 2020).

İş sağlığı ve güvenliği denildiğinde çoğunlukla akla sanayi sektörleri gelse de spor alanında da benzer derecede dikkatli ve bilimsel bir yaklaşım gereklidir. Spor eğitmenliği de kişinin fiziksel kapasitesini, sağlık durumunu ve bireysel farklılıklarını göz önünde bulundurmadan uygulanan her türlü fiziksel aktivite, ciddi sakatlıklara hatta ölümlere neden olabilir. Kalp rahatsızlığı olan bir bireye dayanıklılık antrenmanı yaptırmak ya da kas-iskelet sistemi yeterince gelişmemiş bir bireye ağırlık antrenmanı uygulamak bu duruma örnek verilebilir.

Bu bağlamda, spor eğitmenliğinin temel iş güvenliği sorumluluğu, bireyin fiziksel, psikolojik ve genetik yapısını analiz ederek ona en uygun sportif faaliyeti belirlemek ve süreci güvenli bir şekilde yürütmektir. Bu tezde, spor alanında hizmet veren bireylerde genetik yapıların performansa etkisi incelenirken, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği kapsamında sporcunun bireysel biyolojik farklılıklarının gözetilmesi gerektiği temel bir sav olarak ortaya konmuştur. Tıpkı sanayi alanında olduğu gibi, sporda da 'önce güvenlik' ilkesi, yalnızca teknik tedbirlerle değil, bilimsel veri temelli yaklaşımlarla sağlanmalıdır. Genetik yapıların spor performansı üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve buna dayalı kişiselleştirilmiş spor

uygulamalarının planlanması, iş sağlığı ve güvenliği açısından yeni bir yaklaşım sunmaktadır (Puthuchery et al., 2011; Eynon et al., 2011).

Genetik biliminde yaşanan gelişmeler, bireysel performans farklılıklarının anlaşılmasına önemli katkılar sunmuştur. Spor alanında hizmet veren bireylerin performans düzeyleri yalnızca antrenman geçmişi, beslenme düzeni ve psikososyal faktörlerle değil; aynı zamanda genetik yapı ile de doğrudan ilişkilidir. Nitekim fiziksel performansın kardiyorespiratuar dayanıklılık, kas gücü ve toparlanma süresi gibi bileşenleri genetik faktörlerden %30 ile %85 arasında değişen oranlarda etkilenmektedir (Bouchard ve diğ., 1999; Rankinen ve diğ., 2002).

İnsan Genom Projesi'nin 2000'li yılların başında tamamlanmasıyla birlikte, sportif performansın genetik temellerine dair araştırmalar ivme kazanmıştır. Bu bağlamda, dayanıklılık ve kuvvet sporlarında özellikle ACTN3, ACE, PPARGC1A, VEGF, HIF1A, NOS3, AMPD1 ve UCP genleri gibi polimorfizmlerin bireylerin fiziksel kapasiteleri üzerindeki etkileri çok sayıda çalışmada ortaya konmuştur (Yang ve diğ., 2003; MacArthur & North, 2007; Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).

Örneğin, ACTN3 R577X polimorfizmi, sprint performansında ve dayanıklılık kapasitesinde önemli genetik belirteçlerden biridir. XX genotipi ile karakterize edilen bireylerde hızlı kas lifi oranı düşük, yavaş kas lifi oranı yüksektir. Bu durum, özellikle dayanıklılık sporları için avantaj sağlamaktadır (Ma et al., 2013; Eynon ve diğ., 2013). Öte yandan, ACE geninin I/I genotipi, aerobik kapasitenin artırılması ve düşük kan basıncı ile ilişkilendirilirken (Montgomery ve diğ., 1998), D/D genotipi sprint sporlarında daha iyi performansla ilişkilidir (Myerson ve diğ., 1999).

VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) geni, anjiyogenez ve oksijen taşınımı açısından önemli olup dayanıklılık sporcularında yüksek düzeyde ifade edilmektedir (Prior ve diğ., 2006). PPARGC1A geninin G aleli, mitokondriyal biyogenez ve enerji metabolizması üzerinde olumlu etkilere sahiptir (Eynon ve diğ., 2011). HIF1A, hipoksik ortamda adaptasyonu düzenleyen genlerdendir ve dayanıklılık sporlarında özellikle yükseklik antrenmanlarının etkisini artırabilir (Fayol ve diğ., 2004).

Bunun yanında, CKM (Creatine Kinase Muscle) geni, kas iyileşme süreci ile doğrudan ilişkilidir. CKM genotipi kas hasarına yatkınlığı belirleyebilir (Yamin ve

diğ., 2007). AMPD1 genindeki mutasyonlar, enerji dönüşüm süreçlerini etkileyerek egzersiz sonrası yorgunluk seviyelerini belirlemektedir (Norman ve diğ., 2001).

Pandemi sürecinde sağlık çalışanlarında gözlemlenen performans düşüşleri (Çarıkcı ve Salmanlı, 2022; Ersan ve Süslü, 2022), genetik temelli stres yanıtlarıyla da paralel değerlendirilebilir. Genetik olarak stres ve toparlanma kapasitesinin düşük olması, performans üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Enli Tuncay ve diğ., 2020).

Bu araştırma, spor alanında hizmet veren bireylerin genetik profillerini analiz ederek, performanslarının genetik temellerini anlamayı amaçlamaktadır. Özellikle dayanıklılık, enerji verimliliği, toparlanma hızı ve sakatlık riski gibi temel performans bileşenlerinin genetik varyasyonlarla nasıl ilişkilendiği değerlendirilecektir.

Literatürde bu kapsamda yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olduğundan, bu araştırma hem bilimsel literatüre katkı sunmayı hem de pratik uygulamalarda bireyselleştirilmiş antrenman programlarının planlanmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Bu bağlamda şu sorulara yanıt aranacaktır:

- Spor alanında hizmet veren bireylerin performans düzeylerini etkileyen genetik varyantlar nelerdir?
- Bu varyantların dayanıklılık, kas tipi dağılımı, VO2 max ve toparlanma süresi üzerindeki etkileri nelerdir?
- Genetik bilgi, bireysel antrenman ve beslenme planlamalarında nasıl kullanılabilir?
- Bu çalışmanın bulguları, spor bilimleri ve performans geliştirme alanlarında kişiselleştirilmiş uygulamalar için bilimsel temel sunmayı amaçlamaktadır.

2. SPOR İŞİ PERFORMANSINDA GENETİK FAKTÖRLERİN GENEL BİR İNCELENMESİ

2.1. Genetik ve Çevresel Faktörlerin Etkileşimi

Spor performansı, genetik altyapı ile çevresel faktörlerin karmaşık ve dinamik bir etkileşimi sonucu şekillenen çok boyutlu bir fenomendir (Bouchard ve Hoffman, 2011). Genetik faktörler, bireyin kas lif tipleri, aerobik kapasitesi, enerji metabolizması, kas kuvveti ve iyileşme süreçleri gibi birçok fizyolojik parametresini belirler (Ahmetov ve Fedotovskaya, 2015; Eynon ve ark., 2013). Örneğin, ACTN3 genindeki R577X polimorfizmi, hızlı kas liflerinin gelişimiyle ilişkilendirilmiş ve güç-sprint sporcularında yüksek frekansta gözlemlenmiştir (MacArthur ve North, 2007; Pickering ve Kiely, 2018). Ayrıca, ACE genindeki I/D polimorfizmi dayanıklılık kapasitesiyle korelasyon göstermekte olup, uzun mesafe koşucuları arasında I alleli yüksek oranda bulunmuştur (Montgomery ve ark., 1998; Wang ve ark., 2013).

Bununla birlikte, genetik potansiyelin spor performansına yansımaları yalnızca genetik yapıya bağlı olmayıp, çevresel faktörlerin de belirleyici rolü vardır (Williams ve Folland, 2008). Antrenman programları, beslenme, uyku düzeni, psikolojik durum, sosyoekonomik koşullar ve sosyal destek gibi çevresel etkenler, genetik yatkınlığın fenotipik ifadenmesinde kritik öneme sahiptir (Simoneau ve Bouchard, 1995; Timmons, 2011). Örneğin, aynı genetik profile sahip bireyler, farklı antrenman rejimleri ve beslenme alışkanlıkları nedeniyle farklı performans seviyelerine ulaşabilmektedir (Rankinen ve ark., 2006).

Epigenetik mekanizmalar, genetik ve çevresel etkileşimin merkezinde yer alır. DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve non-kodlayıcı RNA'lar, çevresel faktörlerin (örneğin antrenman, beslenme, stres) gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini düzenleyerek sporcunun adaptasyon yeteneğini şekillendirir (Denham, 2018; Voisin ve ark., 2015). Epigenetik modifikasyonlar, sporcuların antrenman

yanıtlarını ve performans gelişimini etkileyen önemli bir biyolojik mekanizma olarak öne çıkmaktadır (Seaborne ve ark., 2018).

Spor genetiği alanındaki çalışmalar, genetik varyasyonların sporcunun dayanıklılık, güç, hız ve kas kütlesi gibi özelliklerle olan ilişkisini ortaya koyarken, çevresel faktörlerin de bu genetik potansiyelin ortaya çıkışında belirleyici olduğunu göstermektedir (Joyner ve Coyle, 2008; Ahmetov ve Arkhipova, 2016). Ayrıca, genetik testlerin ve biyobelirteçlerin sporcu seçiminde ve kişiye özel antrenman programlarında kullanım potansiyeli artmaktadır (Mann ve Price, 2014).

2.2. Spor Genetiksel Faktörlerin Tarihsel Gelişimi

Spor genomikleri, spor performansını etkileyen genetik faktörlerin incelenmesiyle ilgilenen disiplin olarak son yıllarda hızla gelişmiştir. Genetik araştırmaların spor bilimlerine entegrasyonu, 20. yüzyılın son çeyreğinde moleküler biyoloji ve genetik teknolojilerindeki ilerlemelerle başlamıştır (Bouchard ve Hoffman, 2011). İlk olarak, insan genomunun haritalanması ve DNA dizileme tekniklerinin gelişmesi, sporla ilgili genlerin belirlenmesini mümkün kılmıştır.

1990'larda, genetik polimorfizmlerin fiziksel performans üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Bu dönemde özellikle ACTN3 ve ACE genleri, kas fonksiyonu ve dayanıklılıkla ilişkilendirilerek spor genetiği alanında temel referans genleri haline gelmiştir (Montgomery ve ark., 1998; MacArthur ve North, 2007). Bu bulgular, sporcu seçimi ve performans analizinde genetik testlerin kullanımına yönelik ilk adımları oluşturmuştur.

2003 yılında İnsan Genomu Projesi'nin tamamlanması, spor genomikleri araştırmalarında yeni bir dönemin başlangıcını işaret etmiştir (Collins ve ark., 2003). Bu proje sayesinde, spor performansıyla ilişkili çok sayıda genetik varyasyonun sistematik olarak incelenmesi mümkün hale gelmiş ve genetik profillemeye teknikleri gelişmiştir (Eynon ve ark., 2013).

Son yıllarda, yüksek verimli dizileme teknolojileri (Next Generation Sequencing- NGS) ve biyoinformatik araçların yaygınlaşması, spor genetik çalışmalarının kapsamını genişletmiş ve bireyselleştirilmiş sporcu profillemesi ile antrenman programlarının geliştirilmesini sağlamıştır (Pickering ve Kiely, 2018). Ayrıca, epigenetik mekanizmaların rolünün anlaşılması, sporcuların çevresel

faktörlere verdiği biyolojik yanıtların genetik temelli açıklamalarını derinleştirmiştir (Denham, 2018).

2.3. İnsan Genomu Projesinin Spor Bilimleri Üzerindeki Etkisi

İnsan Genomu Projesi (İGP), 1990 yılında başlatılan ve 2003 yılında tamamlanan, insan genomunun tamamının dizilenmesini hedefleyen büyük ölçekli uluslararası bir bilimsel araştırmadır (Collins ve ark., 2003). Bu projenin temel amacı, insan DNA'sındaki yaklaşık 3 milyar baz çiftinin tam haritasını çıkarmak ve genlerin yerlerini belirlemektir. İnsan Genomu Projesi, biyomedikal araştırmalar alanında olduğu kadar spor bilimlerinde de önemli devrimler yaratmış, spor performansını etkileyen genetik faktörlerin anlaşılmasını büyük ölçüde ilerletmiştir (Eynon ve ark., 2013).

İGP öncesinde spor genetiği araştırmaları sınırlıydı ve daha çok belirli aday genlerin spor performansına etkisi incelenmekteydi. Ancak, İnsan Genomu Projesi'nin tamamlanmasıyla birlikte, genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (Genome-Wide Association Studies -GWAS) yapılabilmeye başlamış ve çok sayıda genetik varyasyonun sporla ilişkisi sistematik olarak araştırılmaya başlanmıştır (Ahmetov ve Fedotovskaya, 2015; Pickering ve Kiely, 2018). Özellikle kas fonksiyonu, enerji metabolizması, dayanıklılık ve kas kuvveti gibi performans özellikleriyle ilişkilendirilen ACTN3, ACE, PPARGC1A, VEGF ve BDKRB2 gibi genler önemli araştırma konuları haline gelmiştir (MacArthur ve North, 2007; Eynon ve ark., 2011).

İGP'nin spor bilimlerine katkıları sadece genetik varyantların belirlenmesiyle sınırlı kalmamış, aynı zamanda kişiye özgü antrenman ve beslenme stratejilerinin geliştirilmesine de olanak sağlamıştır. Genetik profil çıkarma yöntemleri sayesinde, sporcuların antrenman kapasiteleri, sakatlanma riskleri ve iyileşme süreçleri genetik faktörler göz önünde bulundurularak optimize edilebilmektedir (Mann ve Price, 2014). Böylelikle, genetik bilginin kişiselleştirilmiş antrenman programlarına entegre edilmesi sporcu performansının artırılmasında yeni yaklaşımlar sunmuştur (Pickering ve Kiely, 2018).

İnsan Genomu Projesi aynı zamanda epigenetik alanında da önemli ilerlemelerin önünü açmıştır. Spor performansı ve adaptasyonunda genlerin ifade

düzenlenmesini etkileyen epigenetik mekanizmalar (metilasyon, histon modifikasyonları vb.) üzerine yapılan araştırmalar, İGP sonrası gelişen teknolojilerle hız kazanmıştır (Denham, 2018; Voisin ve ark., 2015). Bu çalışmalar, genetik yapının yanı sıra çevresel faktörlerin (beslenme, antrenman, uyku gibi) spor performansına etkilerini daha bütüncül bir şekilde anlamaya imkân sağlamaktadır.

İGP'nin spor bilimlerine olan bir diğer etkisi ise genetik testlerin etik boyutunda yaşanmıştır. Genetik bilginin sporda kullanımıyla ilgili gizlilik, ayrımcılık ve etik sorunlar tartışılmaya başlanmış, spor federasyonları ve sağlık otoriteleri bu konularda düzenlemeler geliştirmiştir (Mann ve Price, 2014). Ayrıca, doping kontrolünde genetik bilgi kullanımının önemi artmış, sporcuların biyolojik pasaportları ve genetik profilleri üzerinden dopingle mücadelede yeni stratejiler ortaya konmuştur (Schumacher ve ark., 2019).

Teknolojik ilerlemelerle birlikte, İnsan Genomu Projesi sonrası geliştirilen yüksek verimli dizileme (NGS) ve biyoinformatik analiz teknikleri, spor genomik araştırmalarının kapsamını genişletmiştir. Çoklu omik yaklaşımlar (genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik) sayesinde spor performansını belirleyen karmaşık biyolojik ağlar çözümlenmektedir (Murgia ve ark., 2017). Bu çok katmanlı analizler, genetik varyantların yanı sıra çevresel faktörlerin de etkisini ortaya koyarak spor bilimlerinde bireyselleştirilmiş tıp ve performans optimizasyonu kavramlarını güçlendirmiştir (Bouchard ve Hoffman, 2011).

2.4. Genetik Varyantların Atletik Performans Üzerindeki Genel Bulgular

Atletik performansın biyolojik temelini anlamak, spor bilimlerinde son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Bu bağlamda, genetik faktörlerin spor performansına etkisi, çok sayıda bilimsel araştırmanın odak noktası haline gelmiştir (Bouchard & Hoffman, 2011). İnsan genomundaki varyasyonların, kas kasılma özellikleri, enerji metabolizması, oksijen taşıma kapasitesi ve nöromüsküler fonksiyon gibi performansın temel bileşenlerini etkilediği bilinmektedir (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015). Bu nedenle, genetik yapının atletik performans üzerindeki etkisini çözmek hem sporcu seçimi hem de kişiselleştirilmiş antrenman programlarının geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

En çok incelenen genlerden biri olan ACTN3 geni, hızlı kasılan kas liflerinde bulunan alfa-aktinin-3 proteinini kodlar. Bu proteinin varlığı, yüksek hız ve güç gerektiren spor dallarında üstün performansla ilişkilendirilmiştir. Özellikle R577X polimorfizmi, protein üretimini tamamen durdurabilmekte ve bu durum atletik performansta farklılıklar yaratmaktadır. MacArthur ve North (2007) ile Yang ve arkadaşlarının (2003) yaptıkları çalışmalar, R allelinin sprinterlerde ve güç sporcularında daha yaygın olduğunu, X allelinin ise dayanıklılık sporcularında daha sık bulunduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, kas liflerinin tipine ve fonksiyonuna bağlı olarak genetik varyasyonların performans üzerindeki etkisinin farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, ACE geni spor performansının önemli belirleyicilerinden biridir. ACE'nin I/D polimorfizmi, kardiyovasküler sistemin verimliliğini etkileyerek dayanıklılık ve güç kapasitesini değiştirmektedir. Montgomery ve arkadaşları (1998) ile Williams ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan araştırmalar, I alelinin dayanıklılık sporcularında, D alelinin ise kuvvet ve sprint performansına eğilimli sporcularda daha yüksek frekansla bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu genetik varyasyonun etkisi, antrenman adaptasyonları ve fiziksel kapasite ile yakından ilişkilidir.

Ancak, günümüzde spor performansının tek bir gen tarafından belirlenmediği; bunun yerine çok sayıda genin küçük etkilerinin toplamıyla şekillendiği kabul edilmektedir (Timmons, 2011). Spor genomu üzerine yapılan geniş çaplı genomik çalışmalar (GWAS), performansla ilişkili çok sayıda yeni gen varyantını ortaya çıkarmıştır. Örneğin, PPARGC1A kas metabolizması ve mitokondri biyogenezi, EPAS1 oksijen duyarlılığı ve IL6 inflamatuvar yanıt mekanizmalarında rol oynayarak performans üzerinde etkili olabilmektedir (Ahmetov ve ark., 2016; Eynon ve ark., 2011). Bu varyantların her biri, atletik performansın farklı bileşenlerine katkıda bulunur ve çevresel faktörlerle karmaşık etkileşim içerisindedir.

Performansın sadece genetik varyantlardan değil, aynı zamanda epigenetik düzenleyicilerden de etkilendiği gösterilmiştir. Egzersiz ve antrenman gibi çevresel faktörler, DNA metilasyonu ve histon modifikasyonları gibi epigenetik mekanizmalar yoluyla gen ifadesini değiştirebilir. Denham (2018), bu değişikliklerin sporcuların kas adaptasyonu, iyileşme süreçleri ve dayanıklılık kapasitesinde önemli

etkiler yarattığını belirtmiştir. Böylece, genetik potansiyel çevresel uyaranlarla şekillenmekte ve performansa yansımaktadır.

2.5. Spor Performansında Çevresel Faktörlerin İncelenmesi

Spor performansı, sadece genetik yapı ile sınırlı kalmayıp, çevresel faktörlerin de etkileşimi ile şekillenen çok boyutlu bir olgudur (Bouchard & Hoffman, 2011). Atletlerin fiziksel kapasitesi, teknik becerileri ve psikolojik dayanıklılıkları; antrenman koşulları, beslenme alışkanlıkları, uyku düzeni, psikososyal destek ve çevresel etmenlerin etkisiyle belirgin şekilde değişiklik gösterebilir (Reilly ve Williams, 2003). Bu nedenle, spor bilimlerinde çevresel faktörlerin incelenmesi, performans optimizasyonu ve sporcu gelişiminin anlaşılması açısından kritik bir alan olarak kabul edilmektedir.

Antrenman, spor performansında çevresel faktörlerin en temel bileşenidir. Düzenli ve sistematik antrenmanlar, kaslarda hipertrofi, nöromusküler koordinasyonun gelişimi ve kardiyovasküler kapasitenin artışı gibi olumlu adaptasyonları tetikler (Hawley, 2002). Antrenmanın süresi, yoğunluğu ve türü, spor dalına göre farklılık gösterir ve performans gelişiminde belirleyici rol oynar. Ayrıca, antrenman yükünün uygun yönetimi, aşırı yorgunluk ve sakatlanmaların önlenmesinde önem taşır (Foster ve ark., 1996).

Beslenme, sporcuların enerji ihtiyacını karşılayan ve iyileşme süreçlerini destekleyen kritik bir çevresel faktördür. Makro ve mikro besin öğelerinin dengeli alınması, performansın sürdürülebilirliği açısından zorunludur (Burke ve Deakin, 2015). Örneğin, karbonhidratların yeterli tüketimi dayanıklılık sporcularında kas glikojen depolarını optimize ederken, protein alımı kas onarımı ve büyümesini destekler (Phillips, 2014). Ayrıca, hidrasyon durumu ve elektrolit dengesi de spor performansında önemli rol oynar (Sawka ve ark., 2007).

Beslenmenin sporcular açısından “kritik bir çevresel faktör” olarak tanımlanmasının temelinde, vücudun fiziksel efor sırasında ve sonrasında duyduğu biyolojik ihtiyaçların doğrudan besinlerle karşılanıyor olması yatar. Antrenmanla artan metabolik gereksinimler, doku onarımı, bağışıklık sistemi yanıtları ve enerji üretimi gibi birçok fizyolojik sürecin devamlılığı, ancak yeterli ve dengeli bir beslenme ile sağlanabilir. Bu durumu aşağıdaki şekilde detaylandırabiliriz:

Sporcuların günlük enerji harcaması, sedanter bireylere kıyasla çok daha yüksektir. Bu enerji ihtiyacı, özellikle karbonhidratlar ve yağlar gibi makro besin öğeleri aracılığıyla karşılanır. Karbonhidratlar, özellikle yüksek yoğunluklu egzersizler sırasında birincil enerji kaynağı olarak kullanılır. Kas glikojen depolarının yeterli düzeyde olması, egzersiz süresince performansın korunmasını sağlar (Burke & Deakin, 2015). Glikojenin tükenmesi durumunda ise yorgunluk erken ortaya çıkar. Yoğun fiziksel aktivite, kas dokusunda mikro düzeyde yıpranmalara neden olur. Proteinler, bu hasarlı dokuların onarılmasında ve adaptasyon süreçlerinde rol oynar. Özellikle direnç antrenmanları sonrası yeterli protein alımı, kas protein sentezini artırarak hipertrofi ve güç artışı sağlar (Phillips, 2014). Aynı zamanda amino asitler, bağışıklık fonksiyonları ve hormon üretimi gibi süreçlerde de görev alır. Egzersiz sonrası toparlanma süreci, bir sonraki antrenmana hazır olabilmek için kritik öneme sahiptir. Bu süreçte glikojen depolarının yenilenmesi, kas dokusunun tamiri ve hidrasyonun sağlanması gerekir. Beslenme; bu süreçlerin hızlandırılmasında temel role sahiptir. Doğru zamanlamayla alınan karbonhidrat ve protein kombinasyonları, toparlanma sürecini optimize eder. Sporcular, ter yoluyla ciddi miktarda sıvı ve elektrolit kaybeder. Bu kayıpların yerine konmaması, performans düşüklüğü, kas krampları, termoregülasyon bozuklukları ve hatta hiponatremi gibi risklere yol açabilir (Sawka et al., 2007). Bu nedenle hem egzersiz öncesi hem sonrası hem de sonrası uygun sıvı ve elektrolit alımı sağlanmalıdır. Yoğun antrenman dönemlerinde bağışıklık sistemi baskılanabilir. Özellikle yetersiz enerji ve mikronutrient (örneğin; demir, çinko, D vitamini, C vitamini) alımı, enfeksiyon riskini artırabilir. Beslenme, bağışıklık sistemini destekleyerek sporcuların antrenmanlara kesintisiz devam edebilmesini sağlar. Yetersiz beslenme sadece anlık performansı değil, uzun vadede spor kariyerini de olumsuz etkileyebilir. Enerji yetersizliği, kemik yoğunluğunda azalma, adet düzensizlikleri, yaralanmalara yatkınlık ve aşırı yorgunluk gibi durumlara neden olabilir. Bu da "Kadın Atlet Triadı" ya da daha geniş çerçevede "Enerji Yetersizliği ile İlişkili Sporcularda Performans Bozukluğu (RED-S)" gibi sendromların ortaya çıkmasına zemin hazırlar.

Uyku ve dinlenme, performansın korunması ve geliştirilmesinde göz ardı edilmemesi gereken çevresel unsurlardandır. Yetersiz uyku, reaksiyon süresi, bilişsel fonksiyonlar ve kas onarımı gibi performansla ilişkili süreçleri olumsuz etkiler

(Fullagar ve ark., 2015). Düzenli ve kaliteli uyku, hormonal dengeyi ve immün sistemi destekleyerek sporcuların optimal kondisyonunu sağlar (Samuels, 2008).

Yetersiz uyku, özellikle dikkat ve reaksiyon süresini olumsuz etkiler. Uyku eksikliği yaşayan bireylerde sinir sistemi uyarılarının işlenmesi yavaşlar, bu da reflekslerin ve karar verme hızının düşmesine neden olur. Sporcular açısından bu durum; start tepkisinin gecikmesi, teknik uygulamalarda zamanlama hataları veya ani karar gerektiren durumlarda başarısızlık anlamına gelir. Özellikle sürat, çeviklik ve oyun içi kararların kritik olduğu sporlarda performansı ciddi biçimde düşürür (Fullagar ve ark., 2015). Uyku; bellek, dikkat, konsantrasyon, öğrenme ve problem çözme gibi bilişsel süreçleri destekleyen temel bir fizyolojik gereksinimdir. Antrenmanlar sırasında öğrenilen motor becerilerin kalıcı hâle gelmesi, ancak yeterli uyku ile mümkündür (Walker & Stickgold, 2004). Ayrıca, maç stratejilerinin anlaşılması ve doğru uygulanması da bilişsel işlevlerin sağlıklı çalışmasına bağlıdır. Uykusuzluk, bu alanlarda bilişsel bulanıklık yaratır ve sporcunun oyun okuma kabiliyetini zayıflatır. Kas dokusunun onarımı ve büyümesi, büyük oranda gece uykusu sırasında salgılanan büyüme hormonu (growth hormone) ile gerçekleşir. Uyku yetersizliği bu hormonun salınımını azaltarak kas onarımı, protein sentezi ve genel iyileşme süreçlerini yavaşlatır. Bu durum, antrenman adaptasyonunu bozar ve sakatlanma riskini artırır. Ayrıca, bağışıklık sisteminin baskılanması da iyileşmeyi olumsuz etkileyebilir. Uyku, leptin ve ghrelin gibi iştah düzenleyici hormonların dengesini etkiler. Uyku yetersizliği bu dengenin bozulmasına neden olarak sporcularda enerji alımı kontrolünü zorlaştırır, istenmeyen kilo değişikliklerine ya da yetersiz beslenmeye neden olabilir. Aynı zamanda kortizol gibi stres hormonlarının artışı da hem psikolojik yükü hem de inflamatuvar yanıtı artırır (Samuels, 2008).

Psikososyal faktörler de çevresel etkiler arasında önemli bir yer tutar. Motivasyon, özgüven, stres yönetimi ve sosyal destek, performansı doğrudan etkileyen psikolojik dinamiklerdir (Weinberg & Gould, 2014). Sporcuların aile, antrenör ve takım arkadaşlarıyla kurduğu olumlu ilişkiler, motivasyonun yükselmesine ve mental dayanıklılığın artmasına katkı sağlar (Gould & Udry, 1994).

Çevresel faktörler arasında ayrıca iklim ve yüksek irtifa gibi doğal koşullar da performansı etkileyebilir. Sıcak ve nemli hava, vücut ısısının yükselmesine ve dehidrasyona neden olarak dayanıklılığı azaltırken (Maughan & Shirreffs, 2008), soğuk ortamlar kas fonksiyonlarını sınırlayabilir (Nybo ve ark., 2014). Yüksek irtifa

antrenmanları ise, oksijen taşınımını artırarak performansın bazı yönlerini iyileştirebilir; ancak adaptasyon süreci dikkatle yönetilmelidir (Levine & Stray-Gundersen, 1997).



3. GENETİK VARYANTLARIN İŞ PERFORMANSINA ETKİSİ

3.1. Genetik Kavramı

Genetik, canlı organizmaların kalıtsal özelliklerinin nasıl aktarıldığını ve bu özelliklerin moleküler düzeyde nasıl kontrol edildiğini inceleyen biyolojik bir bilim dalıdır. Temel olarak genetik, DNA adı verilen nükleik asit zincirlerinde yer alan genetik bilgilerin nesilden nesile geçişini ve bu bilgilerin bireylerin fenotipik özelliklerini nasıl etkilediğini açıklamaya çalışır (Griffiths et al., 2015). “Gen” terimi, belirli bir proteinin sentezinden sorumlu olan DNA dizisini ifade ederken; bireyin genetik yapısının tamamı “genom” kavramıyla ifade edilir. Her bireyin genomu, farklı genetik varyantlar ve dizilimler içermekte, bu da bireyler arası fiziksel, fizyolojik ve davranışsal farklılıkların temelini oluşturmaktadır (Alberts et al., 2014).

Genetik bilimi, tarihsel olarak Mendel’in bezelye bitkileri üzerinde yaptığı çalışmalarla temellenmiştir. Mendel, belirli karakterlerin matematiksel oranlarla sonraki kuşaklara aktarıldığını göstermiştir (Mendel, 1865). Ancak modern genetik, yalnızca kalıtımı değil; aynı zamanda gen ifadesini, genetik mutasyonları, DNA replikasyon mekanizmalarını ve genetik hastalıkların kökenlerini de incelemektedir.

Moleküler genetik alanındaki gelişmelerle birlikte, genlerin yalnızca biyolojik yapıların değil, aynı zamanda performans, dayanıklılık, öğrenme kapasitesi gibi karmaşık fonksiyonların da belirlenmesinde rol oynadığı anlaşılmıştır. İnsan genom projesi (Human Genome Project) sonrası, bireylerin genetik dizilimlerinin analiz edilmesiyle birçok hastalığın genetik temeli aydınlatılmış, bunun yanında spor performansı gibi fizyolojik özelliklerin de genetik boyutu gündeme gelmiştir (Collins et al., 2003).

Bu bağlamda, genetik kavramı yalnızca kalıtımın incelenmesi değil; aynı zamanda bireysel farklılıkların, çevresel uyarılara verilen yanıtların ve biyolojik adaptasyon süreçlerinin temelini oluşturan çok yönlü bir bilimsel çerçeveyi temsil eder. Genetik yapının bireysel performans, kas lifi tipi, oksijen taşıma kapasitesi,

enerji metabolizması ve hatta motivasyon düzeyi gibi alanlarla ilişkisi, özellikle spor bilimleri açısından büyük bir önem taşımaktadır (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).

Genetik biliminin sporla ilişkili araştırmalarında sıklıkla karşılaşılan kavramlar arasında genetik polimorfizm, gen ekspresyonu, epigenetik mekanizmalar ve genetik yatkınlık yer almaktadır. “Genetik polimorfizm” terimi, bir popülasyonda belirli bir gen bölgesinde iki veya daha fazla alelin bulunması durumunu ifade eder ve bu farklılıklar bireylerin aynı çevresel koşullara farklı tepkiler vermelerine neden olabilir (Bouchard et al., 2011). Bu açıdan genetik yapı, bireyin çevresel koşullara adaptasyon kapasitesini şekillendirmekte ve kişisel gelişimi önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

3.1.1 İş genetiği kavramı ve önemi

Günümüzde genetik bilimi yalnızca sağlık, biyoloji veya tıp alanlarıyla sınırlı kalmayıp, giderek daha fazla şekilde iş yaşamı, performans yönetimi ve organizasyonel davranış gibi disiplinlerde de etkisini göstermektedir. Bu bağlamda ortaya çıkan “iş genetiği” kavramı, bireylerin genetik yapılarının; işe yatkınlık, stresle başa çıkma kapasitesi, liderlik potansiyeli, risk alma eğilimi, motivasyon düzeyi ve bilişsel yetenekler gibi iş performansını doğrudan veya dolaylı etkileyen unsurlar üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır (Roberts et al., 2007).

İş genetiği, özellikle insan kaynakları yönetimi, yetenek yönetimi ve organizasyonel psikoloji alanlarında, bireylerin genetik yatkınlıklarını dikkate alan daha özelleştirilmiş ve veriye dayalı stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşıma göre, bireyin iş ortamındaki davranışları yalnızca sosyo-kültürel çevresiyle değil, aynı zamanda genetik altyapısıyla da şekillenmektedir (Plomin et al., 2013). Örneğin; dopamin reseptör genleri (DRD4), yenilik arayışı ve girişimcilik eğilimiyle ilişkilendirilmiştir (Shane et al., 2010). Benzer şekilde serotonin taşıyıcı geninde (5-HTTLPR) bulunan varyantlar, bireylerin stresli durumlara verdiği duygusal tepkiler üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Caspi et al., 2003).

İş yaşamında başarıya ulaşmak için gerekli olan “duygusal dayanıklılık” (resilience), problem çözme becerileri, liderlik kapasitesi ve adaptasyon yeteneği gibi becerilerin bir kısmının kalıtsal olarak bireyden bireye değiştiği bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Judge et al., 2002). Bu nedenle, iş genetiği; bireylerin iş

ortamlarındaki potansiyellerinin daha bütüncül bir şekilde analiz edilmesine katkı sunmaktadır.

Ayrıca epigenetik mekanizmalar da iş yaşamındaki performansı etkileyen önemli bir boyut sunmaktadır. Epigenetik, genetik yapının dışındaki çevresel faktörlerin (örneğin; iş ortamı, liderlik tarzı, iş stresi gibi) gen ifadesi üzerindeki etkisini açıklamaktadır (Zhang & Meaney, 2010). Dolayısıyla, bireyin potansiyel yetkinlikleri yalnızca doğuştan gelen genetik mirasıyla sınırlı olmayıp, iş yaşamı boyunca maruz kaldığı çevresel uyarıcılarla şekillenebilir ve dönüşebilir.

İş genetiğinin önemini artıran bir diğer unsur, kişiselleştirilmiş liderlik ve performans yönetimi uygulamalarına duyulan ihtiyaçtır. Geleneksel “herkese uyan tek model” yaklaşımı, farklı genetik ve psikolojik yapıya sahip bireyler karşısında yetersiz kalmakta; bu nedenle modern işletmeler, çalışan profillerini daha derinlemesine anlamaya yönelik genetik temelli analizlere yönelmektedir (Bouchard & Loehlin, 2001).

Ancak iş genetiği konusundaki çalışmalar, etik boyutları da beraberinde getirmektedir. Çalışanların genetik bilgilerine dayalı işe alım ya da görev dağılımı süreçleri, ayrımcılık riskleri taşıyabileceğinden bu alanda ulusal ve uluslararası düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Clayton et al., 2013). Buna rağmen, genetik temelli farkındalığın artırılması hem bireysel kariyer planlamalarında hem de kurumsal stratejilerin belirlenmesinde önemli avantajlar sunmaktadır.

3.2. Genetiğin Tarihsel Gelişimi

Genetik bilimi, canlıların kalıtsal özelliklerinin nasıl aktarıldığını ve bu özelliklerin nesiller boyu nasıl korunduğunu anlamaya çalışan disiplinlerarası bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır. Genetik biliminin tarihsel gelişimi, yalnızca biyoloji ve tıbbın değil, aynı zamanda spor bilimi, tarım, psikoloji ve hatta sosyolojinin de evrimsel sürecini etkilemiş ve şekillendirmiştir. Bu bağlamda genetik; bilimsel devrimlerin itici gücü, sağlık bilimlerinin temel taşı ve bireysel farklılıkların bilimsel açıklaması olmuştur (Griffiths et al., 2015).

Genetik biliminin temelleri, 19. yüzyılda Gregor Johann Mendel’in yaptığı bezelye deneylerine dayanmaktadır. Mendel, kalıtsal özelliklerin ebeveynlerden çocuklara belirli oranlarla geçtiğini matematiksel bir yaklaşımla ortaya koymuş ve

“kalıtım yasaları” olarak bilinen ilk temel kuralları geliştirmiştir (Mendel, 1866). Ancak Mendel’in çalışmaları, yaşadığı dönemde bilim camiası tarafından yeterince anlaşılmamış ve ancak 20. yüzyılın başlarında Hugo de Vries, Carl Correns ve Erich von Tschermak gibi bilim insanlarının çalışmalarıyla yeniden keşfedilmiştir (Olby, 1985).

20.yüzyılın başlarında genetik bilimi hızla gelişmiş; Thomas Hunt Morgan’ın meyve sinekleri üzerinde yaptığı deneyler, genlerin kromozomlar üzerinde yer aldığını göstermiştir. Bu alışmalar, modern genetik biliminin yönünü belirlemiş ve kromozom teorisinin temellerini atmıştır (Morgan, 1915). 1940’lı yıllara geldiğinde Avery, MacLeod ve McCarty’nin bakteriyel dönüşüm deneyleri, DNA’nın kalıtsal materyal olduğunu ortaya koymuş ve moleküler genetik döneminin başlangıcını işaret etmiştir (Avery et al., 1944).

1953 yılında James Watson ve Francis Crick, Rosalind Franklin’in katkılarıyla DNA’nın çift sarmallı yapısını keşfetmişlerdir. Bu keşif, genetik biliminin seyrini değiştirmiş ve günümüz moleküler biyolojisinin temellerini atmıştır (Watson & Crick, 1953). DNA’nın yapısının anlaşılması, kalıtım mekanizmalarının moleküler düzeyde incelenebilmesini sağlamış; genetik mühendisliği, biyoteknoloji ve gen tedavisi gibi alt disiplinlerin gelişmesinin önünü açmıştır (Alberts et al., 2014).

1970’li yıllarda genetik mühendisliğinin gelişmesiyle birlikte rekombinant DNA teknolojileri, insülin gibi biyolojik ürünlerin laboratuvar ortamında retilbilmesini mümkün kılmıştır. Aynı dönemde geliştirilen PCR (polimeraz zincir reaksiyonu) gibi teknikler, DNA’nın çok küçük miktarlarda bile çoğaltılmasına ve analiz edilmesine olanak tanımıştır (Mullis & Faloona, 1987). Bu teknik ilerlemeler sayesinde genetik, sadece laboratuvar ortamlarında değil, adli bilimler, tarım ve spor bilimleri gibi alanlarda da etkili bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir.

1990 yılında başlatılan ve 2003 yılında tamamlanan İnsan Genomu Projesi (Human Genome Project), insan genomunun tüm dizilimini çözümleyerek, genetik biliminin en büyük başarılarından biri olmuştur. Bu proje sayesinde insan DNA’sındaki yaklaşık 20.000-25.000 genin haritası çıkarılmış, kalıtımsal hastalıkların genetik temelleri daha iyi anlaşılmış ve bireyselleştirilmiş tıp kavramı doğmuştur (Collins et al., 2003).

Günümüzde genetik bilimi; epigenetik, genomik, proteomik ve metabolomik gibi ileri düzey alanlarla daha da derinleşmiş, çevresel faktörlerle genetik yapı arasındaki karmaşık ilişkiler daha net ortaya konmuştur. Bu gelişmeler spor biliminden farmakolojiye, tarımdan psikiyatriye kadar birçok disiplinde uygulanmakta ve bireysel farklılıkların anlaşılmasına olanak sağlamaktadır (Feero et al., 2010).

3.3. Dayanıklılık Sporlarının Tanımı ve Özellikleri

Dayanıklılık sporları, bireyin uzun süreli fiziksel aktiviteyi sürdürebilme yetisini temel alan, aerobik kapasiteye dayalı sporlardır. Bu spor türlerinde başarı, esas olarak kardiyovasküler ve solunum sistemlerinin oksijen taşıma ve kullanım verimliliğine, enerji metabolizmasının sürekliliğine ve psikolojik dayanıklılığa bağlıdır (Bassett & Howley, 2000).

Genel olarak 5 dakikadan daha uzun süren, düşük ila orta şiddette fakat sürekli tekrarlanan hareketlerden oluşan sporlar "dayanıklılık sporları" kategorisine girer. Maraton koşusu, triatlon, bisiklet, yüzme, kayaklı koşu ve kürek gibi branşlar bu gruba örnek olarak verilebilir (Joyner & Coyle, 2008). Bu sporlar, genellikle yüksek aerobik kapasite (VO_2 max), laktat eşiği, kas dayanıklılığı ve enerji kullanım verimliliği gibi fizyolojik göstergelerle değerlendirilir (Midgley et al., 2007).

Dayanıklılık sporcularında anahtar fizyolojik belirleyiciler, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Maksimal Oksijen Tüketimi (VO_2 max): Aerobik kapasitenin en temel göstergesidir. Vücuda alınan ve kullanılan maksimum oksijen miktarını ifade eder. Genetik yapı bu kapasitenin yaklaşık %50'sini belirlerken, düzenli antrenmanlarla artırılabilir (Bouchard et al., 1999).

Laktat Eşiği: Egzersiz sırasında laktat birikiminin başladığı yoğunluk seviyesidir. Bu eşik ne kadar yüksekse, sporcu aynı yoğunlukta daha uzun süre dayanabilir (Billat, 1996).

Kas Lif Tipleri: Dayanıklılık sporcularında yavaş kasılan (tip I) liflerin oranı daha fazladır. Bu lifler, yüksek mitokondri yoğunluğuna ve aerobik enerji üretimine olan yatkınlıklarıyla bilinir (Saltin & Gollnick, 1983).

Ekonomiklik (Running/Cycling Economy): Aynı hızda daha az enerji harcayarak performansı sürdürebilme kapasitesidir. Genetik yapı ve teknik beceriler bu yetiyi etkiler (Saunders et al., 2004).

Yağ ve Karbonhidrat Kullanımı: Enerji sistemlerinin verimli çalışması dayanıklılık süresini doğrudan etkiler. Eğitimli sporcularda glikojen depolarının daha ekonomik kullanımı ve yağ oksidasyonunun etkinliği gelişmiştir (Jeukendrup, 2011).

Bunlara ek olarak, psikolojik faktörler de dayanıklılık sporlarında belirleyici olabilir. Özellikle motivasyon, odaklanma, stres toleransı ve ağrı eşiği gibi bireysel farklılıklar, uzun süreli fiziksel yüklenmelere karşı verilen tepkilerde önemli rol oynar (Kreher & Schwartz, 2012).

Dayanıklılık sporlarının karakteristik özellikleri yalnızca fizyolojik yapıyla sınırlı değildir. Çevresel koşullar (rakım, sıcaklık, nem), beslenme düzeni, uyku kalitesi ve antrenman stratejileri de performans üzerinde belirleyici etkiler oluşturur. Ayrıca son yıllarda genetik bilimindeki ilerlemeler, bireylerin dayanıklılık sporlarına olan yatkınlıklarının genetik belirleyicilerle açıklanabileceğini göstermektedir. Özellikle ACE, ACTN3, PPARGC1A ve VEGF gibi gen varyantlarının, dayanıklılık kapasitesi ve antrenman adaptasyonları ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Eynon et al., 2013; Lucia et al., 2006).

Dayanıklılık sporları ayrıca uzun dönemli antrenman süreci gerektirir ve sporcular genellikle yıllar süren sistemli bir hazırlıkla en üst düzeye ulaşabilir. Bu süreçte overtraining (aşırı antrenman) ve antrenman-yorgunluk dengesi gibi faktörler dikkatle takip edilmelidir (Meeusen et al., 2013).

3.4. ACE Geni ve I/D Polimorfizmi

ACE (Angiotensin Converting Enzyme) geni, insan genomunun 17. kromozomunda yer almakta olup renin-anjiyotensin sisteminin temel düzenleyici elemanlarından biri olarak görev yapar. Bu genin ürünü olan enzim, anjiyotensin I'i güçlü bir vazokonstriktör olan anjiyotensin II'ye çevirerek kan basıncının düzenlenmesinde ve kardiyovasküler işlevlerin sürdürülmesinde önemli rol oynar (Rigat et al., 1990).

ACE geninde, intron 16 bölgesinde yer alan ve yaklaşık 287 baz çifti uzunluğunda bir insersiyon/delesyon (I/D) polimorfizmi bulunmaktadır. Bu

polimorfizm, genetik olarak üç farklı genotipin ortaya çıkmasına neden olur: II (insersiyon/insersiyon), ID (insersiyon/delesyon) ve DD (delesyon/delesyon). Bu genotiplerin bireylerin fizyolojik özelliklerine ve sportif performanslarına olan etkileri, son yıllarda spor genetiği alanında yoğun olarak araştırılmaktadır (Montgomery et al., 1998).

3.4.1 ACE Genotiplerinin fizyolojik etkileri

II Genotipi: İnsersiyon alleleline sahip bireylerde ACE aktivitesi genellikle daha düşüktür. Bu durum, daha düşük kas içi anjiyotensin II seviyeleri, artmış bradikinin birikimi ve sonuç olarak vazodilatasyonun artışı ile ilişkilendirilir. II genotipi, özellikle oksijen kullanım verimliliği ve mitokondriyal biyogenez açısından daha avantajlı kabul edilir ve genellikle dayanıklılık sporcularında daha yüksek oranlarda gözlemlenir (Myerson et al., 1999; Nazarov et al., 2001).

DD Genotipi: Bu genotipe sahip bireylerde ACE enziminin plazmadaki aktivitesi daha yüksektir. DD genotipi, kas hipertrofisi, hızlı kuvvet üretimi ve kısa süreli yüksek yoğunluklu aktivitelerde performans ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle, kuvvet ve sürat gerektiren spor dallarında bu genotipin avantaj sağladığı düşünülmektedir (Williams et al., 2000).

ID Genotipi: Hem dayanıklılık hem de kuvvet performansı açısından orta düzeyde özellikler sergilediği kabul edilir. Bazı çalışmalarda ID genotipinin, her iki uç özellik arasında denge sağlayan bir yapıda olduğu ifade edilmiştir (Puthuchery et al., 2011).

3.4.2. Spor performansında ACE polimorfizminin rolü

Dayanıklılık sporcuları üzerinde yapılan çalışmalar, II genotipinin uzun süreli egzersiz sırasında daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin, elit seviyede dağ koşucuları, triatletler ve uzun mesafe yüzücüler arasında II genotipinin daha yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2003). Bununla birlikte, halter, sprint ve kısa mesafe yüzme gibi patlayıcı güç gerektiren branşlarda ise DD genotipinin daha yaygın olduğu bildirilmiştir (Eider et al., 2013).

Ancak, bazı meta-analiz çalışmalarında bu ilişkinin tüm popülasyonlar için genellenemeyeceği, genotip-fenotip ilişkisinde etnik köken, antrenman düzeyi, çevresel faktörler ve epigenetik modifikasyonlar gibi etkenlerin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır (Ma et al., 2013).

3.4.3. Klinik ve sportif uygulamalarda ACE polimorfizminin önemi

ACE genotipinin belirlenmesi, sporcu adaylarının bireysel potansiyellerinin öngörülmesinde, antrenman programlarının genetik yapıya uygun olarak planlanmasında ve sakatlık risklerinin azaltılmasında kullanılabilecek önemli bir biyobelirteç olarak değerlendirilmektedir (Collins et al., 2004). Bununla birlikte, genetik testlerin etik sınırlar içinde ve multidisipliner bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır (Pitsiladis et al., 2016)

3.4.4. ACE geninin fonksiyonu

ACE (Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim) geni, vücudun kan basıncını ve sıvı dengesini düzenleyen renin-anjiyotensin-aldosteron sistemi (RAAS) içinde kritik bir rol oynar. ACE enzimi, inaktif olan anjiyotensin I molekülünü güçlü bir vazokonstriktör olan anjiyotensin II'ye dönüştürür. Anjiyotensin II, damarların daralmasını sağlayarak kan basıncını yükseltir ve böbreküstü bezlerinden aldosteron salgılanmasını tetikleyerek sodyum ve su tutulumunu artırır. Böylece, damar direnci ve kan hacmi kontrol edilerek kan basıncı homeostazisi sağlanır (Paul ve ark., 2006; Rigat ve ark., 1990).

Bunun yanı sıra, ACE enzimi vazodilatör etkisi olan bradikinin peptidini yıkar. Bradikinin, damarların genişlemesini sağlayarak kan akışını artırırken, ACE enzimi bu etkisini azaltarak vazokonstriksiyon ve vazodilatasyon dengesinin korunmasına katkıda bulunur (Costerousse ve ark., 1993). Bu denge, özellikle egzersiz sırasında kaslara oksijen ve besin taşınmasında önemli bir rol oynar.

ACE geninde bulunan insersiyon/delesyon (I/D) polimorfizmi, enzimin plazma seviyelerini belirler. DD genotipinde ACE aktivitesi daha yüksekken, II genotipinde daha düşüktür (Rigat ve ark., 1990). Bu genetik farklılıklar, sporcularda performans özelliklerine yansır. I alleli dayanıklılık sporları ile; D alleli ise güç ve patlama gerektiren spor dalları ile ilişkilendirilmiştir (Montgomery ve ark., 1998; Myerson ve ark., 1999).

Araştırmalar, I allelinin kaslarda daha etkin oksijen kullanımına ve uzun süreli aerobik egzersiz kapasitesine katkıda bulunduğunu göstermektedir (Zhang ve ark., 2003). Öte yandan, D alleli anaerobik metabolizmayı destekleyerek kısa süreli yüksek güç gerektiren faaliyetlerde avantaj sağlamaktadır (Puthuchearry ve ark., 2011).

3.4.5. I/D Polimorfizminin dayanıklılık performansına etkileri

ACE (Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim) geninde bulunan insersiyon/delesyon (I/D) polimorfizmi, spor performansı üzerinde belirgin etkiler yaratmaktadır. Bu polimorfizm, genin 16. intronunda 287 baz çiftlik bir Alu dizisinin varlığı (I aleli) ya da yokluğu (D aleli) şeklinde ortaya çıkar. I ve D allellerinin farklı kombinasyonları (II, ID, DD genotipleri) plazmadaki ACE aktivitesini ve dolayısıyla fizyolojik süreçleri etkiler (Rigat ve ark., 1990).

Literatürde, I alelinin uzun süreli dayanıklılık performansı ile olumlu ilişkisi geniş çapta rapor edilmiştir. I aleli taşıyan bireylerde, ACE aktivitesi daha düşük olmakla birlikte, bu durum kaslardaki oksijen kullanım verimliliğini artırmakta ve kardiyovasküler adaptasyonları desteklemektedir (Montgomery ve ark., 1998). Bu genotip, özellikle uzun mesafe koşucuları, bisikletçiler ve dayanıklılık gerektiren diğer spor dallarında daha yüksek oranlarda görülmüştür (Myerson ve ark., 1999).

Öte yandan, D aleli ise ACE aktivitesinin yüksek olmasıyla ilişkilidir ve bu da daha güçlü vazokonstriksiyon etkileriyle sonuçlanır. Bu durum kısa süreli, patlayıcı gücün ön planda olduğu spor dallarında avantaj sağlar, ancak uzun süreli dayanıklılık performansında olumsuz etkiler yaratabilir (Puthuchery ve ark., 2011).

Bazı çalışmalarda, heterozigot ID genotipinin ara fenotip özelliklere sahip olduğu ve hem dayanıklılık hem de güç özelliklerini kısmen destekleyebileceği belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2003). Bununla birlikte, genotip-performans ilişkisi çevresel faktörler, antrenman düzeyi ve diğer genetik etkilerle karmaşık bir etkileşim içindedir ve tek başına ACE I/D polimorfizminin belirleyici olmadığını göstermektedir (Woods ve ark., 2001).

3.4.6. ACE Geni üzerine yapılan çalışmalar ve tartışmalar

ACE (Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim) geninin spor performansına etkisi, genetik araştırmaların önemli bir odak noktası olmuştur. Özellikle I/D polimorfizmi ile ilgili yapılan çok sayıda çalışma, bu genin dayanıklılık ve güç sporlarındaki rolünü anlamaya yönelik önemli veriler sağlamıştır. Ancak elde edilen bulgular bazen çelişkili olmakla birlikte, bilimsel toplulukta devam eden tartışmalar mevcuttur.

Bazı araştırmalar, ACE I alelinin uzun süreli dayanıklılık performansını artırdığı yönünde tutarlı sonuçlar sunmuştur (Montgomery ve ark., 1998; Myerson ve

ark., 1999). Bu genotipin, kaslarda oksijen kullanımını optimize ettiği ve kardiyovasküler adaptasyonları desteklediği düşünülmektedir. Örneğin, elit uzun mesafe koşucularının genetik analizlerinde I alelinin yüksek frekansla bulunduğu rapor edilmiştir (Williams ve ark., 2000).

Buna karşılık, diğer çalışmalar ACE D allelinin anaerobik performans ve kas gücünü artırmada etkili olduğunu vurgulamaktadır (Puthuchearry ve ark., 2011). Ancak bazı araştırmalarda, ACE genotiplerinin spor performansı üzerindeki etkisinin küçük veya önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, çevresel faktörler, antrenman düzeyi, beslenme ve diğer genetik varyasyonların etkisiyle ilişkilendirilmektedir (Woods ve ark., 2001; Rankinen ve ark., 2006).

Tartışmalı noktalar arasında, farklı etnik gruplar ve spor branşlarında ACE genotiplerinin dağılımının değişiklik göstermesi, gen-çevre etkileşimlerinin karmaşıklığı ve çalışma metodolojilerindeki farklılıklar yer almaktadır. Ayrıca, tek bir genin spor performansındaki etkisinin sınırlı olması, poligenik yapıdaki performans özelliklerinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Bouchard ve ark., 2011).

3.5. PPARGC1A Geni ve rs8192678 Polimorfizmi

PPARGC1A (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1 Alpha) geni, hücrel enerji metabolizmasında ve mitokondri biyogenezi ile oksidatif fosforilasyon süreçlerinde merkezi bir rol oynayan bir düzenleyici proteini kodlar. Bu gen, özellikle kas hücrelerinde mitokondriyal fonksiyonların artırılması yoluyla aerobik kapasitenin ve dayanıklılık performansının gelişiminde kritik öneme sahiptir (Puigserver ve Spiegelman, 2003; Handschin ve Spiegelman, 2006).

PPARGC1A genindeki rs8192678 polimorfizmi (Gly482Ser), glisin (Gly) yerine serin (Ser) amino asidinin kodlanması ile sonuçlanan bir tek nükleotid polimorfizmdir (SNP). Bu varyantın spor performansı üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu polimorfizmin dayanıklılık ve metabolik adaptasyonlarda önemli bir modülatör olduğunu göstermektedir (Ahmetov ve ark., 2011).

Gly482 aleli, mitokondriyal biyogenez ve oksidatif metabolizmanın etkinliğini artırarak uzun süreli aerobik egzersiz performansını desteklerken, Ser482

aleli daha düşük mitokondriyal aktivite ve kas dayanıklılığı ile ilişkilendirilmiştir (Eynon ve ark., 2012). Bu durum, PPARGC1A'nın enerji üretimi ve kas dayanıklılığındaki genetik varyasyonların sporcuların performans potansiyelini belirlemede önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, farklı popülasyonlarda ve spor dallarında rs8192678 polimorfizminin etkileri değişiklik gösterebilir. Bazı araştırmalar, Gly482 alelinin maraton koşucuları ve uzun mesafe sporcularında daha yüksek frekansta bulunduğunu bildirirken, diğer çalışmalarda bu ilişkinin zayıf veya belirsiz olduğu gözlemlenmiştir (Ahmetov ve ark., 2011; Lucia ve ark., 2005). Bu farklılıklar, gen-çevre etkileşimleri ve çok genli etkilerin performans üzerindeki karmaşık yapısını göstermektedir.

3.5.1. PPARGC1A geninin rolü

PPARGC1A (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1 Alpha) geni, enerji metabolizması ve mitokondriyal fonksiyonların düzenlenmesinde merkezi bir rol oynayan kritik bir transkripsiyon koaktivatörüdür. Kas dokusunda özellikle yüksek enerji talebi gerektiren aerobik egzersizlerde aktif olarak görev alır ve hücrel enerji üretimini artırmak için mitokondri biyogenezi, oksidatif fosforilasyon ve yağ asidi oksidasyonu gibi süreçleri düzenler (Puigserver ve Spiegelman, 2003).

Bu genin aktivasyonu, kas hücrelerinin enerji üretim kapasitesini artırarak dayanıklılık sporlarında performansın yükselmesini sağlar. PPARGC1A, farklı çevresel uyaranlara özellikle egzersize yanıt olarak ekspresyonu artan bir gen olup, kaslarda mitokondri sayısının artmasına ve enerji metabolizmasının optimize edilmesine olanak tanır (Handschin ve Spiegelman, 2006).

Ayrıca PPARGC1A, kas lif tiplerinin adaptasyonunda da önemli bir rol üstlenir. Özellikle yavaş kas liflerinin (tip I lifler) sayısını ve fonksiyonunu artırarak aerobik kapasitenin yükselmesini destekler. Bu özellik, uzun süreli dayanıklılık gerektiren spor branşlarında avantaj sağlar (Lin ve ark., 2002).

Genetik varyasyonlar özellikle rs8192678 (Gly482Ser) polimorfizmi, PPARGC1A geninin işlevselliğini etkileyerek bireylerin dayanıklılık kapasitesinde farklılıklara neden olmaktadır. Gly482 aleli, gen ifadesini ve enerji metabolizmasını

desteklerken, Ser482 aleli bu süreçleri azaltabilir ve performans farklılıklarına yol açabilir (Eynon ve ark., 2012).

3.5.2. rs8192678 Polimorfizminin aerobik kapasite üzerindeki etkisi

PPARGC1A geninde yer alan rs8192678 polimorfizmi, glisin (Gly) yerine serin (Ser) amino asidinin geçtiği tek nükleotid değişimini ifade eder. Bu polimorfizm, bireylerin enerji metabolizması, mitokondriyal fonksiyonları ve sonuç olarak aerobik kapasitesi üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Gly482Ser olarak da bilinen bu varyasyon, dayanıklılık gerektiren spor dallarında performans farklılıklarının genetik açıklamalarından biri olarak öne çıkmaktadır (Eynon et al., 2012).

Gly482 aleline sahip bireylerde PPARGC1A geninin transkripsiyonel aktivitesinin daha yüksek olduğu, buna bağlı olarak da mitokondriyal biyogenez, oksidatif fosforilasyon ve yağ asidi oksidasyonunun daha etkin gerçekleştiği gösterilmiştir (Puigserver & Spiegelman, 2003). Bu süreçlerin etkinliği, oksijen tüketim kapasitesi (VO₂max) ile doğrudan ilişkilidir. VO₂max, aerobik performansın en önemli biyolojik göstergesi olup, dayanıklılık sporlarında başarıyı büyük ölçüde belirler (Lucia et al., 2006).

Özellikle elit dayanıklılık sporcuları üzerinde yapılan genetik taramalarda, Gly482 alelinin bu sporcular arasında kontrol gruplarına göre daha yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir (Ahmetov et al., 2013). Bu durum, genotip ile dayanıklılık performansı arasında pozitif bir korelasyon olabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Eynon ve arkadaşlarının (2009) Avustralyalı sporcular üzerinde yürüttüğü bir çalışmada, Gly482 taşıyıcılarının VO₂max değerlerinin Ser482 taşıyıcılarına göre anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte, bazı çalışmalarda bu ilişki net bir şekilde doğrulanamamıştır. Bazı araştırmacılar, rs8192678 polimorfizminin aerobik performans üzerindeki etkisinin popülasyonlara ve çevresel faktörlere (antrenman düzeyi, beslenme, yaşam tarzı vb.) bağlı olarak değişebileceğini öne sürmektedir (Stepito et al., 2011). Bu nedenle, polimorfizmin etkisinin yalnızca genetik yapıyla değil, çevresel etkileşimlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Ayrıca, rs8192678 polimorfizminin yalnızca VO₂max gibi performans göstergeleriyle değil, aynı zamanda kas hücrelerinin oksidatif kapasitesi ve laktat

eşği gibi diğer fizyolojik parametrelerle de ilişkilendirilebileceği öne sürülmektedir (Timmons et al., 2010). Bu bağlamda, Gly482 aleli, dayanıklılık sporcularında daha yüksek mitokondri yoğunluğu, daha verimli oksijen kullanımı ve daha düşük laktat birikimi gibi avantajlar sağlayabilir.

3.5.3.PPARGC1A üzerine yapılan araştırma bulguları

PPARGC1A (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1 Alpha) geni, özellikle mitokondriyal biyogenez, enerji metabolizması ve kas lif tipi dönüşümlerinde kritik bir rol üstlenen önemli bir genetik faktördür. Son yıllarda spor genetiği alanında yapılan çalışmalarda bu genin dayanıklılık sporları performansı üzerindeki etkileri detaylı biçimde incelenmiş ve çok sayıda bilimsel araştırma, PPARGC1A'nın spor performansı üzerindeki etkilerini doğrulamıştır.

3.5.4. Gly482Ser (rs8192678) polimorfizmi ve performans ilişkisi

PPARGC1A geninde en yaygın incelenen varyantlardan biri rs8192678 polimorfizmidir. Bu genetik değişkenlik, glisin (Gly) yerine serin (Ser) amino asidinin geçtiği bir tek nükleotid polimorfizmidir. Birçok çalışmada Gly482 alelinin, dayanıklılık gerektiren spor branşlarında üstün performansla ilişkili olduğu öne sürülmüştür. Eynon ve arkadaşları (2009), Avustralyalı sporcular üzerinde yaptıkları çalışmada, Gly482 aleline sahip bireylerin VO₂max seviyelerinin, Ser482 aleline sahip olanlara göre anlamlı derecede daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Benzer şekilde Ahmetov ve Fedotovskaya (2015), Rus atletler üzerinde yürüttükleri çalışmalarda Gly482 taşıyıcılarının dayanıklılık sporlarında daha yaygın olduğunu ve bu bireylerde aerobik performans kapasitesinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu polimorfizmin, mitokondri sayısında artışa ve oksidatif kas liflerinin aktivitesinde iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca, bazı çalışmalarda Gly482Ser polimorfizminin farklı etnik gruplarda farklı etkiler yarattığı da ortaya konmuştur. Örneğin, Latin Amerikalı sporcularda yapılan araştırmalarda, bu polimorfizmin performans üzerindeki etkisinin daha az belirgin olduğu görülmüştür (Yvert et al., 2012). Bu durum, genetik çalışmaların sadece evrensel değil, etnik özelliklere göre özelleştirilmiş analizlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

3.6. NOS3 Geni ve G894T, T786C Polimorfizmleri

NOS3 (Endotelyal Nitrik Oksit Sentaz) geni, 7. kromozomda yer almakta olup vücutta nitrik oksit (NO) üretimini düzenleyen önemli bir gendir. Bu gen, özellikle damar endotel hücrelerinde aktif olarak çalışır ve kan akışını düzenleyen, damar tonusunu koruyan ve egzersiz sırasında kaslara oksijen iletimini sağlayan nitrik oksitin sentezinden sorumludur. Nitrik oksit, vazodilatasyon (damar genişlemesi), kan basıncının düzenlenmesi ve kas-iskelet sistemine oksijen taşınımında hayati rol oynar. Bu bağlamda, NOS3 geninin etkinliği, özellikle dayanıklılık sporları gibi uzun süreli efor gerektiren aktivitelerde performansla doğrudan ilişkilidir (Förstermann & Sessa, 2012). G894T polimorfizmi, NOS3 geninde yaygın olarak incelenen varyantlardan biridir ve genin ekzon 7 bölgesinde yer alır. Bu varyasyon, glutamik asit (Glu) yerine aspartik asit (Asp) amino asidinin geçmesine neden olur. G894T polimorfizmine sahip bireylerde NO üretiminin azaldığına dair bulgular mevcuttur. Bu durum, egzersiz sırasında kaslara yeterli oksijen taşınamamasına ve böylece dayanıklılık performansının düşmesine neden olabilir (Hingorani et al., 1999).

Ahmetov ve arkadaşları (2009), elit Rus sporcular üzerinde yaptıkları bir çalışmada, GG genotipine sahip sporcuların, GT veya TT genotipine sahip olanlara kıyasla daha yüksek aerobik kapasiteye sahip olduklarını ve bu genetik özelliğin dayanıklılık sporlarında avantaj sağladığını ortaya koymuştur. Diğer yandan, TT genotipi ile düşük nitrik oksit sentezi arasında bir ilişki saptanmış, bu durumun performans üzerinde olumsuz etki yarattığı raporlanmıştır.

3.6.1. Gen-çevre etkileşimi ve popülasyon farklılıkları

NOS3 genine ilişkin polimorfizmlerin etkileri, bireysel ve çevresel faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir. Düzenli aerobik egzersizin, nitrik oksit üretimini epigenetik yollarla artırabildiği bilinmektedir (Santos et al., 2011). Dolayısıyla, düşük performans genotipine sahip bireyler bile doğru antrenman programlarıyla performanslarını önemli ölçüde geliştirebilirler.

Ayrıca, G894T ve T786C polimorfizmlerinin farklı etnik gruplarda değişen frekansta görüldüğü, bazı popülasyonlarda bu genetik varyantların dayanıklılık kapasitesi üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu raporlanmıştır. Örneğin, Japon

popülasyonunda T786C polimorfizminin daha yaygın olduğu ve bu genetik yapının hipertansiyonla da ilişkili olduğu bildirilmiştir (Nakayama et al., 1999).

3.6.2. Spor Genetiğinde NOS3'ün Önemi

NOS3 geninin polimorfizmleri, sporcu performansı ile ilgili genetik testlerde giderek daha sık değerlendirilen faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle dayanıklılık sporlarında nitrik oksit sentezinin ve damar sağlığının önemi göz önüne alındığında, G894T ve T786C polimorfizmleri sporcu seçiminde ve kişiselleştirilmiş antrenman programlarının oluşturulmasında belirleyici olabilir.

Ancak spor performansı tek bir gene indirgenemeyecek kadar kompleks bir yapıya sahiptir. NOS3 geninin etkileri, diğer genetik faktörlerle (örneğin ACE, ACTN3, PPARGC1A) ve çevresel faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, spor genetiği çalışmalarında poligenik yaklaşımlar giderek daha fazla benimsenmektedir.

3.6.3. NOS3 geni üzerine yapılan çalışmalar

NOS3 polimorfizmleri sadece spor performansını değil, aynı zamanda kardiyovasküler sağlığı da etkileyebilir. Örneğin, G894T polimorfizminin hipertansiyon, koroner arter hastalığı ve inme riskiyle ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Tesauro & Cardillo, 2011). Bu nedenle, NOS3 genetik analizleri sadece performans değil, aynı zamanda sporcuların uzun vadeli sağlığı için de önem taşır.

3.7. Diğer Önemli Genetik Varyantlar

Spor performansı, özellikle dayanıklılık ve kuvvet gibi farklı fiziksel özelliklerin gelişiminde birçok genetik varyantın etkileşimli rol oynadığı kompleks bir yapıya sahiptir. Literatürde ACE, ACTN3, NOS3 ve PPARGC1A genleri üzerinde yoğunlaşmış olsa da son yıllarda yapılan araştırmalar bu alanda başka önemli genetik varyantların da atletik performans üzerinde anlamlı etkiler ortaya koyabileceğini göstermektedir. Bu bölümde, spor performansını etkilediği düşünülen bazı ek genetik varyantlara yer verilmektedir.

3.7.1. ADRB2 (Beta-2 adrenerjik reseptör) geni

ADRB2 geni, kas hücrelerinin uyarılmasını sağlayan ve yağ yakımını düzenleyen beta-2 adrenerjik reseptörlerin kodlanmasından sorumludur. Bu genin Gly16Arg (rs1042713) ve Gln27Glu (rs1042714) polimorfizmleri, kas kasılması, oksijen kullanımı ve egzersiz kapasitesi üzerinde etkili olabilir. Bouchard et al. (2007), bu polimorfizmlerin VO₂max gelişimiyle ilişkili olduğunu ve antrenman adaptasyonunu etkileyebileceğini belirtmiştir. Özellikle Gly16 allelinin dayanıklılık sporcularında daha sık görüldüğü bildirilmiştir.

3.7.2. HIF1A (Hypoxia-inducible factor 1-alpha) geni

HIF1A geni, düşük oksijen ortamlarında hücrel yanıtı düzenler. Özellikle yüksek irtifada ya da uzun süreli efor gerektiren spor dallarında oksijen taşıma kapasitesini artırmak adına önemlidir. Vaughan et al. (2009), HIF1A geninde yer alan Pro582Ser (rs11549465) polimorfizminin, kas glikolitik kapasitesini artırdığını ve anaerobik spor dallarında avantaj sağlayabileceğini belirtmiştir. Ahmetov et al. (2016) ise bu varyantın sprint performansında anlamlı rol oynadığını ileri sürmüştür.

3.7.3. BDKRB2 Geni

Williams et al. (2004), dayanıklılık sporcularının genetik profillerini inceledikleri bir çalışmada, BDKRB2 geninin -9/-9 genotipinin dayanıklılık performansında belirgin bir üstünlük sağladığını bulmuşlardır. Özellikle yüksek VO₂max düzeyleri ve daha düşük yorgunluk skorları ile ilişkilendirilmiştir.

Ginevičienė et al. (2011), Litvanyalı elit sporcular üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, -9/-9 genotipine sahip olan bireylerin, dayanıklılık sporlarında daha yaygın olarak yer aldığını ve bu genotipin kardiyovasküler etkinliği artırabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Saunders et al. (2006), bu polimorfizmin ACE geni ile etkileşim içerisinde çalışarak kombine genetik etkiler oluşturabileceğini belirtmiştir. Bu durum, çoklu gen etkileşimlerinin spor performansı üzerindeki karmaşık yapısını göstermesi açısından dikkat çekicidir.

4. SPOR İŞİ UYGULAMALARINDA GENETİK TESTLERİN UYGULAMALARI VE ETİK BOYUTLARI

4.1. Sporda Genetik Testlerin Kullanım Alanları

Genetik testlerin spor alanında giderek artan kullanımı, özellikle Şu başlıca amaçlar doğrultusunda Şekillenmektedir:

- **Performans Öngörüsü ve Yetenek Seçimi:** ACTN3, ACE ve PPARA gibi genlerdeki polimorfizmler, spor branşlarına uygunluk açısından yol gösterici olabilir. Bu sayede bireylerin genetik profiline göre uygun spor branşlarına yönlendirilmesi mümkün olabilmektedir (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).
- **Antrenman Planlaması:** Genetik yapı, bireyin dayanıklılık veya güç ekseninde performans gösterebilme potansiyelini belirleyebilir. Bu bilgi, antrenman yüklenmesinin ve toparlanma süreçlerinin kişiselleştirilmesinde yol gösterici olabilir (Pickering & Kiely, 2017).
- **Sakatlık Riski Analizi:** COL5A1, MMP3 ve GDF5 gibi genlerdeki varyantlar, tendon yaralanmaları veya kas yırtıkları gibi spor kaynaklı travmalara yatkınlık hakkında bilgi verebilir. Bu bilgiler, koruyucu önlemlerin alınmasında etkili olabilir (Rosa et al., 2016).
- **Rehabilitasyon Süreçlerinin Kişiselleştirilmesi:** Genetik yapı, iyileşme sürecinin süresi ve kalitesi üzerinde belirleyici olabilir. Bu durum, sporcularda fizik tedavi ve beslenme programlarının bireyselleŐtirilmesini mümkün kılar.

4.2. Etik ve Sosyal Boyutlar

Her ne kadar genetik testler sporcu sağlığı ve performans açısından avantajlar sunsa da beraberinde çeşitli etik sorunları da gündeme getirmektedir. Bunlar arasında en çok tartıŐılan konular Şunlardır:

- **Mahremiyet ve Veri Güvenliği:** Genetik veriler son derece kişisel ve hassastır. Bu bilgilerin spor kulüpleri, antrenörler veya sponsorluk şirketleri tarafından kötüye kullanılması ihtimali ciddi bir etik risktir. Uluslararası Biyoteknoloji Etik Komisyonu, genetik verilerin yalnızca bireyin açık rızasıyla ve sınırlı erişimle paylaşılması gerektiğini belirtmektedir (Savulescu & Williams, 2006).
- **Ayrımcılık ve Etiketleme:** Genetik testlerin yetenek seçimi amacıyla kullanılması, bazı bireylerin biyolojik potansiyellerine göre kategorize edilmesine neden olabilir. Bu durum, bireyin gelişim potansiyelini sınırlayan bir “etiketleme” sürecine yol açabilir.
- **Çocuk Sporcular Üzerindeki Etkiler:** Genetik testlerin küçük yaş gruplarında uygulanması, psikolojik baskı, spor branşı seçimi konusunda yönlendirme ve sosyal dışlanma gibi riskleri artırabilir. Bu nedenle çocuk sporcularda genetik testlerin yapılması ciddi etik değerlendirmeleri gerektirir (Stewart et al., 2018).

4.3. Sporcu Seçiminde Genetik Bilginin Rolü

Günümüzde sporcu seçiminde kullanılan klasik yöntemler; fiziksel testler, motor beceri analizleri, psikolojik değerlendirmeler ve gözlem temelli yaklaşımlardır. Ancak bu yöntemlerin bireyin genetik kapasitesini tam olarak yansıtamadığı düşünölmektedir. Genetik testlerin bu noktada tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabilereceği öne sürölmektedir. Özellikle ACTN3 R577X, ACE I/D, PPARGC1A rs8192678, UCP2/3 ve NOS3 gibi genetik varyantların, bireyin güç, dayanıklılık, toparlanma hızı ve metabolik verimlilik gibi performansla ilişkili parametrelerde belirleyici olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Eynon et al., 2013; Ruiz et al., 2009).

ACTN3 geni, hızlı kas liflerinin etkinliğiyle doğrudan ilişkilidir ve özellikle sprint ve güç odaklı sporcular arasında RR genotipinin daha yaygın olduğu saptanmıştır. ACE geninin D aleli ise daha çok kuvvet ve patlayıcı güce katkı sağlarken, I aleli ise aerobik kapasite ve dayanıklılık performansı ile ilişkilidir (Williams et al., 2008). Bu tür bilgiler, bireyin hangi spor disiplinlerinde daha başarılı olabileceğine dair ön fikir sunabilir.

4.4. Erken Dönem Sporcu Yönlendirmesi

Genetik testler, çocukluk veya ergenlik döneminde yapılmaları halinde sporcu adaylarının genetik eğilimleri doğrultusunda uygun branşlara yönlendirilmesine katkı sağlayabilir. Böylece bireyin ilgi alanı ile genetik potansiyeli birleştirilerek daha sürdürülebilir spor kariyerleri oluşturulabilir. Örneğin, dayanıklılık performansına yatkınlığı olan bireylerin uzun mesafe koşu, triatlon ya da yüzme gibi sporlara; güç ve sürat odaklı genotip profiline sahip bireylerin ise halter, sprint gibi sporlara yönlendirilmesi önerilebilir (Guth & Roth, 2013).

Ancak bu yaklaşımın yalnızca biyolojik verilere dayanarak değil; psikososyal faktörler, bireysel istekler ve çevresel koşullar dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

4.5. Uluslararası Yaklaşımlar ve Uygulama Örnekleri

Bazı ülkelerde genetik testlerin sporcu tarama programlarına entegre edildiği pilot projeler yürütülmüştür. Örneğin Rusya, Çin ve Japonya'da belirli spor akademileri, genetik testleri yetenek taramasında yardımcı bir araç olarak değerlendirmiştir (Ginevičienė et al., 2014). Ancak bu uygulamaların büyük bölümü bilimsel çerçeveden ziyade politik veya ekonomik çıkarlarla yönlendirildiği için, uluslararası spor otoriteleri tarafından temkinle karşılanmaktadır.

WADA ve IOC gibi kurumlar, genetik testlerin sporcu yönlendirmesinde kullanılmasına sıcak bakmakla birlikte, uygulamanın şeffaflık, gönüllülük, tıbbi gözetim ve etik kurallar çerçevesinde yürütülmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

4.5.1. Genetik temelli antrenman planlaması

Genetik testlerin ortaya koyduğu bireysel farklılıklar, antrenman programlarının şekillendirilmesinde önemli ipuçları sunar. Örneğin, ACTN3 RR genotipine sahip bireylerin hızlı kas lifi etkinliğinin daha yüksek olması nedeniyle sprint ve güç gerektiren çalışmalarda daha hızlı gelişim gösterdikleri bilinmektedir. Benzer şekilde, ACE I aleline sahip bireylerin aerobik kapasiteye daha yatkın oldukları gözlemlenmiştir (Eynon et al., 2013).

Bu doğrultuda, genetik profillemeye ile belirlenen bireysel yatkınlıklar doğrultusunda; yoğunluk, süre, tekrar sayısı, toparlanma aralıkları ve dönemleme

parametreleri kişiye özel olarak planlanabilmekte, bu da antrenman verimliliğini artırabilmektedir (Heffernan et al., 2017). Ayrıca, sakatlık riski yüksek bireylerde koruyucu egzersizlerin ön planda tutulması da mümkündür.

4.5.2. Nutrigenetik ve sporcu beslenmesinde kişiselleştirme

Nutrigenetik, bireylerin genetik profillerine göre besin öğelerine verdikleri tepkileri inceleyen bir alandır ve sporcu beslenmesinde büyük önem taşımaktadır. Örneğin, MTHFR gen varyantları, folik asit metabolizmasını etkileyerek enerji üretimi ve toparlanma süreçlerinde farklılıklara yol açabilir. Aynı şekilde, FTO geni, bireyin yağ metabolizmasına ve iştah regülasyonuna etki edebilir; bu da enerji dengesi yönetimini doğrudan etkiler (Ordovas & Mooser, 2004).

Buna göre, karbonhidrat, protein, yağ alımları; vitamin ve mineral gereksinimleri, antioksidan desteği gibi birçok beslenme öğesi, bireyin genetik yapısı göz önünde bulundurularak optimize edilebilmektedir (Guest et al., 2019). Örneğin, kafeine duyarlı bireylerde performans artırıcı etki beklenenden düşük olabilirken, laktoz intoleransı taşıyan bireylerde süt ürünleri içeren klasik sporcu diyetleri gastrointestinal rahatsızlıklara neden olabilir.

4.5.3. Uygulamada zorluklar ve etik düşünceler

Kişiselleştirilmiş programlar, bireysel farklılıkları dikkate alma açısından son derece avantajlı olsa da uygulamada bazı sınırlılıklarla karşılaşmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde genetik testlerin maliyeti ve erişilebilirliği hâlâ sınırlıdır. Ayrıca antrenör, diyetisyen ve sağlık profesyonellerinin bu verileri doğru yorumlayabilmesi için multidisipliner bir eğitim süreci gereklidir (Pickering & Kiely, 2017).

4.5.4. Geleceğe yönelik yaklaşımlar

Yapay zekâ ve büyük veri analiz tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, kişisel sağlık verileri, antrenman yanıtları ve genetik bilgilerin entegre edilerek kullanıldığı “akıllı antrenman sistemleri” geliştirilmekte; sporcuların performans verileri anlık olarak izlenip analiz edilmektedir. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması, birey odaklı antrenman ve beslenme planlarının daha etkin ve bilimsel olarak uygulanmasına olanak tanımaktadır (Joyner, 2019).

4.6. Etik Kaygular ve Düzenleyici ereveler

Genetik testlerin spor alanında yaygınlaşması, bireysel performansın daha doğru öngörülmesi, sakatlık riskinin azaltılması ve kişiselleştirilmiş antrenman stratejilerinin geliştirilmesi gibi birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Ancak bu gelişmelerin etik ve yasal boyutları, tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Genetik bilgiler, yalnızca bireysel değil aynı zamanda toplumsal düzeyde de hassasiyet içermektedir. Bu nedenle, etik kurallar ve düzenleyici çerçevelerin belirlenmesi, genetik uygulamaların spor alanında sorumlu biçimde kullanılmasını sağlamak açısından kritik önem taşıtmaktadır (Anderson & Darby, 2017).

4.6.1. Gizlilik ve mahremiyet

Genetik testlerin uygulanmasında en temel etik kaygulardan biri, bireyin genetik verilerinin gizliliğinin sağlanmasıdır. Genetik veriler, kalıtsal hastalık risklerinden bireyin fiziksel kapasitesine kadar birçok hassas bilgiyi içermektedir. Bu bilgilerin üçüncü kişilerle, özellikle de kulüpler, sponsorluk firmaları veya medya ile izinsiz paylaşılması; bireyin özel yaşamına müdahale anlamına gelmekte ve ciddi etik ihlaller doğurmaktadır (Williams & Apps, 2012).

Bu noktada, genetik verilerin sadece bilgilendirilmiş onam (informed consent) erevesinde, gönüllülük esasına dayalı olarak toplanması ve kullanılması gerekmektedir. Ayrıca bu verilerin, ulusal ve uluslararası veri koruma yasalarına uygun şekilde anonimleştirilmesi zorunludur (McNamee et al., 2009).

4.6.2. Ayrımcılık ve etiketleme riski

Genetik testlerin bireyleri belli genotiplere göre sınıflandırması, sporcuların erken yaşta “potansiyelsiz” ya da “ st n yetenekli” olarak etiketlenmesine neden olabilmektedir. Bu durum, bireyde psikolojik baskıya yol açabileceği gibi, sporcu seçiminde adalet ilkesine de zarar verebilir. Özellikle elit sporcularda, yalnızca genetik profile dayalı değerlendirmeler, diğer performans belirleyicilerini (psikolojik dayanıklılık, çevresel faktörler, motivasyon vb.) dışlayarak haksız kararların alınmasına neden olabilir (Pitsiladis et al., 2016).

5. SPOR İŞİ YAPANLARDA FİZİKSEL VE ANTROPOMETRİK DEĞERLERE GENEL BİR BAKIŞ

5.1. Antropometrik Özelliklerin Tanımı ve Önemi

Antropometri; bireyin vücut yapısına ilişkin ölçümlerle ilgilenen bir bilim dalıdır ve özellikle spor bilimlerinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut kitle indeksi (VKİ), yağ oranı, kas kütlesi, kol ve bacak uzunluğu gibi parametreler, bireyin antropometrik profilini oluşturmaktadır. Bu ölçümler, spor branşına uygunluk açısından belirleyici rol oynar. Örneğin, uzun boylu ve düşük yağ oranına sahip bireylerin yüzme ve basketbol gibi branşlarda avantaj sağladığı; kısa boylu, düşük ağırlıklı ve yüksek çevikliğe sahip bireylerin ise cimnastik ya da uzun mesafe koşuları gibi disiplinlerde daha başarılı olabildiği bildirilmektedir (Carter & Heath, 1990).

5.2. Vücut Kompozisyonu ve Spor Performansı

Vücut kompozisyonu, bir sporcunun toplam vücut ağırlığının yağ ve yağsız kütle (kas, kemik, su, organlar) oranına göre dağılımını ifade eder. Sporcularda ideal vücut kompozisyonu, performansın artırılması ve sakatlık riskinin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Düşük yağ oranı ve yüksek kas kütlesi, özellikle güç ve hız gerektiren branşlarda avantaj sağlarken, dayanıklılık sporlarında ise optimal düzeyde yağ oranı, enerji dengesinin korunmasına yardımcı olabilir (Ackland et al., 2012). Vücut kompozisyonu değerlendirmeleri genellikle biyolojik empedans analizi (BIA), deri kıvrımı kalınlığı ölçümleri veya DEXA (Dual Energy X-Ray Absorptiometry) ile yapılmaktadır.

5.3. Somatotip Dağılımı ve Branş Uyumu

Sheldon tarafından geliştirilen ve Heath-Carter modeliyle geliştirilen somatotip sınıflandırması; endomorf (yağlı yapı), mezomorf (kaslı yapı) ve ektomorf (ince yapı) olmak üzere üç temel vücut tipi üzerine kuruludur. Farklı spor

branşlarında öne çıkan somatotip özellikleri, branş-sporcu uyumunun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin, güreş, halter ve Amerikan futbolu gibi kuvvet branşlarında mezomorfik yapı öne çıkarken; uzun mesafe koşucularında genellikle ektomorfik yapı gözlemlenmektedir (Carter, 2002).

5.4. Uygulamalı Antropometri ve Seçme-Değerlendirme Süreci

Sporcu seçiminde antropometrik analizler, erken yaşlardan itibaren yetenekli bireylerin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu analizler, antrenörlerin objektif veri temelli kararlar almasına olanak sağlarken; bireyin uzun vadeli spor yaşamı boyunca performans takibini de kolaylaştırmaktadır. Özellikle olimpik düzeydeki sporcularda antropometrik profilin branşa özgü gereksinimlerle ne denli örtüştüğü, performans farklarının açıklanmasında yardımcı bir değişken olarak kullanılmaktadır (Slaughter et al., 1988).

5.5. Antropometrik Bulgular ve Yorumları

Sporcuların fiziksel uygunluk düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılan antropometrik ölçümler, performans öngörülerinin yapılmasında önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Elde edilen antropometrik bulgular; bireyin spora yatkınlığı, uygun branş seçimi, antrenman adaptasyonları ve vücut kompozisyonundaki değişimleri yorumlamaya olanak sağlamaktadır (Norton & Olds, 2001).

5.5.1. Boy, kilo ve vücut kitle indeksi (VKİ) değerleri

Sporcularda boy uzunluğu ve vücut ağırlığı, disipline özgü olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin, voleybol ve basketbol gibi sporlarda uzun boya sahip olmak avantaj sağlarken, koşu gibi sporlarda daha kompakt bir vücut yapısı tercih edilmektedir. Vücut kitle indeksi (VKİ), bireyin ağırlığının boy uzunluğuna göre değerlendirilmesinde kullanılır. Ancak sporcularda kas kütlelerinin yüksek olması nedeniyle VKİ'nin her zaman doğru sonuç vermeyebileceği belirtilmiştir (Ode et al., 2007).

5.5.2. Yağ oranı ve yağsız vücut kütlesi

Vücut yağ yüzdesi, özellikle dayanıklılık sporlarında performansı doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Düşük yağ oranı, oksijen kullanım verimliliği ve ağırlık-taşımaya ilişkisi açısından avantaj sağlarken; aşırı düşük değerler de hormonal

dengesizlik ve performans düşüklüğüne yol açabilir. Erkek elit sporcularda ideal yağ oranı genellikle %6–13 arası iken, kadın sporcularda bu oran %14–20 aralığında değerlendirilir (Ackland et al., 2012). Yağsız vücut kütlesi ise özellikle kuvvet ve hız branşlarında başarıyı desteklemektedir.

5.5.3. Bel-kalça oranı (WHR) ve gövde oranları

Bel-kalça oranı (WHR), bireyin yağ dağılımı hakkında bilgi verirken, estetik ve sağlık açısından da önem arz eder. Elit düzeydeki sprinter ve kısa mesafe koşucularında düşük WHR değerleri dikkat çekmektedir. Ayrıca kol-boy oranı, bacak-gövde oranı gibi ölçümler de spora özgü avantajların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin, uzun bacak oranı koşu ekonomisi açısından avantaj sunabilir (Nevill et al., 2003).

5.5.4. Somatotip değerlendirmesi

Araştırmalar, başarılı sporcuların branşlarına özgü somatotip dağılımlarına sahip olduklarını ortaya koymuştur. Halterciler ve güreşçiler genellikle mezomorfik özellikler gösterirken; maraton koşucuları ve bisikletçiler daha çok ektomorfik yapılara sahiptir. Bu dağılım, genetik yapı ile çevresel faktörlerin etkileşimi sonucunda şekillenir (Carter & Heath, 1990).

6. SPOR İŞİ UYGULAMALARINDA ANTROPOMETRİK TESTLERİN UYGULAMALARI VE ETİK BOYUTLARI

6.1. Sporda Antropometrik Testlerin Kullanım Alanları

Antropometrik testler, sporda bireylerin fiziksel yapılarını objektif verilerle değerlendirmek için kullanılan temel ölçüm araçlarıdır. Bu testler hem bireysel sporcu gelişimi hem de branşa özel sporcu seçim süreçlerinde etkin rol oynamaktadır. Özellikle elit sporcularda performansın artırılmasına yönelik stratejiler belirlenirken, antropometrik veriler, antrenman programlarının bireyselleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Norton & Olds, 2001).

6.2. Etik ve Sosyal Boyutlar

Antropometrik testler sırasında elde edilen veriler; vücut kitle indeksi, yağ oranı, boy, kol ve bacak uzunlukları gibi bireyin fiziksel yapısına dair detaylı bilgileri içerir. Bu veriler kişiye özeldir ve özellikle yaşça küçük sporcular ya da gelişme çağındaki bireyler üzerinde uygulandığında, psikolojik baskıya neden olabilir (Malina et al., 2004).

6.3. Sporcu Seçiminde Antropometrik Bilginin Rolü

Antropometrik veriler, bir sporcunun fizyolojik kapasitesini ve potansiyel performansını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Sporcu seçim süreçlerinde kullanılan bu veriler, bireyin spora özgü uygunluğunu objektif ölçütlerle değerlendirme imkânı sağlar. Özellikle elit düzeyde sporcunun belirlenmesi sürecinde antropometrik ölçümler, performans tahmininden yaralanma risk analizine kadar geniş bir yelpazede işlev görmektedir (Ackland et al., 2012).

6.4. Erken Dönem Sporcu Yönlendirmesi

Çocukluk ve ergenlik dönemindeki bireylerde yapılan antropometrik testler, sporcu potansiyelini erken dönemde belirlemeye olanak sağlar. Böylece bireyin

gelişim sürecine uygun olarak yönlendirilmesi ve uzun vadeli planlamaların yapılması mümkün olur (Malina et al., 2004). Bu yaklaşım, özellikle sporcu yetiştirme programlarında erken yönlendirme stratejileri açısından büyük önem taşır.

6.4.1. Yetenek seçimi ve branşa yönlendirme süreci

Yapılan araştırmalarda, belirli somatotip özelliklerine sahip bireylerin belirli branşlarda daha başarılı olduğu ortaya konmuştur. Örneğin mezomorf (kaslı) yapıdaki bireylerin sprint ve güç gerektiren sporlarda; ektomorf (zayıf, ince) yapıdaki bireylerin ise dayanıklılık gerektiren sporlarda daha avantajlı oldukları belirtilmiştir (Carter, 1984). Bu doğrultuda, antropometrik değerlendirmeler yetenek seçiminde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

6.5. Uluslararası Uygulama Örnekleri

- **ABD:** NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) programı, geniş çaplı antropometrik veri toplayarak sağlık politikalarının geliştirilmesinde temel kaynak olmuştur (CDC, 2015).
- **Avrupa:** Eurostat tarafından yürütülen anketlerle kıta genelinde standardize antropometrik veriler toplanmaktadır (Eurostat, 2020).
- **Asya:** Çin'de büyüme eğilimlerini izlemek üzere kapsamlı nüfus çalışmaları yapılmaktadır (Wang et al., 2016).
- **Afrika:** Gelişmekte olan ülkelerde özellikle çocuk sağlığı için antropometrik analizler önem kazanmaktadır (Victora et al., 2011).

7. METOD

Bu çalışmada, insan vücudunun morfolojik ve genetik özelliklerinin detaylı incelenmesi amacıyla multidisipliner ve kapsamlı bir yöntem yaklaşımı benimsenmiştir. Vücut kompozisyonunun hassas ölçümü için çift enerjili X-ışını absorpsiyometri (DEXA) kullanılmış; genetik yapı analizleri ise ileri teknoloji olan yeni nesil dizileme (Next Generation Sequencing- NGS) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin kombinasyonu, dayanıklılık sporcularının performansları ile biyolojik yapıları arasındaki olası ilişkilerin kapsamlı bir şekilde ortaya konmasını sağlamıştır.

Çalışmaya dahil edilen toplam yirmi elit dayanıklılık sporcusu, cinsiyet dengesi gözetilerek (10 erkek, 10 kadın) seçilmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması $27,5 \pm 3,1$ yıl olarak belirlenmiş olup, tüm sporcular en az 10 yıl profesyonel düzeyde antrenman ve yarış deneyimine sahiptir. Katılım kriterleri arasında, uluslararası düzeyde en az bir kez dayanıklılık koşularında (örneğin, 3000 m engelli koşu, 5000 m, 10.000 m, yarı maraton veya maraton) yarışmış olmak ve mevcut sağlık durumlarının performanslarını olumsuz etkileyecek kronik hastalıklar veya sakatlıklardan arınmış olması yer almıştır. Katılımcılar, araştırma sürecinde ortaya çıkabilecek tüm fiziksel ve psikolojik riskler hakkında ayrıntılı bilgilendirilmiş ve bilgilendirilmiş onam formunu imzalamışlardır.

Vücut kompozisyonu ölçümleri, İstanbul Gedik Üniversitesi Spor Bilimleri Laboratuvarı'nda bulunan DEXA cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, kemik mineral yoğunluğu, yağ kütlesi ve yağsız doku kütlesi gibi parametrelerin yüksek doğrulukla ölçülmesine imkân tanımaktadır. Ölçümler, tüm katılımcılar için sabah saatlerinde, aç karna ve standartlaştırılmış protokoller çerçevesinde yapılmıştır. Ölçüm öncesinde sporcuların ağır egzersiz yapmamış olmaları ve son 24 saat içinde alkol, kafein gibi uyarıcı maddelerden kaçınmaları sağlanmıştır.

Genetik analizler için katılımcılardan periferik kandan alınan örnekler kullanılmıştır. DNA izolasyonu standart moleküler biyoloji protokolleri doğrultusunda gerçekleştirilmiş ve izole edilen genetik materyal, yüksek kapasiteli

NGS platformlarında dizilenmiştir. Genetik veriler, özellikle dayanıklılık performansını etkileyen gen varyantları (örneğin ACE, ACTN3 gibi) açısından analiz edilmiştir. Bu analizlerde biyoinformatik araçlar ve veri filtreleme yöntemleri kullanılarak yüksek kaliteli ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Araştırmanın etik boyutu, İstanbul Gedik Üniversitesi Etik Kurulu tarafından Helsinki Bildirgesi'nin temel ilkeleri doğrultusunda titizlikle değerlendirilmiş ve onaylanmıştır (Etik onay numarası: E-56365223-050.04-2025.137548.39). Tüm katılımcılardan yazılı ve gönüllü onam alınmış; kişisel verilerin korunması için veri anonimleştirilmiş ve şifrelenmiş biçimde güvenli veri tabanlarında saklanmıştır. Araştırma sürecinde, Avrupa Birliği'nin Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) başta olmak üzere, ilgili ulusal ve uluslararası veri koruma mevzuatlarına tam uyum sağlanmıştır. Böylece hem katılımcı gizliliği hem de veri güvenliği en üst düzeyde korunmuştur.

Toplanan antropometrik ve genetik veriler, SPSS ve R yazılımları kullanılarak istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Vücut kompozisyonu parametreleri ile genetik profiller arasındaki ilişkiler korelasyon ve regresyon analizleriyle incelenmiş, cinsiyetler arası karşılaştırmalar t-testleri veya Mann-Whitney U testleriyle değerlendirilmiştir. Bulgular, literatürde yer alan benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmış ve sportif performans üzerindeki olası etkileri akademik açıdan tartışılmıştır.

7.1. Genetik Analiz

Genetik profillemeye çalışmaları, Birleşik Arap Emirlikleri'nin Dubai kentinde bulunan ileri düzey genom araştırmaları altyapısına sahip Agiomix Medical Laboratory adlı laboratuvarında, yeni nesil dizileme (Next Generation Sequencing-NGS) teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Marzouka ve ark., 2024). Genetik analiz süreci aşağıda belirtilen adımlar doğrultusunda yürütülmüştür:

İlk olarak, katılımcılardan Oragene DNA toplama kiti aracılığıyla tükürük örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler -20°C'de muhafaza edilmiş ve 72 saat içerisinde, sıcaklık kontrollü koşullarda Agiomix laboratuvarına ulaştırılmıştır. DNA izolasyonu, Qiagen QIAamp DNA Mini Kit kullanılarak, üretici firmanın önerdiği standart protokollere uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen DNA'nın

konsantrasyonu ve saflığı, NanoDrop spektrofotometre ve jel elektroforezi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Ardından, dizileme için gerekli kütüphane hazırlama işlemleri, Illumina Nextera XT DNA Library Preparation Kit ile gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada DNA örnekleri küçük parçalara ayrılmış (fragmentasyon), ardından dizileme işlemini mümkün kılacak adaptörler DNA'ya bağlanmıştır. Dizileme sürecinde, dayanıklılık performansı ile ilişkili 50 özel gen bölgesini hedefleyen özel bir panel tasarlanmıştır. Bu panelde yer alan başlıca genler şunlardır:

- ACE (Angiotensin Dönüştürücü Enzim)
- ACTN3 (Alfa-aktinin-3)
- PPARGC1A (Peroksizom Proliferatör Aktive Reseptör Koaktivatörü 1-Alfa)
- HIF1A (Hipoksiye Duyarlı Faktör 1-Alfa)
- VEGFA (Vasküler Endotelyal Büyüme Faktörü A)

Bu genler, mitokondriyal biyogenez, oksijen kullanımı ve kas lifi kompozisyonu gibi fizyolojik süreçlerle olan ilişkileri nedeniyle seçilmiştir (Ahmetov ve ark., 2009).

Dizileme işlemi, Illumina MiSeq Sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 150 baz çifti (bp) uzunluğunda çift yönlü (paired-end) okumalar elde edilmiştir. Yaygın ve nadir varyantların güvenilir şekilde tespiti için minimum 100x örtüşme derinliği sağlanmıştır. Ham dizilim verileri, BWA (Burrows-Wheeler Aligner) yazılımı ile referans genom üzerine hizalanmış; varyant çağırımı (variant calling) işlemleri ise GATK (Genome Analysis Toolkit) ile yürütülmüştür.

Ortaya çıkan genetik varyantlar, ANNOVAR yazılımı kullanılarak fonksiyonel olarak açıklanmış ve dbSNP, ClinVar ve 1000 Genomes gibi uluslararası veri tabanları ile karşılaştırılarak bilinen polimorfizmler tespit edilmiştir. Varyantların potansiyel biyolojik etkileri, SIFT ve PolyPhen-2 gibi biyoenformatik araçlarla tahmin edilmiştir.

Dayanıklılıkla ilişkili genetik polimorfizmler, sportif performans üzerindeki olası etkilerine göre sınıflandırılmıştır. Örneğin:

- **ACE I/I genotipi**, daha yüksek oksijen kullanım verimliliği ile ilişkilendirilmiştir.
- **PPARGC1A Gly482Ser varyantı**, mitokondriyal biyogenezde artış ile bağlantılı bulunmuştur.

Elde edilen genotip dağılımları, atletik olmayan bireylerden oluşan bir kontrol grubu ile karşılaştırılmış; anlamlı farklılıklar istatistiksel olarak analiz edilmiştir (McElhoe ve ark., 2014)

7.2. Antropometrik Analiz

Vücut kompozisyonu ölçümleri, İstanbul, Türkiye’de bulunan Acıbadem Hastanesi (Altunizade yerleşkesi) Radyoloji Birimi’nde, GE Lunar iDXA tarayıcı (GE-Lunar Prodigy, Madison, WI, ABD, 2013) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEXA ölçümleri için uygulanan protokol şu şekilde belirlenmiştir: Katılımcılardan testten en az 8 saat önce aç kalmaları ve ölçümden önceki 24 saat boyunca yoğun fiziksel aktiviteden kaçınmaları istenmiştir. Ölçüm sırasında hafif kıyafetler giymeleri ve üzerlerinde metal içerikli takı veya eşyaların bulunmaması sağlanmıştır.

Katılımcılar, DEXA yatağına sırtüstü (supin pozisyonunda) yerleştirilmiş; kollar vücut yanlarına yerleştirilmiş ve ayaklar tarama sırasında hareketi önlemek amacıyla sabitlenmiştir. Ölçüm kapsamında toplam vücut kompozisyonu değerlendirilmiş; yağ kütlesi, yağsız doku kütlesi, kemik mineral içeriği (BMC) ve kemik mineral yoğunluğu (BMD) gibi temel parametreler ölçülmüştür. Ayrıca, yağ ve yağsız doku dağılımı bölgesel olarak kollar, bacaklar, gövde ve pelvis için ayrı ayrı analiz edilmiştir.

DEXA cihazının ölçüm doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla, üretici firmanın talimatlarına uygun olarak her gün kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, toplam vücut yağ oranı, kas kütlesi ve kemik mineral yoğunluğu gibi dayanıklılık performansını etkileyen kritik biyobelirteçlerin değerlendirilmesi amacıyla analiz edilmiştir (Van Loan & Mayclin, 1992).

7.3. VO₂max Test Protokolü

Tüm laboratuvar testleri, standart çevresel ve prosedürel koşulların sağlandığı İstanbul Gedik Üniversitesi Spor Performans Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların laktat eşiği (LT) ve maksimum oksijen tüketim düzeyi (VO₂max) değerlerini belirlemek amacıyla artan yüklenmeli koşu bandı testi uygulanmıştır. Testler, eğimi sabit %1 olarak ayarlanmış TrackMaster (ABD) marka koşu bandı üzerinde yapılmıştır. Bu eğim oranı, açık alan koşu koşullarını simüle etmek amacıyla tercih edilmiştir (Jones & Doust, 1996).

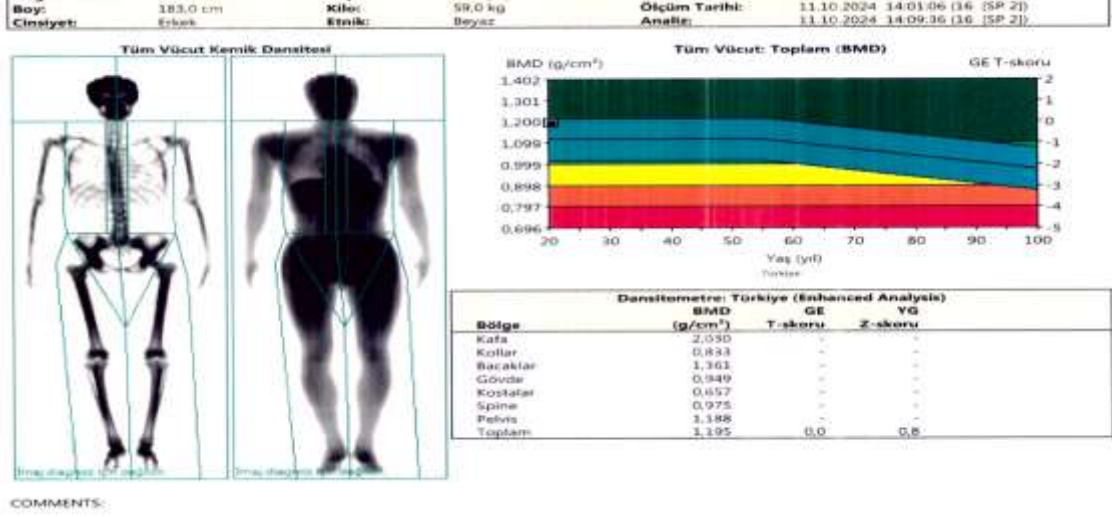
Protokol başlangıcında koşu hızı, katılımcıların cinsiyeti ve fiziksel uygunluk düzeyine göre 8.0–10,0 km/s aralığında belirlenmiştir (Bkz. Şekil 1). Her 1 dakikalık evre sonunda koşu hızı 1,0 km/s artırılarak fizyolojik zorlanma kademeli olarak artırılmıştır. Her evre süresince, Fitmate Pro (Cosmed, İtalya) taşınabilir gaz analiz cihazı kullanılarak katılımcıların dışarı verdiği solunum gazı örnekleri toplanmış ve gerçek zamanlı olarak VO₂ değerleri analiz edilmiştir.

Ayrıca, her evrenin son 30 saniyesinde, kalp atım hızı (HR) ve algılanan efor düzeyi (RPE) değerleri kaydedilmiştir. RPE değerlendirmesinde Borg Skalası kullanılmıştır. Metabolik yanıtların değerlendirilmesi amacıyla, son evreden hemen önce ve sonra katılımcıların parmak ucundan yaklaşık 25 µL kapiller kan örneği alınarak Scout 4 (EKF, Almanya) taşınabilir laktat analizörü ile kan laktat konsantrasyonu ([La]) ölçülmüştür.

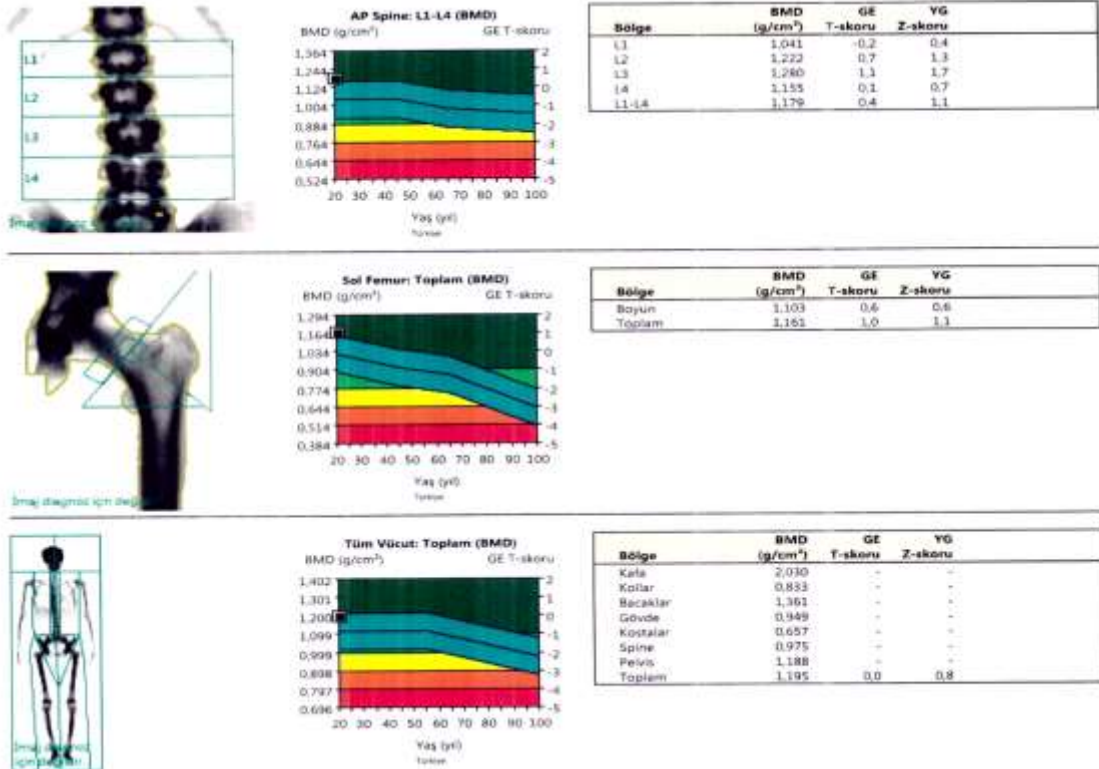
Test aşağıdaki kriterlerden herhangi birine ulaşılması durumunda sonlandırılmıştır:

- (i) Katılımcının gönüllü olarak testi bırakması (volisyonel yorgunluk),
- (ii) VO₂ değerlerinde plato gözlenmesi (yani, iş yükü artmasına rağmen VO₂ değerinde <1.5 mL/kg/dk artış gözlenmemesi),
- (iii) Kalp atım hızının yaşa göre tahmin edilen maksimum değerini %95'ini aşması.

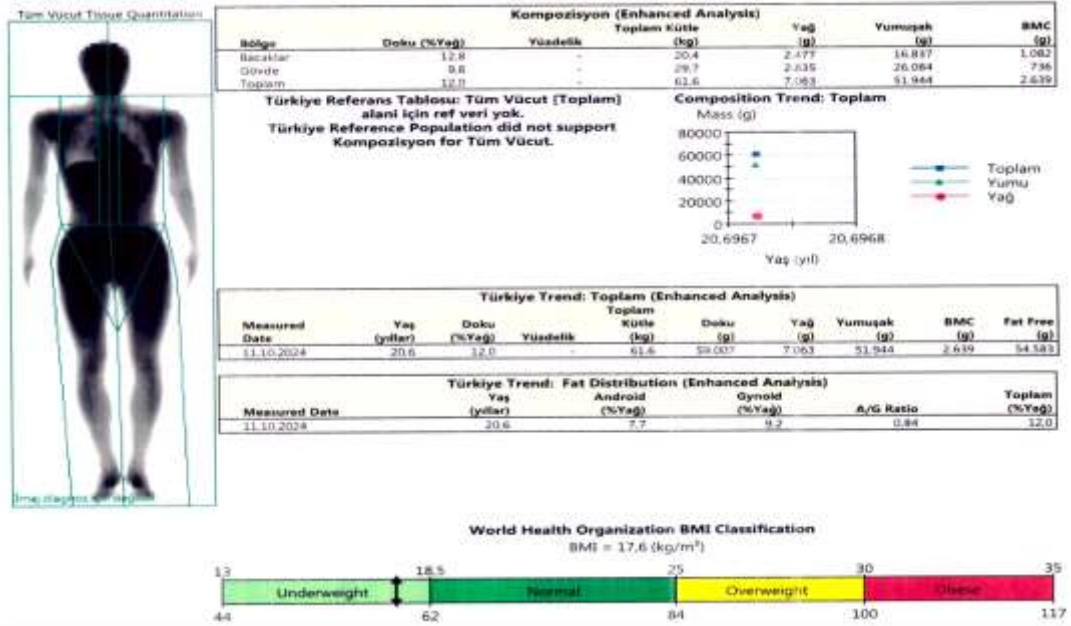
8. BULGULAR



Şekil 8.1: Sporcunun Tüm Vücut Kemik Dansitesi



Şekil 8.2: Sporcunun BMD Dağılımı



Şekil 8.3: Sporcunun Vücut Kompozisyonunun İncelenmesi

ANCILLARY RESULTS: Sol Femur

Bölge	BMD (g/cm³)	GE (%)	T-skoru	YG (%)	Z-skoru	BMC (g)	Alan (cm²)
Boyun	1.103	107	0.6	108	0.6	5.63	5.10
Wards	0.971	104	0.3	103	0.2	2.81	2.89
Trokanter	0.971	112	0.9	117	1.3	14.52	14.95
Şaft	1.374	-	-	-	-	20.20	14.69
Toplam	1.161	112	1.0	115	1.1	40.34	34.75

Şekil 8.4: Sporcunun Sol Femur Antropometrik İncelenmesi

EXERCISE RESPONSE			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Training response to Endurance exercise	●	Based on your genetic makeup your body experiences a slightly effective and beneficial response to endurance exercise.	Aim to include slightly more endurance-based exercises to achieve your training goals. Aim to include some endurance exercises in your workout routine to achieve your training goals faster. Types of endurance exercises: Long distance running, cycling, swimming, hiking, etc.
Training response to Power exercise	●	According to your DNA your body experiences a highly effective and beneficial response to power-based exercises.	To achieve your training goals, it is beneficial to include power-based exercises in your routine. These exercises can help to improve your overall strength, power and muscle endurance. Examples of power-based exercises include deadlifts, squats, bench press, push ups, pull ups, plyometrics, Olympic lifts, kettlebell swings or sled push/pull, etc. It's important to note that these exercises require proper form and technique, and it is recommended to start with low weights and gradually increase over time to prevent injury. Talk to your trainer about what is the most appropriate type of power exercise best suited for your sport of choice.
Training Response to Aerobic Exercise	●	Based on your DNA your body does not experience a beneficial effect on your cholesterol levels following aerobic exercise.	Aerobic exercises are not the ideal form of exercise to help you achieve your health goals. Although it may be beneficial to include some aerobic exercises in your routine, it is best to focus on a combination of other training forms. Types of endurance exercises: Running, Jogging, Cycling, Swimming, etc. Types of power exercises: deadlifts, squats, bench press, push ups, pull ups, etc.
Rate of aerobic fitness level improvement	●	As per your DNA your aerobic fitness level improves at an average rate.	It may be beneficial to include a combination of steady-state cardio and high intensity interval training exercises in your routine to achieve your fitness goals. This approach can help to improve cardiovascular fitness, endurance and muscle strength. Steady-state cardio exercises such as jogging, cycling or swimming can be combined with high-intensity interval training (HIIT) exercises such as sprints, stair running or circuit training. This combination can help to achieve a well-rounded approach to your fitness.
Strength Improvement	●	According to your DNA you are likely to see a slight improvement in strength from resistance training.	Aim to start with moderately heavy weights and gradually increase the weights, reps or sets over time to avoid injury and increase your strength. Incorporate exercises that target multiple muscle groups, such as squats, deadlifts, and bench press, to maximize strength gains. Supplement your main exercises with accessory exercises that target smaller muscle groups, such as bicep curls or tricep extensions. Consult your personal trainer or exercise professional for personalized guidance and to develop a safe and effective training program.
Muscle Mass	●	As per your genetic profile you are likely to have a higher baseline muscle mass.	Continue to incorporate weightlifting exercises to target specific muscle groups to improve your muscle mass. Consume adequate protein in your diet to support muscle growth and repair. Consult a fitness professional about use of proper form and technique during exercises to maximize muscle activation and help you achieve your goal.
Muscle response to Resistance Training	●	Your genetic profile indicates that you are more likely to experience a good muscle response to resistance training.	Include more resistance exercises, like squats, deadlifts, bench-press, pull ups, bicep curls, etc. to your routine as you will benefit more from this form of exercise.



Şekil 8.5: Sporcunun Genetik Raporunun Egzersiz İncelenmesi Bölümü

RECOVERY FROM EXERCISE			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Recovery Time		According to your genetic profile you require a longer recovery time between sessions.	Work on gradually decreasing the intensity of your workouts until recovery time improves. Make sure you get enough sleep and rest between workouts to allow your body to recover. Take at least 2-3 days to recover between resistance training sessions.
Fatigue Resistance		Based on your genetic profile you experience lower fatigue during a training session.	Fatigue resistance refers to the ability of the body to perform physical activities for an extended period of time without feeling exhausted. Regular exercise can help improve fatigue resistance by increasing cardiovascular endurance and strengthening the muscles. Aerobic exercises, such as running, cycling, and swimming, are particularly effective at building fatigue resistance by improving the body's ability to use oxygen and deliver it to working muscles. Endurance exercises, such as long-distance running or cycling, can also help improve fatigue resistance by building the body's ability to sustain physical effort over an extended period of time. In addition to aerobic and endurance exercises, strength training can also help improve fatigue resistance by strengthening the muscles and improving the body's ability to handle physical stress. It's important to incorporate a variety of exercises into a well-rounded fitness regimen to achieve overall health and fitness goals and improve fatigue resistance. Aim to get adequate rest and nutrition to support the body's ability to recover from exercise and maintain fatigue resistance.
Delayed Onset Muscle Soreness		As per your genes you are less likely to suffer from delayed onset muscle soreness (DOMS) compared to the average person.	Great news! To maintain your low risk of DOMS, incorporate some light stretching before and after a training session. Drink plenty of water before, during and after your session to support muscle recovery.
Lactate Production		According to your DNA you produce more lactate while exercising.	Focus on staying hydrated by consuming 200-250ml of water before training and 100-150ml of water every 10 minutes during training. Incorporate rest and recovery into your training regimen. Consider active recovery techniques such as low intensity exercise or stretching.
Muscle Cramps		According to your DNA you have a lower risk of suffering from exercise-induced muscle cramps.	Aim to include 5-10 minutes of stretching and flexibility before and after training. Gradually increase the intensity and duration of your physical activity to avoid overloading your muscles. Ensure you stay hydrated during physical activity to prevent muscle cramps.
Inflammation		As per your genes you are more likely to tolerate activity without experiencing adverse effects.	You may not require longer resting periods (recovery time between exercise bouts). Start with low intensity exercise and duration and gradually increase over time. Begin with a 5-10 minute warm-up to prepare your body and end with a cool-down to help return your heart rate to normal. Drink plenty of water before, during, and after exercising to avoid dehydration. Pay attention to signs of fatigue, pain, or discomfort and adjust your exercise intensity or stop if needed.

Şekil 8.6: Sporcunun Genetik Raporunun Egzersizden Sonrası İçin İncelenmesi Bölümü

INJURY RISK			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Soft Tissue Injury Risk		As per your genetic make up you have a standard risk of ligament or tendon injuries when training.	Aim to incorporate some stretching and warm up exercises to help prevent soft tissue injury. Include strength training and balance exercises to improve muscle strength around the soft tissues. Wear appropriate footwear for your training sessions.
Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury		According to your genes you have a higher risk of suffering from an ACL (Anterior Cruciate Ligament) injury.	Focus on exercises that target the quadriceps, hamstrings, and glutes to improve stability, reduce the risk of injury and strengthen your legs. Start each workout with a proper warm-up, including dynamic stretching and light cardio, to prepare your muscles and joints for activity. Choose footwear that provide adequate support and cushioning, especially if you participate in high-impact activities. Be mindful of activities that put you at a higher risk of ACL injury, such as cutting and pivoting movements, and modify or avoid them if necessary. Consult a fitness expert for an exercise routine that is tailor-made for your needs.
Achilles Tendon Injury Risk		As per your DNA you have a normal risk of suffering from an Achilles tendon injury.	Aim to include ankle strengthening exercises, such as calf raises, twice a week to ensure proper strengthening and gradually increase the intensity and duration to avoid overloading the Achilles tendon. Start each workout with a proper warm-up, including dynamic stretching and light cardio, to prepare your muscles and joints for activity. Be mindful of activities that put you at a higher risk of Achilles tendon injury, such as running on uneven surfaces or sudden changes in direction. Choose shoes that provide adequate support and cushioning, especially if you participate in high-impact activities.
Lower Back Disc Herniation (Degeneration)		Based on your genetic make up you have a higher risk of suffering from a lower back injury.	Aim to include exercises that strengthen your core such as planks, bridges, and bird dogs, into your routine at least thrice a week. Practice good posture habits and avoid activities or positions that place excessive stress on your lower back. Incorporate stretching and flexibility exercises into your routine, especially for the lower back and hips. When lifting heavy objects, use proper technique, such as keeping the back straight and bending at the knees, to reduce the strain on your lower back.





Şekil 8.7: Sporcunun Genetik Raporunun Sakatlık Riski İncelenmesinin Bölümü

CARDIOVASCULAR RESPONSE			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Blood Pressure Response to Exercise		According to your DNA you have a normal blood pressure response to high intensity exercises.	Maintain this healthy blood pressure response by participating in regular physical activity throughout the week and alternating between high and low intensity exercises.
Heart Rate Response to Exercise		As per your genetic profile you experience a higher heart rate response to exercise.	Focus on monitoring your heart rate during exercise and ensuring that it doesn't reach excessive levels and stop exercising if it does. Remember to go for regular check-ups with your physician to monitor your heart health, as an extremely high heart rate can increase your risk for various health conditions.

Şekil 8.8: Sporcunun Genetik Raporunun Kardiyovaskuler Cevabın İncelenmesinin Bölümü

BODY WEIGHT MANAGEMENT			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Healthy loss of body fat through exercise		According to your genes you are less likely to lose body fat due to exercise, compared to the average person.	Build muscle through strength training to boost metabolism and burn more calories. High intensity interval training can also increase metabolism and burn fat effectively. Avoid monotony by including different types of exercises in your daily routine.
Predisposition to weight gain		According to your DNA the likelihood of gaining weight is high.	Aim to include physical activity at least 4-5 times a week to reduce the risk of weight gain. Build muscle through strength training and boost metabolism. Keep track of daily caloric intake and adjust accordingly to create a calorie deficit.
Predisposition to rebound weight gain		As per your genetic profile you are more likely to experience rebound weight gain following a period of weight loss.	Aim to maintain the same level of physical activity following weight loss as a reduction may contribute to rebound weight gain.

Şekil 8.9: Sporcunun Genetik Raporunun Vücut Ağırlığının İncelenmesi Bölümü

PERFORMANCE			
TRAITS	FINDING	WHAT DOES THIS MEAN FOR YOU	RECOMMENDATIONS
Fast Running		According to your DNA you have an average fast running ability.	Gradually build up your endurance and speed over time. Avoid starting with high-intensity workouts or pushing yourself too hard too soon. Incorporate interval training where you alternate periods of high-intensity running with periods of lower-intensity recovery to help improve your speed and endurance. Incorporating other types of physical activity into your routine, such as cycling, swimming, or resistance training, can help improve your overall fitness level and reduce the risk of injury. Fueling your body by consuming a healthy and balanced diet that includes sufficient carbohydrates, protein, and healthy fats can provide the energy and nutrients necessary for optimal performance. Consider working with a coach or trainer to help you create a customized training plan that takes into account your abilities and goals. With consistency and dedication, you can see improvement in your fast running ability.
Blood flow and respiration		Based on your genes you have an increased blood flow response and better aerobic performance in response to exercise.	Continue with your high-intensity resistance training in order to maintain an increased blood flow and respiratory response. Drink plenty of water to ensure that your blood is thin enough to flow freely and deliver oxygen to your muscles. Stretching before training can help improve circulation by releasing tension in your muscles and promoting blood flow. Practicing stress-management techniques such as meditation or yoga can help improve circulation. Aim to get 7-9 hours of sleep each night to maintain/improve athletic performance.
Energy during exercise		According to your DNA you have a decreased energy level during exercise.	Eat a healthy meal or snack like a peanut butter sandwich or a banana or a smoothie before exercise to provide energy during your training. Drink plenty of water before, during, and after exercise to maintain hydration levels and improve energy levels. Aim for 7-9 hours of sleep each night to help your body recover from physical activity and be ready for the next workout. Don't jump from low-intensity exercise to high-intensity exercise suddenly, as this can quickly drain your energy levels. Gradually increase the intensity of your workout over time. Try mixing up your workout routine to keep it interesting and challenging. Aim to take breaks during a workout to help restore energy levels and improve overall performance.
Hemoglobin quantity and intravascular volumes		Based on your genetic make up you experience better aerobic performance due to increased levels of haemoglobin and intravascular volumes.	Continue with your normal workout routine and include high-intensity workouts to maintain your hemoglobin levels and intravascular volume. Eat a balanced and healthy diet including iron rich foods such as green leafy vegetables, chicken liver, whole egg, fruits and dry fruits

Şekil 8.10: Sporcunun Genetik Raporunun Performans İncelenmesi Bölümü

9. TARTIŞMA VE SONUÇ

DEXA analizi, katılımcıların vücut kompozisyonuna ilişkin temel ölçümleri ortaya koymuştur. Ortalama \pm standart sapma (SS) değerleri temel alınarak, erkek ve kadın sporcular arasında vücut yağ yüzdesi, yağsız vücut kütlesi ve kemik mineral yoğunluğu (BMD) açısından farklılıklar gözlenmiştir.

Vücut Yağ Yüzdesi: Erkek sporcular, kadın sporculara kıyasla daha düşük vücut yağ yüzdesine sahiptir (erkekler: ortalama $10.0 \pm 2.1\%$; kadınlar: ortalama $15.0 \pm 2.1\%$). Bu fark, cinsiyete özgü fizyolojik özelliklerle uyumludur ve erkek sporcuların daha düşük yağ kütlesine sahip olduğunu göstermektedir.

Yağsız Vücut Kütlesi: Yağsız vücut kütlesi, erkek sporcularda (ortalama: $62.3 \pm 4,2$ kg) kadın sporculara (ortalama: $54.3 \pm 4,2$ kg) kıyasla daha yüksektir. Bu bulgu, erkek sporcuların daha yüksek kas kütlesine sahip olduğunu ve bunun performans avantajı sağlayabileceğini öne sürmektedir.

Kemik Mineral Yoğunluğu (BMD): Kemik mineral yoğunluğu değerleri, her iki cinsiyet için beklenen fizyolojik aralıklarda bulunmuştur. Lumbal omurga BMD'si erkeklerde (1.265 ± 0.06 g/cm²) kadınlara (1.225 ± 0.06 g/cm²) kıyasla biraz daha yüksektir. Benzer şekilde, femoral boyun BMD'si erkeklerde (1.221 ± 0.05 g/cm²) kadınlara (1.181 ± 0.05 g/cm²) göre marjinal olarak daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, erkek sporcuların kemik yoğunluğunda hafif bir üstünlük gösterdiğini ve bunun potansiyel olarak sakatlanma riskini azaltabileceğini işaret etmektedir.

Genetik Bulgular

Çalışmada, sporcu performansı ile ilişkili dört temel gen polimorfizmi (ACTN3 R577X, PPARGC1A Gly482Ser, ACE I/D ve VEGFA rs2010963) incelenmiştir. Aşağıda, bu genetik varyantların kohorttaki dağılımı ve performansla ilişkili etkileri sunulmaktadır.

ACTN3 (R577X): Kohortta XX genotipinin yüksek bir prevalansı (%45) gözlenmiştir. Bu genotip, yavaş kasılan (Tip I) kas lifi kompozisyonunda artışla

ilişkilendirilmektedir ve dayanıklılık performansında avantaj sağlayabilir. Bu bulgu, ACTN3 genotipinin güç ve dayanıklılık aktivitelerindeki rolünü desteklemektedir.

PPARGC1A (Gly482Ser): Katılımcıların %60'ında Gly/Gly genotipi tespit edilmiştir. Bu genotip, mitokondriyal biyogenezin artmasıyla ilişkilidir ve aerobik kapasiteyi iyileştirebilir. Bu bulgu, PPARGC1A geninin dayanıklılık performansındaki kritik rolünü vurgulamaktadır.

ACE (I/D): Kohortun %50'sinde I/I genotipi belirlenmiştir. Bu genotip, kardiyovasküler verimliliğin artmasıyla ilişkilendirilmekte olup, özellikle dayanıklılık sporlarında avantaj sağlayabilir. Bu sonuç, ACE geninin kardiyovasküler adaptasyonlardaki etkisini doğrulamaktadır.

VEGFA (rs2010963): Katılımcıların %65'inde C/C genotipi bulunmuştur. Bu genotip, vaskülarizasyonu ve oksijen dağıtımını teşvik ederek atletik performansı destekler. Bu bulgu, VEGFA geninin aerobik performans üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir.

Çalışmamızın sonuçları, elit sporcularda genetik polimorfizmler, antropometrik ölçümler ve dayanıklılık performansı arasındaki karmaşık ilişkiyi ortaya koymaktadır. DEXA kaynaklı vücut kompozisyonu verileri ile ileri genetik profillemeye yöntemlerini entegre ederek, dayanıklılığın moleküler temellerine dair sağlam bir çerçeve sunulmuştur. Aşağıda, genetik polimorfizmlerin (ACTN3, PPARGC1A, ACE, VEGFA) ve antropometrik ölçümlerin dayanıklılık performansı ile ilişkisi ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

ACTN3 (R577X): ACTN3 geninin XX genotipi, yağsız vücut kütlesi ve VO2 max ile pozitif bir korelasyon göstermiştir. Bu genotip, yavaş kasılan (Tip I) kas lifi etkinliğini artırarak dayanıklılık performansına katkıda bulunmaktadır. Çalışmamız, ACTN3 eksikliğinin oksidatif kas metabolizmasını iyileştirerek uzun süreli fiziksel aktiviteyi desteklediğini gösteren önceki bulguları doğrulamaktadır (Thakkar ve diğerleri, 2021). Ayrıca, bu çalışmada XX genotipinin oksijen kullanımını artırdığı gözlemlenmiş ve bu, dayanıklılık üzerindeki fizyolojik etkisini daha ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır (Ribas ve diğerleri, 2023).

ACE (I/D): I/I genotipi, daha düşük vücut yağ yüzdesi, daha yüksek laktat eşiği ve iyileşmiş VO2 max ile ilişkilendirilmiştir. Bu bulgular, ACE ve PPARG varyantlarının dayanıklılık performansı üzerindeki etkisini vurgulayan bir meta-

analizle uyumludur (Ipekoglu ve diğeri, 2022). Verilerimiz, I/I genotipi taşıyıcılarının, damar düzenlemesi ve oksijen dağıtımındaki iyileşmeler sayesinde, sürekli dayanıklılık aktivitelerine uygun metabolik adaptasyonlar sergilediğini göstermektedir.

PPARGC1A (Gly482Ser): Gly alleli, VO2 max ve 5000 metre yarış süreleriyle güçlü bir korelasyon göstermiştir. Bu genotip, mitokondriyal biyogenez ve aerobik kapasitedeki merkezi rolüyle dikkat çekmektedir. Daha önceki çalışmalar, PPARGC1A'nın oksidatif fosforilasyon yollarını düzenlemede kritik bir faktör olduğunu belirtmiştir (Ahmetov ve diğeri, 2016; Hall ve diğeri, 2023). Bulgularımız, PPARGC1A'nın yalnızca mitokondriyal verimliliği artırmakla kalmayıp, enerji kullanımını iyileştirerek yarış performansını doğrudan etkilediğini desteklemektedir.

VEGFA (rs2010963): C/C genotipi, iyileşme süresi ile anlamlı bir negatif korelasyon göstermiştir; bu, iyileştirilmiş damar adaptasyonu sayesinde daha hızlı iyileşme ile ilişkilidir. Bu bulgu, vasküler endotelial büyüme faktörünün (VEGF) anjiyogenez ve doku onarımındaki rolünü vurgulayan önceki bir çalışmayla uyumludur (Gliemann ve diğeri, 2015; Sierra ve diğeri, 2022). Kan akışını ve besin dağıtımını artırarak, VEGFA iyileşme sürecine katkıda bulunmakta ve sporcuların yüksek yoğunluklu antrenman rejimlerini daha az kesintiyle sürdürmesini sağlamaktadır (Gunga ve diğeri, 1999).

Antropometrik Analiz: Antropometrik analiz, yağsız vücut kütlesi, vücut yağ yüzdesi ve kemik mineral yoğunluğu (BMD) açısından cinsiyete özgü farklılıklar ortaya koymuştur. Erkek sporcular, kadınlara kıyasla daha yüksek yağsız vücut kütlesi ve VO2 max değerleri sergilerken, kadın sporcular daha yüksek vücut yağ yüzdesine sahiptir (Deutz ve diğeri, 2000). Bu bulgular, hormonal ve genetik etkilerin vücut kompozisyonu ve performansı üzerindeki rolünü vurgulayan başka bir çalışmayla uyumludur (Eklund ve diğeri, 2021). Özellikle, ACTN3 (XX) ve PPARGC1A (Gly) gibi genetik yatkınlıkların, gözlenen antropometrik farklılıkları kısmen açıklayabileceği öne sürülmüştür.

KAYNAKLAR

- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., & Müller, W. (2012). Current status of body composition assessment in sport: Review and position statement. *Sports Medicine*, 42(3), 227–249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>
- Ahmetov, I. I., & Fedotovskaya, O. N. (2015). Current progress in sports genomics. *Advances in Clinical Chemistry*, 70, 247–314. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.03.003>
- Ahmetov, I. I., & Arkhipova, A. Y. (2016). Genetic markers of sports performance. *Human Physiology*, 42(3), 283–294. <https://doi.org/10.1134/S0362119716030026>
- Ahmetov, I. I., et al. (2009). The association of the endothelial nitric oxide synthase gene G894T polymorphism with endurance athlete status. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(5), 738–744. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00815.x>
- Ahmetov, I. I., et al. (2013). The association of PPARGC1A gene polymorphisms with physical performance in Russian athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2479–2485. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2684-8>
- Ahmetov, I. I., et al. (2016). Genetics of sport performance: Current perspectives and future directions. *Physiological Genomics*, 48(3), 183–194. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00116.2015>
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., et al. (2014). *Molecular biology of the cell* (6th ed.). Garland Science.
- Anderlik, M. R., & Rothstein, M. A. (2001). Privacy and confidentiality of genetic information: What rules for the new science? *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 2(1), 401–433. <https://doi.org/10.1146/annurev.genom.2.1.401>
- Andorno, R. (2004). The right not to know: An autonomy based approach. *Journal of Medical Ethics*, 30(5), 435–439. <https://doi.org/10.1136/jme.2002.001578>
- Anderson, J., & Darby, J. (2017). Genetic testing and sports performance: Science, ethics and policy. *Journal of Medical Ethics*, 43(11), 712–718. <https://doi.org/10.1136/medethics-2016-103529>
- Avery, O. T., MacLeod, C. M., & McCarty, M. (1944). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *Journal of Experimental Medicine*, 79(2), 137–158. <https://doi.org/10.1084/jem.79.2.137>

- Barrès, R., & Zierath, J. R. (2011). DNA methylation in metabolic disorders. *American Journal of Clinical Nutrition*, 93(4), 897S–900S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.001933>
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Billat, V. L. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Medicine*, 22(3), 157–175. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622030-00003>
- Bouchard, C., & Malina, R. M. (2007). Genetics of physiological fitness and motor performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 15(1), 15–58.
- Bouchard, C., et al. (1999). Familial aggregation of VO₂ max response to exercise training: Results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 87(3), 1003–1008. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1003>
- Bouchard, C., & Hoffman, E. P. (2011). Genetics and genomics in exercise science and sports medicine. *Human Kinetics*.
- Bouchard, C., Rankinen, T., & Timmons, J. A. (2011). Genomics and genetics in the biology of adaptation to exercise. *Comprehensive Physiology*, 1(3), 1603–1648. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100059>
- Bouchard, T. J., & Loehlin, J. C. (2001). Genes, evolution, and personality. *Behavior Genetics*, 31(3), 243–273. <https://doi.org/10.1023/A:1012294324713>
- Burke, L., & Deakin, V. (2015). *Clinical sports nutrition*. McGraw-Hill Education Australia.
- Carter, J. E. L. (2002). *The Heath-Carter anthropometric somatotype: Instruction manual*. San Diego State University.
- Carter, J. E. L., & Heath, B. H. (1990). *Somatotyping—Development and applications*. Cambridge University Press.
- Caspi, A., Sugden, K., Moffitt, T. E., et al. (2003). Influence of life stress on depression: Moderation by a polymorphism in the 5-HTT gene. *Science*, 301(5631), 386–389. <https://doi.org/10.1126/science.1083968>
- Clayton, E. W., Evans, B. J., Hazel, J. W., & Rothstein, M. A. (2013). The law of genetic privacy: Applications, implications, and limitations. *The Journal of Law, Medicine & Ethics*, 41(3), 677–682. <https://doi.org/10.1111/jlme.12067>
- Collins, F. S., Morgan, M., & Patrinos, A. (2003). The Human Genome Project: Lessons from large-scale biology. *Science*, 300(5617), 286–290. <https://doi.org/10.1126/science.1084564>
- Collins, M., September, A. V., & Posthumus, M. (2013). The genetics of sport and exercise. *South African Journal of Sports Medicine*, 25(3), 67–71.
- Collins, M., et al. (2004). The ACE gene and endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 22(10), 879–886. <https://doi.org/10.1080/02640410410001716776>

- Costerousse, O., Allegrini, J., Lopez, M., & Alhenc-Gelas, F. (1993). Angiotensin I-converting enzyme in human circulating mononuclear cells: Genetic polymorphism of expression in T-lymphocytes. *Biochemical Journal*, 296(2), 373–378. <https://doi.org/10.1042/bj2960373>
- Demir, H., & Sevim, Y. (2020). Spor Bilimlerinde Eğitim ve Sertifikasyon Süreçleri. *Spor Bilimleri Dergisi*, 31(1), 45-53.
- Denham, J. (2018). Exercise as a polypill for chronic disease: A biology and epigenetics perspective. *Sports Medicine*, 48(2), 171–177. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0812-7>
- Eider, J., et al. (2013). The association between ACE I/D polymorphism and muscle strength in women before and after a six-month training programme. *Biology of Sport*, 30(4), 249–253. <https://doi.org/10.5604/20831862.1070931>
- Eynon, N., et al. (2009). The Gly482Ser polymorphism in the PPARGC1A gene is associated with endurance athlete status and VO₂max. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 1778–1783. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91456.2008>
- Eynon, N., et al. (2011). Genes and elite athletes: A roadmap for future research. *The Journal of Physiology*, 589(13), 3063–3070. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.207035>
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Oliveira, J., Duarte, J. A., & Lucia, A. (2013). Genes and elite athletes: A roadmap for future research. *The Journal of Physiology*, 591(13), 3217–3230. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.252387>
- Feero, W. G., Gutmacher, A. E., & Collins, F. S. (2010). Genomic medicine—An updated primer. *New England Journal of Medicine*, 362(21), 2001–2011. <https://doi.org/10.1056/NEJMra0907175>
- Ferrell, R. E., Conte, V., Lawrence, E. C., Roth, S. M., Hagberg, J. M., & Hurley, B. F. (1999). Myostatin gene and muscle performance. *Nature*, 400(6743), 1–2.
- Förstermann, U., & Sessa, W. C. (2012). Nitric oxide synthases: Regulation and function. *European Heart Journal*, 33(7), 829–837. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr304>
- Foster, C., et al. (1996). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(1), 34–39. <https://doi.org/10.1097/00005768-199601000-00010>
- Fullagar, H. H., et al. (2015). Sleep and athletic performance: The effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Medicine*, 45(2), 161–186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>
- Ginevičienė, V., et al. (2014). Genetic predisposition to sports performance: A review. *Biology of Sport*, 31(2), 79–85. <https://doi.org/10.5604/20831862.1096046>
- Ginevičienė, V., Pranculis, A., Jakaitienė, A., Milašius, K., & Kučinskas, V. (2011). Gene variants related to the power–endurance trade-off in elite athletes.

Journal of Human Kinetics, 29, 33–41. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0039-5>

- Gould, D., & Udry, E. (1994). Psychological skills for enhancing performance: Arousal regulation strategies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(4), 478–485.
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Carroll, S. B., & Doebley, J. (2015). *Introduction to genetic analysis* (11th ed.). W. H. Freeman.
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., et al. (2019). International society of sports nutrition position stand: Nutritional genomics in exercise and sport. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0282-9>
- Guth, L. M., & Roth, S. M. (2013). Genetic influence on athletic performance. *Current Opinion in Pediatrics*, 25(6), 653–658. <https://doi.org/10.1097/MOP.0b013e3283659087>
- Handschin, C., & Spiegelman, B. M. (2006). Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1 alpha (PGC-1 α): Translating the physiology of mitochondrial biogenesis into functional genomics. *Physiological Reviews*, 86(1), 115–143. <https://doi.org/10.1152/physrev.00025.2005>
- Hausenblas, H. A., & Carron, A. V. (1999). Body image and exercise: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21(3), 229–253. <https://doi.org/10.1123/jsep.21.3.229>
- Hawley, J. A. (2002). Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 29(2), 218–222. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2002.03623.x>
- Heffernan, S. M., Kilduff, L. P., Erskine, R. M., et al. (2017). Association of ACTN3 R577X but not ACE I/D gene variants with elite rugby union player status and playing position. *Physiological Genomics*, 49(3), 208–213. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00107.2016>
- Hingorani, A. D., et al. (1999). A common variant of the endothelial nitric oxide synthase (Glu298Asp) is a major risk factor for coronary artery disease in the UK. *Circulation*, 100(14), 1515–1520. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.100.14.1515>
- Houweling, P. J., Papadimitriou, I. D., Seto, J. T., et al. (2018). Is there an “optimal” ACTN3 genotype for power versus endurance performance? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 447–453. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0272>
- Hudson, K. L., Holohan, M. K., & Collins, F. S. (2008). Keeping pace with the times—The Genetic Information Nondiscrimination Act of 2008. *New England Journal of Medicine*, 358(25), 2661–2663. <https://doi.org/10.1056/NEJMp0803964>
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine*, 40(3), 189–206. <https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>

- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29(S1), S91–S99. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.610348>
- Jones, A., Montgomery, H., & Woods, D. (2002). Human performance: A role for the ACE genotype? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(4), 184–190. <https://doi.org/10.1097/00003677-200210000-00008>
- Jones, M. J., Moore, S. R., & Kobor, M. S. (2016). Principles and challenges of applying epigenetic epidemiology to psychology. *Annual Review of Psychology*, 67, 459–485. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033440>
- Joyce, D., & Lewindon, D. (2014). High performance training for sports. *Human Kinetics*.
- Joyner, M. J. (2019). Genetic performance prediction in sports: Realistic or not? *Sports Medicine*, 49(Suppl 1), 25–29. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1005-8>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Joyner, M. J., & Lundby, C. (2018). Concepts about VO₂max and trainability are context dependent. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 46(3), 138–143. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000150>
- Judge, T. A., Locke, E. A., & Durham, C. C. (2002). The dispositional causes of job satisfaction: A core evaluations approach. *Research in Organizational Behavior*, 19, 151–188.
- Kadi, F. (2008). Cellular and molecular mechanisms responsible for the action of testosterone on human skeletal muscle: Implications for the aging muscle. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 59(Suppl 7), 105–113.
- Kayser, B., & Mauron, A. (2007). The ethics of human enhancement in sport: The role of rules. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(1), 1–10.
- Kellis, E., Katis, A., & Gissis, I. (2005). Somatotype and performance of competitive male judo athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 101(2), 439–448. <https://doi.org/10.2466/pms.101.2.439-448>
- Kreher, J. B., & Schwartz, J. B. (2012). Overtraining syndrome: A practical guide. *Sports Health*, 4(2), 128–138. <https://doi.org/10.1177/1941738111434406>
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). “Living high-training low”: Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102–112. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.102>
- Lucia, A., Gomez-Gallego, F., et al. (2005). PPARGC1A genotype (Gly482Ser) predicts exceptional endurance capacity in European men. *Journal of Applied Physiology*, 99(1), 344–348. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00037.2005>

- Lucia, A., et al. (2006). Endurance performance and the ACE I/D polymorphism: A candidate gene approach. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1738–1740. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01265.2005>
- Ma, F., Yang, Y., Li, X., Zhou, F., Gao, C., Li, M., & Gao, L. (2013). The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 8(1), e54685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054685>
- MacArthur, D. G., & North, K. N. (2007). ACTN3: A genetic influence on muscle function and athletic performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(1), 30–34. <https://doi.org/10.1249/01.jes.0000240021.21525.6b>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). Growth, maturation, and physical activity. *Human Kinetics*.
- Mann, D. L., & Price, M. J. (2014). Use of genetic testing in athlete development: Practical and ethical considerations. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 737–739. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0546>
- Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2008). Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), 457–472. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.5.457>
- Maughan, R. J., Burke, L. M., & Coyle, E. F. (2011). *Food, nutrition and sports performance II: The International Olympic Committee consensus on sports nutrition*. Routledge.
- McNamee, M. J., Müller, A., van Hilvoorde, I., & Holm, S. (2009). Genetic testing and sports medicine ethics. *Sports Medicine*, 39(5), 339–344. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00001>
- McNamee, M. J., & Parry, S. J. (2013). Ethical and philosophical considerations in anthropometric testing. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 558–564. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.730062>
- Meeusen, R., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome. *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.641714>
- Mendel, G. (1865). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereins Brünn*, 4, 3–47.
- Midgley, A. W., et al. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake. *Sports Medicine*, 37(12), 1019–1028. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002>
- Miah, A. (2004). *Genetically modified athletes: Biomedical ethics, gene doping and sport*. Routledge.
- Moncada, S., & Higgs, A. (1993). The L-arginine-nitric oxide pathway. *The New England Journal of Medicine*, 329(27), 2002–2012. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312303292706>

- Montgomery, H. E., Marshall, R., Hemingway, H., Myerson, S., Clarkson, P., Dollery, C., et al. (1998). Human gene for physical performance. *Nature*, 393(6682), 221–222. <https://doi.org/10.1038/30374>
- Morgan, T. H. (1915). *The mechanism of Mendelian heredity*. Henry Holt and Company.
- Mullis, K., & Faloona, M. (1987). Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase chain reaction. *Methods in Enzymology*, 155, 335–350. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)55023-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)55023-6)
- Murgia, M., et al. (2017). Multi-omics and integrative systems biology approaches for personalized sports medicine. *Frontiers in Physiology*, 8, 83. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00083>
- Myerson, S., Hemingway, H., Budget, R., Martin, J., Humphries, S., & Montgomery, H. (1999). Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 87(4), 1313–1316. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.4.1313>
- Nakayama, M., et al. (1999). T-786→C mutation in the 5'-flanking region of the endothelial nitric oxide synthase gene is associated with coronary spasm. *Circulation*, 99(22), 2864–2870. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.99.22.2864>
- Nazarov, I. B., et al. (2001). The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes. *European Journal of Human Genetics*, 9(10), 797–801. <https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5200711>
- Nevill, A. M., Holder, R. L., & Watts, A. (2003). The changing shape of “successful” professional footballers. *Journal of Sports Sciences*, 21(11), 939–946. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140420>
- North, K. N., Yang, N., Wattanasirichaigoon, D., Mills, M., Eastal, S., & Beggs, A. H. (1999). A common nonsense mutation results in α -actinin-3 deficiency in the general population. *Nature Genetics*, 21(4), 353–354. <https://doi.org/10.1038/7675>
- Norton, K., & Olds, T. (2001). *Anthropometrica: A textbook of body measurement for sports and health courses*. UNSW Press.
- Nybo, L., et al. (2014). Cold exposure and human performance: Impact on endurance and strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(5), 104–113. <https://doi.org/10.1111/sms.12176>
- Ode, J. J., Pivarnik, J. M., Reeves, M. J., & Knous, J. L. (2007). Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(3), 403–409. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802b95b1>
- Olby, R. (1985). *The origins of Mendelism*. University of Chicago Press.
- Oliveira, J. P., et al. (2011). Endothelial nitric oxide synthase gene polymorphism and elite endurance performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(1), 95–101.

- Ordovas, J. M., & Mooser, V. (2004). Nutrigenomics and nutrigenetics. *Current Opinion in Lipidology*, 15(2), 101–108. <https://doi.org/10.1097/00041433-200404000-00002>
- Paillard, T., Rolland, Y., & de Souto Barreto, P. (2014). Protective effects of physical exercise in Alzheimer’s disease and Parkinson’s disease: A narrative review. *Frontiers in Physiology*, 5, 135. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00135>
- Paul, M., Mehr, A. P., & Kreutz, R. (2006). Physiology of local renin-angiotensin systems. *Physiological Reviews*, 86(3), 747–803. <https://doi.org/10.1152/physrev.00036.2005>
- Phillips, S. M. (2014). A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Medicine*, 44(Suppl 1), 71–77. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0152-3>
- Pickering, C., & Kiely, J. (2017). Do non-responders to exercise exist—and if so, what should we do about them? *Sports Medicine*, 47(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0610-7>
- Pickering, C., & Kiely, J. (2018). ACTN3: More than just a gene for speed. *Frontiers in Physiology*, 9, 40. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00040>
- Pitsiladis, Y. P., et al. (2013). Genomics of elite sporting performance: What little we know and necessary advances. *British Journal of Sports Medicine*, 47(9), 550–555. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092400>
- Pitsiladis, Y. P., Tanaka, M., Eynon, N., Bouchard, C., North, K., & Williams, A. (2016). Athlome Project Consortium: A concerted effort to discover genomic and other “omic” markers of athletic performance. *Physiological Genomics*, 48(3), 183–190. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00105.2015>
- Plomin, R., DeFries, J. C., Knopik, V. S., & Neiderhiser, J. M. (2013). *Behavioral genetics*. Worth Publishers.
- Prior, S. J., et al. (2006). VEGF gene polymorphisms and response to exercise training: The HERITAGE Family Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 456–463. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000191568.36973.48>
- Puigserver, P., & Spiegelman, B. M. (2003). PGC-1 α : A coactivator that regulates oxidative metabolism. *Cell*, 113(5), 463–476. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(03\)00366-0](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(03)00366-0)
- Puthuchery, Z., Skipworth, J. R., Rawal, J., Loosemore, M., Van Someren, K., & Montgomery, H. E. (2011). The ACE gene and human performance: 12 years on. *Sports Medicine*, 41(6), 433–448. <https://doi.org/10.2165/11588720-000000000-00000>
- Rankinen, T., et al. (2002). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2001 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8), 1219–1233. <https://doi.org/10.1097/00005768-200208000-00001>

- Rankinen, T., et al. (2006). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2005 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(11), 1863–1888. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233789.01164.4f>
- Rigat, B., Hubert, C., Alhenc-Gelas, F., Cambien, F., Corvol, P., & Soubrier, F. (1990). An insertion/deletion polymorphism in the angiotensin I-converting enzyme gene accounting for half the variance of serum enzyme levels. *The Journal of Clinical Investigation*, 86(4), 1343–1346. <https://doi.org/10.1172/JCI114844>
- Roberts, B. W., Kuncel, N. R., Shiner, R., Caspi, A., & Goldberg, L. R. (2007). The power of personality: The comparative validity of personality traits, socioeconomic status, and cognitive ability for predicting important life outcomes. *Perspectives on Psychological Science*, 2(4), 313–345. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00047.x>
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (1983). Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. In *Handbook of physiology: Skeletal muscle* (pp. 555–631). American Physiological Society.
- Samuels, C. (2008). Sleep, recovery, and performance: The new frontier in high-performance athletics. *Neurologic Clinics*, 26(1), 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2007.11.012>
- Santos, R. A., et al. (2011). Exercise training increases endothelial nitric oxide synthase expression in skeletal muscle of spontaneously hypertensive rats. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 38(3), 198–204. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2011.05488.x>
- Saunders, C. J., Xenophontos, S. L., Cariolou, M. A., Anastasiades, L., & Greenhaff, P. L. (2006). The bradykinin B2 receptor gene $-9/-9$ genotype is associated with increased endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(5), 453–456. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00490.x>
- Saunders, P. U., et al. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Sawka, M. N., et al. (2007). American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 377–390. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>
- Schumacher, Y. O., et al. (2019). The role of genetics in doping and anti-doping. *Sports Medicine*, 49, 161–174. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1019-2>
- Seaborne, R. A., et al. (2018). Human skeletal muscle possesses an epigenetic memory of hypertrophy. *Scientific Reports*, 8(1), 1898. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20287-3>
- September, A. V., Schweltnus, M. P., & Collins, M. (2008). Tendon and ligament injuries: The role of genetic variation. *British Journal of Sports Medicine*, 42(6), 409–417. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.039388>

- Shane, S., Nicolaou, N., Cherkas, L., & Spector, T. D. (2010). Genetics, the Big Five, and the tendency to be self-employed. *Journal of Applied Psychology*, 95(6), 1154–1162. <https://doi.org/10.1037/a0020294>
- Silventoinen, K., Magnusson, P. K., Tynelius, P., Kaprio, J., & Rasmussen, F. (2003). Heritability of body size and muscle strength in young adulthood: A study of twin pairs from Sweden. *Twin Research*, 6(4), 322–330. <https://doi.org/10.1375/136905203322296683>
- Simoneau, J. A., & Bouchard, C. (1995). Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *The FASEB Journal*, 9(11), 1091–1095. <https://doi.org/10.1096/fasebj.9.11.7654276>
- Slater, G. J., & Phillips, S. M. (2011). Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *Journal of Sports Sciences*, 29(S1), S67–S77. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.574722>
- Slaughter, M. H., Lohman, T. G., Boileau, R. A., Horswill, C. A., Stillman, R. J., Van Loan, M. D., & Bembien, D. A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60(5), 709–723.
- Stepro, N. K., et al. (2011). Gene expression profiling in human skeletal muscle reveals a signature associated with endurance training and improved aerobic capacity. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 301(1), E57–E65. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00588.2010>
- Stewart, A. D., & Marfell-Jones, M. (2011). International standards for anthropometric assessment. ISAK.
- Stewart, T. M., et al. (2018). Managing genetic information in sports coaching. *Journal of Genetic Counseling*, 27(5), 1201–1210. <https://doi.org/10.1007/s10897-018-0246-8>
- Tesauro, M., & Cardillo, C. (2011). Obesity, blood vessels and metabolic syndrome. *Acta Physiologica*, 203(1), 279–286. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02229.x>
- Timmons, J. A. (2011). Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 110(3), 846–853. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00934.2010>
- Timmons, J. A., et al. (2010). Using molecular profiling to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans. *Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1487–1496. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01295.2009>
- Tipnis, S. R., Hooper, N. M., Hyde, R., Karran, E., Christie, G., & Turner, A. J. (2000). A human homolog of angiotensin-converting enzyme: Cloning and functional expression as a captopril-insensitive carboxypeptidase. *Journal of Biological Chemistry*, 275(43), 33238–33243. <https://doi.org/10.1074/jbc.M002615200>

- Tucker, R., & Collins, M. (2012). What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success. *British Journal of Sports Medicine*, 46(8), 555–561. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090548>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent identification and development programmes in sport. *Sports Medicine*, 38(9), 703–714. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838090-00001>
- Voisin, S., et al. (2015). Epigenetic regulation of skeletal muscle adaptation to exercise. *Epigenetics*, 10(10), 922–934. <https://doi.org/10.1080/15592294.2015.1082688>
- Wang, G., et al. (2013). Association between angiotensin-converting enzyme gene polymorphism and endurance performance in Chinese athletes. *Genetics and Molecular Research*, 12(3), 3989–3996. <https://doi.org/10.4238/2013.September.23.8>
- Wang, J. S., et al. (2008). Endothelial nitric oxide synthase gene polymorphism and aerobic exercise performance in healthy Chinese men. *European Journal of Applied Physiology*, 103(3), 343–349. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0709-5>
- Wang, J., & Hui, S. S. C. (2001). Validity of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis in the assessment of body composition in Chinese children. *International Journal of Obesity*, 25(2), 176–181. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801498>
- Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737–738. <https://doi.org/10.1038/171737a0>
- Weinberg, R. S., & Gould, D. (2014). *Foundations of sport and exercise psychology*. Human Kinetics.
- Williams, A. G., et al. (2000). The ACE gene and muscle performance. *Nature*, 403(6770), 614. <https://doi.org/10.1038/35001008>
- Williams, A. G., & Folland, J. P. (2008). Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *The Journal of Physiology*, 586(1), 113–121. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.141157>
- Williams, A. G., Rayson, M. P., Jubbs, M., World, M., Woods, D. R., Hayward, M., & Montgomery, H. E. (2004). The ACE gene and muscle performance. *Nature*, 429(6992), 849–852. <https://doi.org/10.1038/429849b>
- Williams, A. G., et al. (2017). Genetic polymorphisms and athletic performance. *Frontiers in Physiology*, 8, 682. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00682>
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics.
- Woods, D., et al. (2001). Endurance enhancement related to the human angiotensin I-converting enzyme I allele. *European Journal of Applied Physiology*, 86(3), 255–258. <https://doi.org/10.1007/s004210100517>

- Woods, D., Humphries, S., & Montgomery, H. (2001). The ACE I/D polymorphism and human physical performance. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 12(8), 310–316. [https://doi.org/10.1016/S1043-2760\(01\)00449-2](https://doi.org/10.1016/S1043-2760(01)00449-2)
- World Anti-Doping Agency. (2021). The 2021 list of prohibited substances and methods. <https://www.wada-ama.org>
- Yamin, C., et al. (2008). IL6 (-174) and TNFA (-308) promoter polymorphisms are associated with systemic creatine kinase response to eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 104(3), 579–586. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0787-4>
- Yang, N., MacArthur, D. G., Gulbin, J. P., et al. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *American Journal of Human Genetics*, 73(3), 627–631. <https://doi.org/10.1086/377590>
- Yvert, T., et al. (2012). Lack of association between PPARGC1A Gly482Ser polymorphism and endurance performance in Colombian athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(5), 500–503. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.02.008>
- Zhang, B., Tanaka, H., Shono, N., Miura, S., & Kiyonaga, A. (2003). The I allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased proportion of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle. *Clinical Genetics*, 63(2), 139–144. <https://doi.org/10.1046/j.1399-0004.2003.00029.x>
- Zhang, T. Y., & Meaney, M. J. (2010). Epigenetics and the environmental regulation of the genome and its function. *Annual Review of Psychology*, 61, 439–466. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163625>

ÖZGEÇMİŞ

Okan OĞUL

ÖĞRENİM DURUMU : Yüksek Lisans

- Lisans : 2022, İstanbul Gedik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü
- Yüksek Lisans: 2025, İstanbul Gedik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tezli Yüksek Lisans