SPOR BİLİMLERİNDE GÜNCEL KAVRAMLAR VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR

All Sciences Academy

SPOR BİLİMLERİNDE GÜNCEL KAVRAMLAR VE YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALAR

Editör
Doç. Dr. Fatih ÖZGÜL

Spor Bilimlerinde Güncel Kavramlar ve Yenilikçi Araştırmalar
Editör: Doç. Dr. Fatih ÖZGÜL

Dizayn: All Sciences Academy Design
Basım Tarihi: Aralık 2025
Yayıncı Sertifika Numarası: 72273
ISBN: 978-625-8536-61-4

© All Sciences Academy

www.allsciencesacademy.com
allsciencesacademy@gmail.com

İÇERİK

1. Bölüm **6**

Kadınların Fiziksel Aktiviteye Katılımını Etkileyen Faktörler: Sistematik Bir Derleme

Cansu AVCI, Nimet HAŞIL KORKMAZ

2. Bölüm **20**

Yüksek Performans Sporunun Biyolojik Yaşlanma Üzerine Etkisi: Sistematik Derleme

İzzet Uğur ZENGİN, Şerife VATANSEVER

3. Bölüm **34**

Giyilebilir Akıllı Cihazların Mobil Sağlık (mHealth) Ekosistemindeki Yükselişi

Mehmet Emin YILDIZ

4. Bölüm **53**

Zekânın Renkleriyle Karar Vermek: Beden Eğitimi ve Sporda Gardner'in Çoklu Zekâ Kuramı Işığında Bir Yaklaşım

Murat GENÇ, Mehmet Çağrı ÇETİN

5. Bölüm **68**

Sanal Gerçeklikte Hareket Hastalığı: Kavramlar Kuramlar ve Mekanizmalar

Yağmur KOCAOĞLU

6. Bölüm **88**

Spor Bilimlerinde Sanal Gerçeklik: Performans Algısal ve Bilişsel Beceriler

Yağmur KOCAOĞLU

7. Bölüm **103**

Fitness ve Kuvvetin Güncel Çerçevesi

SERCAN ÖNCEN

8. Bölüm **119**
Genetik Varyasyonların Kafein Yanıtına Etkisi
Kuzey Eren URGANCI, İnci Banu AYÇA

Kadınların Fiziksel Aktiviteye Katılımını Etkileyen Faktörler: Sistematik Bir Derleme

Cansu AVCI[1]

Nimet HAŞIL KORKMAZ[2]

1- Cansu AVCI Bursa Uludağ Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bölümü. kl.psk.cansuavci@gmail.com ORCID No: https://orcid.org/0009-0006-5898-0234
2- Prof. Dr.Nimet HAŞIL KORKMAZ Bursa Uludağ Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bölümü. nhasil@uludag.edu.tr ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-7648-3289

ÖZET

Fiziksel aktivite, kadınların fiziksel ve psikolojik sağlığının korunması ve geliştirilmesinde temel yaşam davranışlarından biri olarak kabul edilmektedir. Düzenli fiziksel aktivitenin kronik hastalıkların önlenmesi, ruh sağlığının desteklenmesi ve yaşam kalitesinin artırılması üzerindeki olumlu etkilerine rağmen, kadınların fiziksel aktiviteye katılım düzeylerinin birçok ülkede erkeklere kıyasla daha düşük olduğu bildirilmektedir. Bu durum, fiziksel aktivite davranışının yalnızca bireysel tercihlerle değil; sosyal roller, kültürel normlar, çevresel koşullar ve yapısal faktörlerle birlikte şekillendiğini göstermektedir. Kadınların yaşam döngüsü boyunca üstlendikleri bakım emeği, ev içi sorumluluklar, çalışma hayatı, güvenlik algısı ve sosyal destek düzeyi, fiziksel aktiviteye katılım üzerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı, 2020–2025 yılları arasında yayımlanmış, tam metnine açık erişim sağlanabilen çalışmalar doğrultusunda**,** kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörleri sistematik olarak derlemektir. Sistematik derleme sürecinde Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) bildirgesi rehber alınmıştır. Literatür taraması, İngilizce anahtar kelimeler kullanılarak gerçekleştirilmiş; "women" veya "female", "physical activity" veya "exercise", "participation", "barriers", "facilitators" terimleri "and" ve "or" bağlaçlarıyla birleştirilmiştir.

Derlemeye dahil edilen çalışmalar incelendiğinde, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörlere ilişkin heterojen ve yer yer çelişkili bulgular bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte, zaman kısıtı, bakım sorumlulukları, yorgunluk, güvenlik algısı, sosyal destek ve kültürel normların kadınların fiziksel aktiviteye katılımında etkili olabileceği genel olarak ortaya konmaktadır. Ancak incelenen çalışmaların büyük bölümünün kesitsel tasarıma sahip olması ve örneklem özelliklerinin farklılık göstermesi, bu faktörler arasındaki nedensel ilişkilerin net biçimde açıklanmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörlerin tam olarak aydınlatılabilmesi için deneysel ve boylamsal tasarımlara sahip, daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır**.**

Anahtar Kelimeler: Kadın, fiziksel aktivite, egzersiz, katılım, engeller, kolaylaştırıcılar

GİRİŞ

Fiziksel aktivite, sağlığın korunması ve geliştirilmesinde temel yaşam davranışlarından biri olarak kabul edilmektedir. Düzenli fiziksel aktivitenin kardiyovasküler hastalıklar, obezite, tip 2 diyabet ve bazı kanser türlerinin önlenmesinde etkili olduğu; aynı zamanda ruh sağlığını destekleyerek yaşam kalitesini artırdığı yaygın biçimde kabul edilmektedir (World Health Organization, 2020). Buna rağmen fiziksel inaktivite, küresel ölçekte önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmekte ve bu durum özellikle kadınlarda daha belirgin şekilde görülmektedir (Guthold ve ark., 2018).

Kadınların fiziksel aktiviteye katılım düzeyleri, farklı yaş grupları ve kültürel bağlamlarda değişiklik göstermekle birlikte, birçok ülkede erkeklere kıyasla daha düşük seyretmektedir (Hallal ve ark., 2012). Bu farklılık, fiziksel aktivite davranışının yalnızca bireysel tercihlerle açıklanamayacağını; sosyal, kültürel ve çevresel faktörlerle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bauman ve arkadaşları (2012), fiziksel aktivite davranışını çok düzeyli bir yapı olarak tanımlamakta ve bireysel faktörlerin yanı sıra kişilerarası ilişkiler, çevresel koşullar ve politikaların bu davranış üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamaktadır.

Kadınların fiziksel aktiviteye katılımındaki görece düşüklüğün altında yatan temel nedenlerden biri, yaşam döngüsü boyunca üstlenilen çoklu roller ve sorumluluklardır. Ev içi işler, çocuk ve yaşlı bakımı, çalışma hayatının getirdiği yükler ve duygusal emek, kadınların fiziksel aktiviteye ayırabilecekleri zaman ve enerjiyi önemli ölçüde sınırlayabilmektedir (McIntyre ve Rhodes, 2009; Brown ve ark., 2014). Bu bağlamda "zaman yetersizliği", kadınlarda fiziksel aktiviteye katılımı engelleyen en sık bildirilen faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Trost ve ark., 2002).

Bireysel düzeyde ele alındığında, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörler arasında yorgunluk, fiziksel rahatsızlık algısı, öz-yeterlik ve beden algısı önemli yer tutmaktadır. Günlük yaşamın getirdiği fiziksel ve zihinsel yorgunluk, özellikle çalışan kadınlar ve anneler için fiziksel aktiviteye katılımın önünde önemli bir engel oluşturmaktadır (Babakus ve Thompson, 2012). Bununla birlikte, bireyin fiziksel aktiviteyi öz-bakım davranışı ve kendine zaman ayırma biçimi olarak algılaması, katılımı destekleyen bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Bhatnagar ve ark., 2021).

Kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen bir diğer önemli boyut ise kişilerarası faktörlerdir. Aile üyeleri, eş ve arkadaşlardan alınan sosyal destek, kadınların fiziksel aktiviteye başlama ve sürdürme süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Sallis ve ark., 2000). Buna karşılık, sosyal destek eksikliği ve bakım sorumluluklarının paylaşılmaması, özellikle annelerde ve göçmen kadınlarda fiziksel aktiviteye katılımı olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Eyler ve ark., 2002; Pérez-Flores ve ark., 2023).

Çevresel ve yapısal faktörler de kadınların fiziksel aktivite davranışında belirleyici bir role sahiptir. Güvenlik algısı, spor alanlarına erişim, ekonomik koşullar ve fiziksel çevrenin uygunluğu, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır (Saelens ve Handy, 2008). Özellikle kamusal alanlarda güvenlik kaygısı, kadınların açık alanlarda fiziksel aktivite yapma isteğini azaltabilmektedir. Ayrıca bazı kültürel bağlamlarda, toplumsal cinsiyet normları ve beklentiler, kadınların spor ve egzersize katılımını dolaylı ya da doğrudan sınırlayabilmektedir (Bhatnagar ve ark., 2021).

Tüm bu bulgular, kadınların fiziksel aktiviteye katılımının çok boyutlu ve karmaşık bir yapı sergilediğini göstermektedir. Literatürde kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen engeller ve kolaylaştırıcılara ilişkin çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların güncel veriler ışığında sistematik olarak bir araya getirilmesi önemli bir ihtiyaçtır. Özellikle son yıllarda farklı kültürel bağlamlarda yürütülen çalışmaların artması, bu alandaki bulguların bütüncül biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu nedenle bu sistematik derlemenin amacı, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan açık erişimli çalışmalar doğrultusunda**,** kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen bireysel, kişilerarası, çevresel ve yapısal faktörleri bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. Bu derlemenin, kadınlara yönelik fiziksel aktiviteyi artırmaya yönelik müdahale ve politika geliştirme süreçlerine bilimsel bir temel sağlaması hedeflenmektedir.

YÖNTEM

Bu çalışma, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörleri inceleyen bir sistematik derleme çalışmasıdır. Sistematik derlemenin yürütülmesi ve raporlanmasında, Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) bildirgesi rehber alınmıştır. Çalışmanın tüm aşamaları, PRISMA'nın önerdiği şeffaflık, sistematiklik ve tekrarlanabilirlik ilkeleri doğrultusunda planlanmış ve uygulanmıştır.

Literatür taraması, açık erişimli bilimsel yayınlara ulaşılabilen elektronik veri tabanları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda PubMed, PubMed Central (PMC), PLOS, Frontiers ve BMC/SpringerOpen veri tabanları taranmıştır. Arama sürecinde İngilizce anahtar kelimeler kullanılmış ve kelimeler "AND" ve "OR" bağlaçlarıyla birleştirilmiştir. Literatür taramasında kullanılan anahtar kelimeler "women" veya "female", "physical activity" veya "exercise", "participation", "barriers", "facilitators", "determinants" ifadelerinden oluşmaktadır. Tarama, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmaları kapsayacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Sistematik derlemeye dahil edilme kriterleri şu şekilde belirlenmiştir: (1) çalışmanın 2020–2025 yılları arasında yayımlanmış olması, (2) tam metnine açık erişim sağlanabilmesi, (3) araştırma örnekleminin kadınlardan oluşması ya da kadınlara özgü bulgular sunulması, (4) fiziksel aktiviteye

katılımı etkileyen engelleri, kolaylaştırıcıları veya belirleyici faktörleri incelemesi ve (5) nitel, nicel, karma yöntemli araştırmalar veya kadın odağı açık olan sistematik derleme çalışmaları olması.

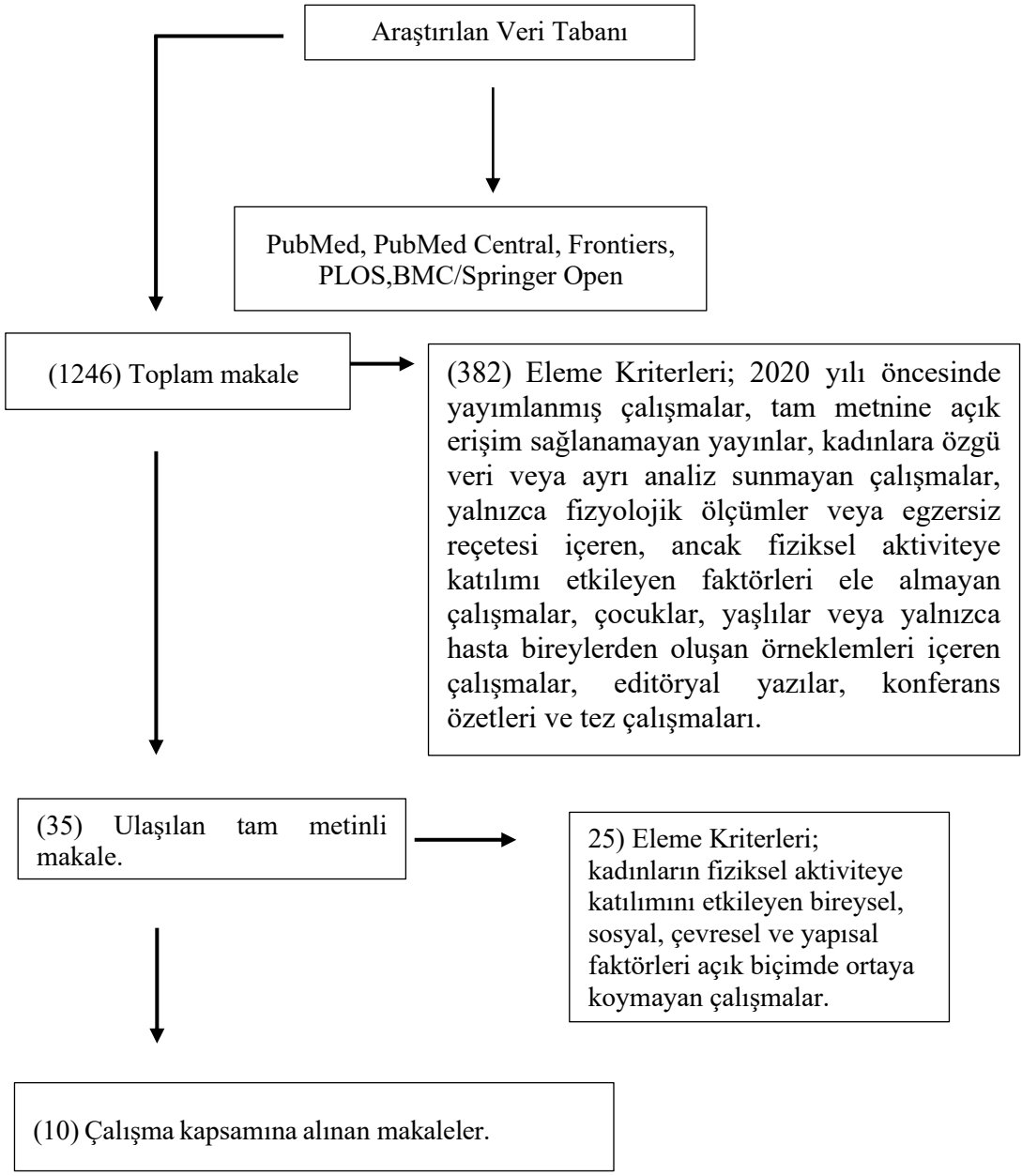
Araştırmanın dışlama kriterleri ise şu şekilde tanımlanmıştır: (1) 2020 yılı öncesinde yayımlanmış çalışmalar, (2) tam metnine açık erişim sağlanamayan yayınlar, (3) kadınlara özgü veri veya ayrı analiz sunmayan çalışmalar, (4) yalnızca fizyolojik ölçümler veya egzersiz reçetesi içeren, ancak fiziksel aktiviteye katılımı etkileyen faktörleri ele almayan çalışmalar, (5) çocuklar, yaşlılar veya yalnızca hasta bireylerden oluşan örneklemleri içeren çalışmalar, (6) editöryal yazılar, konferans özetleri ve tez çalışmaları.

Literatür taramasının ilk aşamasında, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak yapılan arama sonucunda toplam 1.246 yayına ulaşılmıştır. Yinelenen kayıtların çıkarılmasının ardından, yayın yılı ve erişim durumuna göre eleme yapılmıştır. Bu aşamada 2020 yılı öncesinde yayımlanmış çalışmalar ile tam metnine açık erişim sağlanamayan yayınlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bu ilk eleme süreci sonunda 382 çalışmanın tam metnine ulaşılmıştır.

Tam metin incelemesi aşamasında, çalışmalar dahil edilme ve dışlama kriterleri doğrultusunda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu süreçte, kadınlara özgü sonuç sunmayan, fiziksel aktiviteye katılımı etkileyen faktörleri doğrudan ele almayan, yalnızca biyolojik veya performansa yönelik ölçümler içeren çalışmalar ile metodolojik olarak derlemenin amacına uygun bulunmayan yayınlar elenmiştir. Bu eleme sonucunda 35 çalışma sistematik derleme için potansiyel olarak uygun bulunmuştur.

Son aşamada, uygun bulunan çalışmalar metodolojik kalite, araştırma sorusuyla uyum ve raporlanan bulguların açıklayıcılığı açısından yeniden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen bireysel, sosyal, çevresel ve yapısal faktörleri açık biçimde ortaya koyan ve dahil edilme kriterlerini tümüyle karşılayan 10 açık erişimli çalışma sistematik derleme kapsamına alınmıştır. Çalışmaların belirlenmesi, elenmesi ve nihai seçimi süreci PRISMA akış diyagramı doğrultusunda yürütülmüş ve raporlanmıştır.

Derlemeye dahil edilen çalışmalardan veri çıkarımı, standartlaştırılmış bir veri toplama formu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her çalışmadan yayın yılı, çalışma yapılan ülke, örneklemin özellikleri, araştırma tasarımı ve kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen temel engeller ve kolaylaştırıcılar kaydedilmiştir. Dahil edilen çalışmaların yöntemsel çeşitliliği nedeniyle meta-analiz yapılmamış; bunun yerine elde edilen bulgular tematik sentez yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bulgular, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen bireysel, kişilerarası, çevresel ve yapısal faktörler çerçevesinde sınıflandırılarak yorumlanmıştır.



Şekil 1. *Prisma Yöntemi*

BULGULAR

Bu sistematik derlemede, belirlenen dahil edilme kriterleri doğrultusunda seçilmiş toplam 10 açık erişimli araştırma makalesi incelenmiştir. Derlemeye dahil edilen çalışmalar, farklı ülkelerde yürütülmüş olup genç kadınlar, anneler, üniversite öğrencileri, gebe kadınlar, etnik azınlık grupları ve sedanter yaşam tarzına sahip kadınlardan oluşan çeşitli örneklemleri kapsamaktadır. İncelenen çalışmalar nitel, nicel ve karma yöntemli araştırmalardan oluşmakta ve kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörleri farklı düzeylerde ele almaktadır. Çalışmalardan elde edilen temel bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

Referans	Ülke/ Örneklem	Araştırma Tasarımı	İncelenen Faktörler	Temel Bulgular
Soroka ve ark., 2020	Polonya / Genç anneler	Kesitsel	Motivasyon, zaman,aile sorumlulukları	Zaman yetersizliği ve çocuk bakımı katılımı sınırlayan temel engellerdir. Sağlık ve kilo kontrolü önemli motivasyon kaynaklarıdır.
Bhatnagar ve ark., 2021	BK / Britanyalı Hintli kadınlar	Nitel	Kültürel normlar, güvenlik,sosyal destek	Kültürel beklentiler ve mahremiyet ihtiyacı katılımı azaltırken, sosyal destek katılımı artırmaktadır.
Aljehani, 2022	Suudi Arabistan / Kadın üniv. öğrencileri	Karma yöntem	Sosyal normlar, altyapı, kurumsal destek	Kadınlara uygun spor alanlarının sınırlılığı önemli bir engeldir; kurumsal destek katılımı artırmaktadır.
Okafor ve ark., 2022	Güney Afrika / Gebe kadınlar	Karma yöntem	Yorgunluk, bilgi eksikliği, sağlık algısı	Yorgunluk ve güvenli egzersize dair bilgi eksikliği prenatal fiziksel aktiviteyi sınırlamaktadır.
Kianfard ve ark., 2022	İran / Nullipar gebe kadınlar	Nitel	Sosyal destek, sağlık danışmanlığı	Sağlık profesyoneli desteği ve uygun çevre katılımı kolaylaştırmaktadır.
Shabu ve ark., 2023	Irak / Yetişkin kadınlar	Kesitsel	Zaman, çevresel engeller	Ev içi sorumluluklar ve zaman kısıtı temel engellerdir.

Pérez-Flores ve ark., 2023	ABD & Meksika/ Latina anneler	Nitel	Göç, iklim, aile yükümlülükleri	Göç sonrası yaşam koşulları ve bakım sorumlulukları katılımı azaltmaktadır.
Fernandez-Lasa ve ark., 2024	İspanya / 18–29 yaş kadınlar	Karma yöntem	Motivasyon, beden algısı	İçsel motivasyon katılımı artırırken beden algısı kaygıları azaltmaktadır.
Howard ve ark., 2024	Çoklu bağlam / Siyah kadınlar	Nitel sistematik derleme	Kesişimsellik, ayrımcılık	Irk ve cinsiyetin kesişimi güvenlik ve erişim engellerini artırmaktadır.
Noori-Sistani ve ark., 2025	İran / Sedanter kadınlar	Karma yöntem	Ev temelli egzersiz, zaman	Ev temelli fiziksel aktivite zaman kısıtını azaltmaktadır.

Tablo1. *Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular*

Tablo 1'de sunulan bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörlerin çok boyutlu bir yapı sergilediği görülmektedir. Çalışmalar farklı ülkelerde ve farklı örneklem gruplarında yürütülmüş olmasına rağmen, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen temel engel ve kolaylaştırıcıların büyük ölçüde benzerlik gösterdiği dikkat çekmektedir. Zaman kısıtı, bakım sorumlulukları, yorgunluk, güvenlik algısı, sosyal destek ve kültürel normlar, incelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda ortak temalar olarak öne çıkmaktadır (Soroka ve ark., 2020; Bhatnagar ve ark., 2021; Pérez-Flores ve ark., 2023).

Bireysel düzeyde ele alındığında, özellikle yorgunluk, enerji eksikliği ve fiziksel rahatsızlık algısı kadınların fiziksel aktiviteye katılımını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Gebe kadınlara odaklanan çalışmalarda, fiziksel aktivitenin güvenliğine ilişkin belirsizlikler ve yanlış inanışların katılımı azalttığı bildirilmiştir (Okafor ve ark., 2022; Kianfard ve ark., 2022). Bununla birlikte bazı çalışmalarda, fiziksel aktivitenin öz-bakım davranışı ve kendine zaman ayırma aracı olarak algılanmasının, katılımı destekleyen önemli bir motivasyon kaynağı olduğu ifade edilmiştir (Bhatnagar ve ark., 2021; Fernandez-Lasa ve ark., 2024).

Kişilerarası faktörler incelendiğinde, sosyal desteğin kadınların fiziksel aktiviteye katılımında belirleyici bir rol oynadığı görülmektedir. Aile üyeleri ve arkadaşlardan alınan destek, fiziksel aktiviteye başlama ve sürdürme sürecini kolaylaştırırken; sosyal destek eksikliği ve yoğun aile sorumlulukları katılımı olumsuz yönde etkilemektedir (Soroka ve ark., 2020; Pérez-Flores ve ark., 2023). Özellikle anneler ve göçmen kadınlar üzerinde yapılan çalışmalarda, bakım yükünün fiziksel aktiviteyi geri plana ittiği vurgulanmıştır.

Çevresel ve yapısal faktörlere ilişkin bulgular, güvenlik algısı, spor alanlarına erişim ve kültürel normların kadınların fiziksel aktivite davranışında önemli rol oynadığını göstermektedir. Kadınlara uygun spor alanlarının yetersizliği, ekonomik engeller ve güvenlik kaygıları birçok çalışmada katılımı sınırlayan unsurlar olarak raporlanmıştır (Aljehani, 2022; Shabu, 2023). Ayrıca etnik azınlık gruplarında, ayrımcılık deneyimleri ve toplumsal cinsiyet rolleri fiziksel aktiviteye katılımı zorlaştıran yapısal engeller olarak öne çıkmaktadır (Howard ve ark., 2024).

Bazı çalışmalar, ev temelli ve topluluk temelli fiziksel aktivite yaklaşımlarının kadınların katılımını artırabileceğini göstermektedir. Özellikle sedanter yaşam tarzına sahip kadınlarda, ev temelli egzersiz seçeneklerinin zaman ve erişim engellerini azaltarak fiziksel aktiviteye katılımı desteklediği belirtilmiştir (Noori-Sistani ve ark., 2025). Bu bulgular, kadınların fiziksel aktivite davranışının bireysel tercihlerden ziyade, içinde bulundukları sosyal ve çevresel koşullar tarafından şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak bu sistematik derlemede elde edilen bulgular, kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörlerin bireysel, kişilerarası, çevresel ve yapısal düzeylerde birbirleriyle etkileşim halinde olduğunu göstermektedir. Bu durum, kadınlara yönelik fiziksel aktiviteyi artırmaya yönelik müdahalelerin çok boyutlu ve bağlama duyarlı biçimde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

SONUÇ

Bu sistematik derlemenin amacı, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan açık erişimli çalışmalar doğrultusunda kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörleri inceleyerek güncel literatürü bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Derlemeye dahil edilen çalışmalar birlikte ele alındığında, kadınların fiziksel aktiviteye katılımının tek bir değişkenle açıklanamayacağı; bireysel, kişilerarası, çevresel ve yapısal faktörlerin birbiriyle etkileşim içinde olduğu çok boyutlu bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu bulgu, fiziksel aktivite davranışının yalnızca bireysel motivasyon veya bilgi düzeyi üzerinden değerlendirilmesinin yetersiz kalacağını ortaya koymaktadır (Bauman ve ark., 2012).

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda, zaman kısıtı ve bakım sorumlulukları kadınların fiziksel aktiviteye katılımını sınırlayan temel engeller arasında yer almaktadır. Özellikle anneler ve çalışan kadınlar üzerinde yürütülen araştırmalar, ev içi sorumluluklar, çocuk bakımı ve iş yükünün fiziksel aktiviteye ayrılabilecek zamanı ve enerjiyi önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (Soroka ve ark., 2020; Pérez-Flores ve ark., 2023). Bu bulgu, “zaman yetersizliği”nin bireysel bir tercih veya planlama sorunu olmaktan ziyade, toplumsal cinsiyet rolleriyle ilişkili yapısal bir durum

olduğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla kadınların fiziksel aktiviteye katılımını artırmayı hedefleyen müdahalelerde, yalnızca bireysel davranış değişikliğine odaklanmak yeterli olmayabilir.

Bireysel düzeyde ele alındığında, yorgunluk, enerji eksikliği ve fiziksel rahatsızlık algısının kadınların fiziksel aktiviteye katılımında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Özellikle gebelik dönemine odaklanan çalışmalarda, fiziksel yorgunluk ve egzersizin güvenliğine ilişkin belirsizliklerin katılımı azalttığı bildirilmektedir (Okafor ve ark., 2022; Kianfard ve ark., 2022). Bununla birlikte bazı çalışmalarda, fiziksel aktivitenin öz-bakım davranışı ve "kendine zaman ayırma" biçimi olarak algılanmasının, kadınların katılımını destekleyen önemli bir motivasyon kaynağı olduğu belirtilmiştir (Bhatnagar ve ark., 2021; Fernandez-Lasa ve ark., 2024). Bu durum, kadınların fiziksel aktiviteye yüklediği anlamın, katılım davranışı üzerinde belirleyici olabileceğini göstermektedir.

Kişilerarası faktörler açısından değerlendirildiğinde, sosyal destek mekanizmalarının kadınların fiziksel aktiviteye katılımında kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Aile üyeleri, eş ve arkadaşlardan alınan duygusal ve pratik destek, fiziksel aktiviteye başlama ve sürdürme sürecini kolaylaştırmaktadır (Soroka ve ark., 2020). Buna karşılık, sosyal destek eksikliği ve yoğun aile sorumlulukları, özellikle anneler ve göçmen kadınlar için katılımı zorlaştırmaktadır (Pérez-Flores ve ark., 2023). Bu bulgular, kadınların fiziksel aktivite davranışının bireysel kararlar kadar sosyal ilişkiler ağı içinde şekillendiğini ortaya koymaktadır.

Çevresel ve yapısal faktörlere ilişkin bulgular, güvenlik algısı, spor alanlarına erişim ve kültürel normların kadınların fiziksel aktivite davranışı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Kadınlara uygun spor alanlarının yetersizliği, ekonomik engeller ve kamusal alanlarda güvenlik kaygıları birçok çalışmada katılımı sınırlayan temel unsurlar olarak raporlanmıştır (Aljehani, 2022; Irak Kürdistan Bölgesi çalışması, 2023). Ayrıca bazı kültürel bağlamlarda, kadınların kamusal alanda fiziksel aktivite yapmasına yönelik sınırlayıcı normların katılımı dolaylı olarak azalttığı görülmektedir (Bhatnagar ve ark., 2021). Etnik azınlık gruplarına odaklanan çalışmalarda ise, ayrımcılık deneyimleri ve güvensizlik algısının fiziksel aktiviteye katılım üzerinde ek bir yük oluşturduğu bildirilmiştir (Howard ve ark., 2024).

Derlemeye dahil edilen bazı çalışmalar, ev temelli ve topluluk temelli fiziksel aktivite yaklaşımlarının kadınların katılımını artırabileceğine işaret etmektedir. Özellikle sedanter yaşam tarzına sahip kadınlarda, ev temelli egzersiz seçeneklerinin zaman ve erişim engellerini azaltarak katılımı desteklediği görülmektedir (Noori-Sistani ve ark., 2025). Ancak bu tür müdahalelere ilişkin çalışmaların sayısının sınırlı olması, bu yaklaşımların etkililiği konusunda kesin bir yargıya varılmasını güçleştirmektedir.

Bu sistematik derlemenin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İncelenen çalışmaların büyük bir kısmının kesitsel tasarıma sahip olması, nedensel

ilişkilerin ortaya konulmasını sınırlandırmaktadır. Ayrıca örneklemlerin yaş, kültürel bağlam ve sosyoekonomik özellikler açısından heterojen olması, bulguların genellenebilirliğini kısıtlayabilmektedir. Bununla birlikte, birçok çalışmanın öz-bildirim temelli ölçüm araçları kullanması da sonuçların yorumlanmasında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir (Bauman ve ark., 2012).

Sonuç olarak, bu sistematik derleme kadınların fiziksel aktiviteye katılımını etkileyen faktörlerin çok düzeyli ve birbirleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Zaman kısıtı, bakım sorumlulukları, yorgunluk, güvenlik algısı, sosyal destek ve kültürel normlar kadınların fiziksel aktiviteye katılımını şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Elde edilen bulgular, kadınlara yönelik fiziksel aktiviteyi artırmayı hedefleyen müdahalelerin yalnızca bireysel davranış değişikliğine odaklanmaması gerektiğini; sosyal, çevresel ve yapısal koşulları da kapsayan çok bileşenli yaklaşımlar içermesi gerektiğini göstermektedir.

Bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmaların, deneysel ve boylamsal tasarımlar içermesi, farklı kültürel ve sosyoekonomik bağlamları kapsaması ve yapısal faktörleri daha derinlemesine ele alması önem taşımaktadır. Böylece kadınların fiziksel aktiviteye katılımını artırmaya yönelik daha etkili, sürdürülebilir ve kapsayıcı stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlanabilecektir.

REFERANSLAR

Aljehani N, Razee H, Ritchie J, Valenzuela T, Bunde-Birouste A, Alkhaldi G. Exploring Female University Students' Participation in Physical Activity in Saudi Arabia: A Mixed-Methods Study. Front Public Health. 2022 Mar 18;10:829296. doi: 10.3389/fpubh.2022.829296. PMID: 35372244; PMCID: PMC8971611.

Babakus, W. S., & Thompson, J. L. (2012). Physical activity among South Asian women: A systematic, mixed-methods review. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 9, 150. https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-150

Bauman, A. E., Reis, R. S., Sallis, J. F., Wells, J. C., Loos, R. J. F., & Martin, B. W. (2012). Correlates of physical activity: Why are some people physically active and others not? The Lancet, 380(9838), 258–271. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60735-1

Bhatnagar P, Foster C, Shaw A. Barriers and facilitators to physical activity in second-generation British Indian women: A qualitative study. PLoS One. 2021 Nov 3;16(11):e0259248. doi: 10.1371/journal.pone.0259248. PMID: 34731201; PMCID: PMC8565737.

Brown, N., & Bowmer, Y. (n.d.). A Comparison of Perceived Barriers and Motivators to Physical Activity in Young and Middle-Aged Women. Women in Sport and Physical Activity Journal, 27(1), 52-59. Retrieved Dec 21, 2025, from https://doi.org/10.1123/wspaj.2017-0045

Eyler, A. A., Wilcox, S., Matson-Koffman, D., Evenson, K. R., Sanderson, B., Thompson, J., Wilbur, J., & Rohm-Young, D. (2002). Correlates of physical activity among women from diverse racial/ethnic groups. Journal of Women's Health & Gender-Based Medicine, 11(3), 239–253. https://doi.org/10.1089/152460902753668448

Fernandez-Lasa U, Eizagirre-Sagastibeltza O,Cayero R, Romaratezabala E,Martínez-Abajo J and Usabiaga O (2024) Young women's leisure time physical activitydeterminants: a mixed methods approach.Front. Psychol. 15:1281681. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1281681

Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016. The Lancet Global Health, 6(10), e1077–e1086. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7

Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., & Ekelund, U. (2012). Global physical activity levels: Surveillance progress, pitfalls, and prospects. The Lancet, 380(9838), 247–257. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1

Howard SL, Bartholomew JB (2024) Barriers and facilitators to physical activity among Black women: A qualitative systematic review and thematic synthesis. PLOS Glob Public Health 4(12): e0003202. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003202

Kianfard, Leila, Niknami, Shamsaddin, SHokravi, Farkhonde Amin, Rakhshanderou, Sakineh, Facilitators, Barriers, and Structural Determinants of Physical Activity in Nulliparous Pregnant Women: A Qualitative Study, Journal of Pregnancy, 2022, 5543684, 9 pages, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/5543684

McIntyre CA, Rhodes RE. Correlates of leisure-time physical activity during transitions to motherhood. Women Health. 2009 Jan-Feb;49(1):66-83. doi: 10.1080/03630240802690853. PMID: 19485235.

Noori-Sistani, M., Allahverdipour, H., Vahedian-Shahroodi, M. et al. Barriers to home-based physical activity and predictors of activity levels among women with high sedentary habits: an explanatory mixed-methods study. BMC Res Notes 18, 217 (2025). https://doi.org/10.1186/s13104-025-07243-x

Okafor, U. B., & Goon, D. T. (2022). Uncovering barriers to prenatal physical activity and exercise among South African pregnant women: A cross-sectional, mixed-method analysis. Frontiers in Public Health, 10, 697386. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.697386

Pérez-Flores NJ, Pineros-Leano M, Damian K, Toney AM, Aguayo L (2023) Barriers and facilitators of physical activity among Latina immigrant and Mexican mothers living in the US and Mexico: A qualitative study. PLOS ONE 18(8): e0290227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290227

Saelens, B. E., & Handy, S. L. (2008). Built environment correlates of walking: A review. Medicine & Science in Sports & Exercise, 40(7), S550–S566. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817c67a4

Sallis, J. F., Prochaska, J. J., & Taylor, W. C. (2000). A review of correlates of physical activity of children and adolescents. Medicine & Science in Sports &

Exercise, 32(5), 963–975. https://doi.org/10.1097/00005768-200005000-00014

Shabu, S.A., Saka, M.H., Al-Banna, D.A. et al. A cross-sectional study on the perceived barriers to physical exercise among women in Iraqi Kurdistan Region. BMC Women's Health 23, 543 (2023). https://doi.org/10.1186/s12905-023-02696-3

Soroka, A., Godlewska, A., Krzęcio-Nieczyporuk, E. et al. Identification of motives and barriers to physical activity of polish young mothers. BMC Women's Health **20**, 197 (2020). https://doi.org/10.1186/s12905-020-01061-y

Trost, S. G., Owen, N., Bauman, A. E., Sallis, J. F., & Brown, W. (2002). Correlates of adults' participation in physical activity. Medicine & Science in Sports & Exercise, 34(12), 1996–2001. https://doi.org/10.1097/00005768-200212000-00020

Yüksek Performans Sporunun Biyolojik Yaşlanma Üzerine Etkisi: Sistematik Derleme

İzzet Uğur ZENGİN[1]

Şerife VATANSEVER [2]

1- Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antrenörlük Eğitimi ABD, Bursa, Türkiye, iuzengin@gmail.com ORCID: 0009-0001-5259-2146
2- Prof. Dr; Bursa Uludağ Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Bursa, Türkiye, serife@uludag.edu.tr ORCID: 0000-0003-4722-5197

ÖZET

Bu sistematik derleme, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisini DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş saatleri ve telomer uzunluğu göstergeleri üzerinden bütüncül biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. Biyolojik yaş, kronolojik yaştan bağımsız olarak organizmanın fizyolojik durumunu ve yaşlanma hızını yansıtan önemli bir kavramdır ve son yıllarda moleküler biyobelirteçlerin gelişimiyle daha objektif biçimde değerlendirilebilmektedir. Özellikle Horvath, Hannum, PhenoAge, GrimAge ve DNAmFitAge gibi epigenetik yaş saatleri ile telomer uzunluğu ölçümleri, egzersiz ve antrenman yüklenmelerinin yaşlanma biyolojisi üzerindeki etkilerini ortaya koymada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu derleme, PRISMA rehberi doğrultusunda yürütülmüş olup literatür taraması yalnızca PubMed veri tabanında 2012–2025 yılları arasında yayımlanan insan çalışmalarını kapsamaktadır. Dahil edilen çalışmalar elit ve profesyonel sporcuları içermekte, epigenetik yaş veya telomer uzunluğu ölçümleri rapor etmektedir. Bulgular, dayanıklılık temelli ve uzun süreli antrenman geçmişine sahip sporcularda epigenetik yaşlanmanın yavaşladığını ve telomer bütünlüğünün daha iyi korunduğunu göstermektedir. Buna karşılık güç ve sürat temelli branşlarda epigenetik yaş hızlanmasına işaret eden sonuçlar da mevcuttur. Profesyonel takım sporlarında ise epigenetik yaşın sezon içi yüklenme ve toparlanma döngülerine bağlı olarak dinamik biçimde değişebildiği bildirilmektedir. Genel olarak, yüksek aerobik kapasitenin sporcularda daha genç bir biyolojik yaş profiliyle en güçlü ilişkili fizyolojik değişken olduğu anlaşılmaktadır. Bu derlemenin sonuçları, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisinin branşa ve yüklenme tipine özgü olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Biyolojik yaş, epigenetik yaş, DNA metilasyonu, telomer uzunluğu, elit sporcular, yüksek performans sporu

GİRİŞ

Biyolojik yaş, bireyin kronolojik yaşından bağımsız olarak organizmanın fizyolojik bütünlüğünü, hücresel fonksiyonlarını ve metabolik dayanıklılığını yansıtan temel bir kavramdır ve son yıllarda yaşlanma araştırmalarının merkezinde yer almaktadır (Jylhävä ve ark., 2017; López-Otín ve ark., 2013). Yaşlanma sürecinin yalnızca zamanın ilerlemesiyle açıklanamayacağı; genetik, epigenetik, çevresel ve yaşam tarzı faktörlerinin karşılıklı etkileşimiyle şekillendiği görüşü günümüzde yaygın kabul görmektedir (López-Otín ve ark., 2013). Bu bağlamda biyolojik yaşın doğru

biçimde değerlendirilmesi, hastalık riskinin öngörülmesi, sağlıklı yaşam süresinin belirlenmesi ve performans fizyolojisinin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir.

Güncel literatür, biyolojik yaşlanmanın yalnızca elit sporculara özgü bir olgu olmadığını; düzenli fiziksel aktivite ve egzersiz alışkanlıklarının epigenetik yaşlanma üzerinde anlamlı etkiler oluşturabildiğini göstermektedir (Sellami ve ark., 2018). Özellikle uzun süreli ve düzenli aerobik egzersizin inflamasyonun baskılanması, mitokondriyal fonksiyonların güçlendirilmesi ve oksidatif stres yönetiminin iyileştirilmesi yoluyla biyolojik yaşlanmayı yavaşlatabileceği bildirilmektedir (Sellami ve ark., 2018). Fiziksel uygunluk düzeyindeki artışın, epigenetik yaş saatleriyle ölçülen biyolojik yaşın daha genç seyretmesiyle ilişkili olduğu da çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Jókai ve ark., 2023).

Beslenme ve yaşam tarzı bileşenleri, epigenetik yaşlanma sürecinin önemli belirleyicileri arasında yer almaktadır. Enerji dengesinin korunması, yeterli ve dengeli protein alımı ile inflamatuvar yanıtı azaltan beslenme örüntülerinin DNA metilasyon paternleri ve hücresel yaşlanma mekanizmaları üzerinde düzenleyici etkiler gösterebildiği bildirilmektedir (Sellami ve ark., 2018). Bu çerçevede biyolojik yaş; genetik altyapı, davranışsal faktörler, antrenman alışkanlıkları ve beslenme örüntülerinin birlikte şekillendirdiği dinamik bir fenotip olarak ele alınmalıdır (López-Otín ve ark., 2013).

Biyolojik yaşın değerlendirilmesinde son yıllarda moleküler biyobelirteçlere dayalı yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Özellikle DNA metilasyonuna dayalı epigenetik yaş saatleri ile telomer uzunluğu ölçümleri, yaşlanma hızının daha objektif ve hassas biçimde belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Horvath, 2013; Levine ve ark., 2018; Lu ve ark., 2019). Horvath, Hannum, PhenoAge, GrimAge ve DNAmFitAge gibi epigenetik yaş modelleri, yaşa duyarlı metilasyon değişimlerini temel alarak bireyin epigenetik yaşlanma hızını ortaya koymaktadır (Jókai ve ark., 2023). Telomer uzunluğu ise hücresel replikasyon kapasitesi ve oksidatif stres birikimiyle ilişkili klasik bir biyolojik yaşlanma göstergesi olarak kabul edilmektedir (Blackburn ve ark., 2000; Østhus ve ark., 2012).

Sporun ve egzersizin yaşlanma biyolojisi üzerindeki etkisi uzun süredir araştırılmaktadır. Düzenli ve yoğun fiziksel aktivitenin kardiyorespiratuvar uygunluğu artırdığı, inflamasyonu azalttığı ve metabolik fonksiyonları iyileştirdiği bilinmektedir (Sellami ve ark., 2018). Bu fizyolojik adaptasyonların, epigenetik mekanizmalar ve telomer bütünlüğü üzerinden biyolojik yaşlanma sürecini etkileyebileceği öne sürülmektedir. Bununla birlikte, elit sporcularda biyolojik yaşlanmanın yönü ve büyüklüğünün spor branşına ve yüklenme tipine göre farklılık gösterebildiği bildirilmektedir.

Dayanıklılık temelli sporcularda epigenetik yaşlanmanın yavaşladığını ve telomer bütünlüğünün daha iyi korunduğunu gösteren çalışmalar bulunurken (Radák ve ark., 2025; Østhus ve ark., 2012), güç ve sürat temelli branşlarda epigenetik yaş hızlanmasına işaret eden bulgular da rapor edilmiştir (Spólnicka ve ark., 2018). Profesyonel takım sporlarında ise epigenetik yaşın sezon içi yüklenme ve toparlanma döngülerine bağlı olarak dinamik biçimde değişebildiği gösterilmiştir (Brooke ve ark., 2025). Bu durum, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisinin branşa özgü olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu sistematik derlemenin amacı, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisini DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş saatleri ve telomer uzunluğu bulguları üzerinden bütüncül biçimde değerlendirmektir. Elit ve profesyonel sporcularda epigenetik yaşlanmanın yönünü, hızını ve fiziksel uygunlukla ilişkisini inceleyen güncel çalışmaların sentezlenmesiyle literatürdeki bilgi boşluğuna katkı sağlanması hedeflenmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla hazırlanmış bir sistematik derlemedir. Derleme süreci, sistematik derleme ve raporlama standartlarını tanımlayan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) rehberi doğrultusunda yürütülmüştür. Çalışmanın planlanması, literatür taraması, çalışma seçimi ve bulguların sentezi aşamalarında önceden belirlenmiş metodolojik adımlar izlenmiştir.

Literatür Tarama Stratejisi

Literatür taraması yalnızca PubMed veri tabanında gerçekleştirilmiştir. Arama süreci Kasım 2025 tarihine kadar yayımlanmış çalışmaları kapsayacak şekilde yürütülmüş ve 2012 yılı sonrası yayınlarla sınırlandırılmıştır. Aramada “epigenetic age”, “DNA methylation age”, “epigenetic clock”, “DNAmFitAge”, “telomere length”, “athlete”, “elite athlete” ve “professional athlete” anahtar kelimeleri kullanılmış, bu terimlerin Boolean kombinasyonları oluşturulmuştur. Tarama yalnızca insan çalışmalarıyla sınırlandırılmış, İngilizce dil filtresi uygulanmıştır.

Elde edilen kayıtlar öncelikle başlık ve özet düzeyinde değerlendirilmiş, dahil edilme kriterlerini karşılayan çalışmaların tam metinlerine erişilerek ikinci aşama inceleme yapılmıştır. Uygun bulunmayan çalışmalar sistematik olarak elenmiştir.

PICOS Çerçevesi

Bu sistematik derleme, çalışma seçimi ve dahil/haric kriterlerinin yapılandırılmasında PICOS (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, Study Design) yaklaşımını temel almıştır:

- P (Population – Popülasyon): Elit sporcular, profesyonel sporcular, dayanıklılık sporcuları, yüksek performans düzeyine sahip yetişkin atletler.
- I (Intervention / Exposure – Müdahale / Maruz Kalma): Uzun dönem antrenman geçmişi, yüksek performans sporu, sezon içi yüklenme, fiziksel uygunluk düzeyi.
- C (Comparison – Karşılaştırma): Aynı yaş/ cinsiyet grubundan sedanter bireyler, rekreasyonel sporcular veya farklı branş sporcuları (çalışma tasarımına göre).
- O (Outcomes – Sonuçlar): DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş (Horvath, Hannum, PhenoAge, GrimAge, DNAmFitAge), epigenetik yaş hızlanması/yavaşlaması, telomer uzunluğu (T/S oranı).
- S (Study Design – Çalışma Tasarımı): Gözlemsel çalışmalar (kesitsel, karşılaştırmalı), antrenman geçmişi veya sezon takibi içeren izlem çalışmaları ve biyobelirteç ölçümü içeren araştırmalar.

Tablo 1: PICOS Çerçevesi

P (Popülasyon)	Ulusal, uluslararası ve Olimpik seviyede yarışmacı sporcular (yetişkin, master ve elit gelişim grupları)
I (Maruziyet)	Uzun dönem yüksek yüklenme içeren antrenman geçmişi ve/veya yüksek performans rekabetçi spor katılımı
C (Karşılaştırıcı)	Yaşa göre eşleştirilmiş sedanter / düşük aktivite düzeyinde bireyler
O (Sonuçlar)	Birincil: DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş saatleri (Horvath, Hannum, GrimAge, PhenoAge, DNAmFitAge vb.) İkincil: Telomer uzunluğu ve diğer biyolojik yaşlanma belirteçleri
S (Çalışma Tasarımı)	İnsan gözlemsel çalışmalar (kesitsel, kohort) ve meta-analizler

Bu yapı, çalışmanın odaklandığı popülasyon ve sonuç değişkenlerinin sistematik biçimde sınıflandırılmasını sağlamıştır.

Dahil Etme Kriterleri

Çalışmalar aşağıdaki koşulları sağlaması halinde derlemeye dahil edilmiştir:

- PubMed üzerinden **tam metin erişilebilir** ve İngilizce dilinde olması
- 2013 yılı ve sonrasında yapılmış olması
- İnsan katılımcılar üzerinde yapılmış olması
- DNA metilasyonu temelli **epigenetik yaş** (*DNAmAge, PhenoAge, GrimAge, DNAmFitAge vb.) veya **telomer uzunluğu** ölçümü içeren kronik çalışmalar
- 18 yaş ve üzeri yetişkin sporcuları içermesi
- Elit, profesyonel, yüksek performans veya dayanıklılık sporcularını içermesi
- Spor/egzersiz ile biyolojik yaş ilişkisini değerlendirmesi

Hariç Tutma Kriterleri

Aşağıdaki özelliklere sahip çalışmalar dışlanmıştır:

- Epigenetik yaş veya telomer verisi içermeyen biyolojik yaş çalışmaları
- Hayvan veya hücre kültürü çalışmaları
- Derleme ve meta analiz çalışmaları
- Yalnızca **akut** egzersiz yanıtını değerlendiren ve uzun dönem biyolojik yaş göstergesi rapor etmeyen makaleler

Çalışma Seçimi

Başlangıç taraması sonucunda elde edilen çalışmalar iki aşamalı olarak incelenmiştir. İlk aşamada başlık-özet taraması yapılmış; ikinci aşamada tam metin erişilebilen yayınlar ve içerik değerlendirilmiştir. Dahil edileme kriterlerini karşılamayan çalışmalar elenmiş ve derlemeye **altı çalışma** dahil edilmiştir.

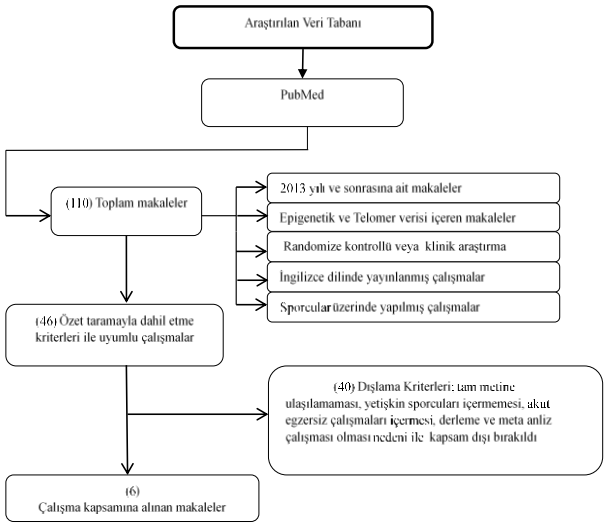
Veri Çıkarımı ve Sentez

Her çalışma için standart bir veri çıkarım formu kullanılmıştır. Aşağıdaki değişkenler sistematik olarak kaydedilmiştir:

- Örneklem özellikleri (yaş, cinsiyet, spor branşı)
- Kullanılan epigenetik saat modeli
- Telomer ölçüm yöntemi
- Biyolojik yaş yönelimi (hızlanma, yavaşlama, nötr)
- Performans göstergeleri (VO_2max, fiziksel uygunluk testleri, sezon yüklenmesi)
- Ana bulgular ve istatistiksel sonuçlar

Derleme konusu çalışmaların tasarım, ölçüm yöntemi ve popülasyon açısından heterojen olması nedeniyle meta-analiz yapılmamış; bulgular nitel (narrative) sentez olarak sunulmuştur.

PRISMA Akış Diyagramı:



Veri Çıkarımı ve Sentez

Her bir çalışma için standartlaştırılmış bir veri çıkarım formu kullanılmıştır. Çalışmalardan örneklem özellikleri, spor branşı, kullanılan epigenetik yaş modeli, telomer ölçüm yöntemi, biyolojik yaş yönelimi ve performans göstergeleri sistematik olarak kaydedilmiştir. Dahil edilen çalışmaların tasarım, popülasyon ve ölçüm yöntemleri açısından heterojen olması nedeniyle nicel meta-analiz yapılmamış; bulgular nitel (narrative) sentez yaklaşımıyla sunulmuştur.

BULGULAR

Bu sistematik derlemede, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkilerini inceleyen toplam altı çalışma değerlendirilmiştir. Dahil edilen çalışmalar, biyolojik yaşlanmayı DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş saatleri ve telomer uzunluğu olmak üzere iki ana biyobelirteç alanı üzerinden ele almaktadır. Bulgular, biyolojik yaşlanma yöneliminin hızlanma, yavaşlama veya nötr etki şeklinde sınıflandırılmasına olanak sağlayacak biçimde alan bazlı olarak sentezlenmiştir.

Derlemeye dahil edilen çalışmalar farklı spor branşlarını ve atlet düzeylerini kapsamaktadır. İncelenen örneklemler olimpik düzeyde dayanıklılık sporcuları, profesyonel takım sporcuları, güç ve sürat branşlarında yarışan elit atletler ile farklı fiziksel uygunluk düzeylerine sahip yetişkin bireylerden oluşmaktadır. Çalışmaların çoğunda biyolojik yaşlanma göstergesi olarak DNA metilasyonu temelli epigenetik yaş saatleri kullanılmış, iki çalışmada telomer uzunluğu ölçümleri rapor edilmiştir.

Epigenetik Yaş Saatlerine İlişkin Bulgular

Epigenetik yaş saatlerini inceleyen çalışmaların büyük bölümünde, dayanıklılık temelli veya uzun süreli antrenman geçmişine sahip sporcularda epigenetik yaşlanmanın kronolojik yaştan daha yavaş seyrettiği bildirilmiştir. Olimpiyat düzeyindeki sporcular üzerinde yapılan çalışmada, Horvath, Hannum, GrimAge ve DNAmFitAge modellerinin tamamında biyolojik yaşın kronolojik yaştan daha düşük olduğu ve sporcuların genç bir epigenetik profile sahip olduğu rapor edilmiştir (Radák ve ark., 2025). Farklı fiziksel uygunluk düzeylerine sahip yetişkin bireyleri kapsayan çalışmada, yüksek kardiyorespiratuvar uygunluk düzeyinin daha genç DNAmFitAge ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Hagman & Jókai, 2023).

Tablo 2: Dahil Edilen Çalışmaların Genel Özellikleri

Yazar (Yıl)	*Popülasyon / Örneklem*	*Spor Branşı / Düzey*	*Biyobelirteç ve Model*	*Temel Bulgular*
Radák ve ark., 2025	Olimpik sporcular (n = 59)	Dayanıklılık + karma branş	DNA metilasyonu –Horvath, Hannum, GrimAge, DNAmFitAge	Epigenetik yaş belirgin şekilde düşük; çoklu epigenetik saatlerde yaş yavaşlaması gözlendi.
Brooke ve ark., 2025	Profesyonel futbolcular (n = 74)	Takım sporu – futbol	DNA metilasyonu – DNAmAge / Epigenetic Age Acceleration	Yoğun sezonda geçici epigenetik yaş artışı; toparlanmada gençleşme eğilimi.
Hagman & Jókai, 2023	Yetişkin bireyler (>3000)	Rekreasyonel – sportif fitness	DNA metilasyonu – DNAmFitAge	Yüksek aerobik uygunluk daha genç epigenetik yaş ile ilişkili.
Jókai, 2023	Dayanıklılık geçmişi olan bireyler	Dayanıklılık	DNA metilasyonu – DNAmAge modelleri	VO_2max en güçlü belirleyici; yüksek aerobik kapasite=yavaşlama
Spólnicka ve ark., 2018	Elit sporcular (n ≈ 176)	Güç – sürat	DNA metilasyonu – 5-CpG DNAmAge	Epigenetik yaş hızlanması; anaerobik yüklenme epigenetik yaşlanmayı artırabilir.
Østhus ve ark., 2012	Dayanıklılık sporcuları vs sedanter (n = 82)	Koşu / dayanıklılık	Telomer uzunluğu – T/S oranı (qPCR)	Dayanıklılık sporcularında telomerler daha uzun / daha iyi korunmuş.

Benzer şekilde dayanıklılık sporcuları üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, VO_2max değerinin epigenetik yaş üzerinde en güçlü belirleyici değişken olduğu ve aerobik kapasitenin artmasıyla epigenetik yaşlanma hızının azaldığı bildirilmiştir (Jókai ve ark., 2023).

Profesyonel futbolcularda sezon içi takip yapılan çalışmada, epigenetik yaşın antrenman yüklenmesine bağlı olarak dinamik biçimde değiştiği gözlenmiştir. Yoğun sezon dönemlerinde epigenetik yaşta geçici artışlar görülürken, toparlanma dönemlerinde biyolojik yaşın yeniden daha genç bir profile yöneldiği rapor edilmiştir (Brooke ve ark., 2025). Buna karşılık güç ve sürat temelli branşlarda yarışan elit sporcularda 5-CpG DNAmAge modeli kullanılarak yapılan değerlendirmede epigenetik yaş hızlanması saptanmış ve yüksek şiddetli anaerobik yüklenmelerin epigenetik yaş üzerinde farklı bir stres yanıtı oluşturabileceği belirtilmiştir (Spólnicka ve ark., 2018).

Telomer Uzunluğuna İlişkin Bulgular

Telomer uzunluğu ölçümlerini rapor eden çalışmalar, epigenetik yaş bulgularına kıyasla daha homojen sonuçlar sunmuştur. Dayanıklılık sporcularında telomer uzunluğunun sedanter bireylere göre daha iyi korunduğu ve biyolojik yaşlanma açısından avantajlı bir profil sergilediği bildirilmiştir (Østhus ve ark., 2012). Rekabetçi spor geçmişine sahip bireyleri içeren çalışmada da benzer şekilde telomer uzunluğunun kontrol gruplarına kıyasla daha uzun olduğu gösterilmiştir (Hagman & Jókai, 2023).

Biyolojik Yaş Göstergelerinin Alan Bazlı Sınıflandırılması

Dahil edilen çalışmaların bulguları, biyolojik yaşlanma göstergeleri açısından iki ana alan altında değerlendirilmiştir. Epigenetik yaş saatleri, metabolik ve inflamatuvar süreçlere duyarlı fonksiyonel yaşlanmayı yansıtırken; telomer uzunluğu hücresel replikasyon kapasitesi ve oksidatif stres birikimiyle ilişkili yapısal yaşlanmayı temsil etmektedir. Bu iki biyobelirteç alanının sporun fizyolojik uyaranlarına farklı mekanizmalarla yanıt verdiği görülmektedir.

TARTIŞMA

Bu sistematik derlemenin bulguları, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerinde çok boyutlu ve biyobelirteç-özgül etkiler yarattığını göstermektedir. İncelenen çalışmalar, epigenetik yaş saatleri ve telomer uzunluğunun sporun oluşturduğu fizyolojik uyaranlara farklı düzeylerde yanıt verdiğini ortaya koymuş; biyolojik yaşlanmanın tek bir parametre üzerinden değerlendirilmesinin yetersiz olabileceğini desteklemiştir.

Epigenetik Yaş Saatlerinin Yorumlanması

Epigenetik yaş saatlerine ilişkin bulgular, özellikle dayanıklılık temelli sporcular ve uzun süreli antrenman geçmişine sahip elit atletlerde epigenetik yaşlanmanın yavaşladığını göstermektedir. Olimpiyat düzeyindeki sporcuları kapsayan çalışmada, birden fazla epigenetik saat modeliyle ölçülen biyolojik yaşın kronolojik yaştan anlamlı biçimde düşük olması, yüksek hacimli ve uzun süreli antrenman uyaranlarının metabolik verimlilik, inflamasyon kontrolü ve oksidatif stres adaptasyonu üzerinden epigenetik yaşlanmayı yavaşlatabileceğini düşündürmektedir (Radák ve ark., 2025).

DNAmFitAge kullanılan çalışmalarda, yüksek kardiyorespiratuvar uygunluk düzeyi ile daha genç epigenetik yaş arasındaki güçlü ilişki, aerobik kapasitenin yaşlanma biyolojisi üzerindeki merkezi rolünü desteklemektedir (Hagman & Jókai, 2023; Jókai ve ark., 2023). Bu bulgular, VO_2max gibi

performans göstergelerinin yalnızca sportif başarıyı değil, aynı zamanda biyolojik yaşlanma hızını da yansıtabileceğine işaret etmektedir.

Profesyonel takım sporcularında sezon içi epigenetik yaş takibi yapılan çalışmada, epigenetik yaşın statik bir biyobelirteçten ziyade antrenman ve toparlanma döngülerine duyarlı dinamik bir gösterge olduğu ortaya konmuştur (Brooke ve ark., 2025). Yoğun yüklenme dönemlerinde gözlenen geçici epigenetik yaş artışlarının, toparlanma süreçlerinde tersine dönmesi, epigenetik yaş saatlerinin kısa ve orta vadeli fizyolojik stres yanıtlarını yansıtabildiğini göstermektedir.

Buna karşılık güç ve sürat temelli sporcularda epigenetik yaş hızlanması bildiren bulgular (Spólnicka ve ark., 2018), antrenman tipinin moleküler yaşlanma üzerindeki etkisinin branş-spesifik olduğunu düşündürmektedir. Yüksek şiddetli anaerobik yüklenmelerin oluşturduğu inflamatuvar stres, mekanik hasar ve toparlanma gereksiniminin epigenetik mekanizmalar üzerinde farklı bir etki yaratabileceği değerlendirilmektedir.

Telomer Uzunluğu Bulgularının Değerlendirilmesi

Telomer uzunluğuna ilişkin sonuçlar, epigenetik yaş bulgularına kıyasla daha tutarlı bir yönelim sergilemiştir. Dayanıklılık sporcularında telomerlerin sedanter bireylere göre daha uzun veya daha iyi korunmuş olması, uzun süreli aerobik egzersizin hücresel replikasyon kapasitesi ve oksidatif stres yönetimi üzerinde koruyucu bir etki yarattığını düşündürmektedir (Østhus ve ark., 2012). Rekabetçi spor geçmişine sahip bireylerde gözlenen telomer avantajı da bu görüşü desteklemektedir (Hagman & Jókai, 2023).

Epigenetik yaş modelleri ile telomer uzunluğu arasındaki kısmi uyumsuzluk, yaşlanmanın çok boyutlu biyolojisini yansıtmaktadır. DNAmAge modelleri metabolik ve inflamatuvar süreçlere duyarlı fonksiyonel yaşlanmayı temsil ederken, telomer uzunluğu daha çok hücresel bölünme kapasitesi ve oksidatif hasar birikimini yansıtan yapısal yaşlanmayı göstermektedir. Bu nedenle sporun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkilerinin bu iki biyobelirteçte her zaman aynı yönde ortaya çıkmaması beklenen bir durumdur.

Genel Değerlendirme

Genel olarak değerlendirildiğinde, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisinin spor branşı, antrenman yüklenmesinin tipi ve bireysel fizyolojik yanıtlar tarafından belirlendiği anlaşılmaktadır. Dayanıklılık temelli sporlar, hem epigenetik yaş saatleri hem de telomer uzunluğu açısından daha genç bir biyolojik yaş profiliyle ilişkilidir. Takım sporlarında epigenetik yaş daha dinamik bir yapı

sergilerken, güç ve sürat temelli branşlarda epigenetik yaşlanmanın hızlanabildiği görülmektedir. Bu bulgular, sporcularda biyolojik yaşlanmanın değerlendirilmesinde branş-özgü ve çoklu biyobelirteç yaklaşımının önemini vurgulamaktadır.

SONUÇ

Bu sistematik derlemenin bulguları, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerinde çok boyutlu ve biyobelirteç-temelli etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. DNA metilasyonu tabanlı epigenetik yaş saatleri ve telomer uzunluğu birlikte değerlendirildiğinde, sporun biyolojik yaşlanma sürecini tek yönlü değil, branşa ve yüklenme tipine özgü mekanizmalarla etkilediği anlaşılmaktadır.

Dayanıklılık temelli ve uzun süreli antrenman geçmişine sahip sporcularda epigenetik yaşlanmanın yavaşladığı ve telomer bütünlüğünün daha iyi korunduğu görülmektedir. Bu durum, aerobik kapasitenin artmasıyla birlikte metabolik verimlilik, oksidatif stres yönetimi ve inflamasyon kontrolü gibi fizyolojik süreçlerin biyolojik yaşlanma üzerinde koruyucu rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Özellikle VO_2max düzeyinin epigenetik yaşla güçlü ilişkisi, kardiyorespiratuvar uygunluğun biyolojik yaşlanmanın en önemli belirleyicilerinden biri olduğunu desteklemektedir.

Profesyonel takım sporcularında epigenetik yaşın sezon içi yüklenme ve toparlanma döngülerine duyarlı biçimde değişmesi, epigenetik yaş saatlerinin yalnızca uzun dönemli yaşlanma göstergeleri değil, aynı zamanda performans yönetiminde izlenebilir dinamik biyobelirteçler olabileceğine işaret etmektedir. Buna karşın güç ve sürat temelli branşlarda epigenetik yaşlanmanın hızlanabildiğini gösteren bulgular, yüksek şiddetli anaerobik yüklenmelerin farklı bir moleküler stres yanıtı oluşturabileceğini ve branş-spesifik değerlendirmelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Epigenetik yaş modellerinin fonksiyonel yaşlanmayı, telomer uzunluğunun ise hücresel replikatif yaşlanmayı temsil etmesi nedeniyle, tüm spor branşlarında bu göstergelerin aynı yönde değişmesi beklenmemelidir. Bununla birlikte, bu derlemenin bütüncül bulguları dayanıklılık sporcularında her iki biyobelirtecin de tutarlı biçimde daha genç bir biyolojik yaş profili sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yüksek performans sporunun biyolojik yaşlanma üzerindeki etkisinin spor branşı, antrenman yüklenme tipi, antrenman geçmişi ve bireysel fizyolojik yanıtlar doğrultusunda değerlendirilmesi gerektiği ve bu alanda çoklu biyobelirteç yaklaşımının benimsenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

REFERANSLAR

Blackburn, E. H., Epel, E. S., ve Lin, J. (2015). Human telomere biology: A contributory and interactive factor in aging, disease risks, and protection. Science, 350(6265), 1193–1198.

Brooke, R. T., Kocher, T., Zauner, R., Gordevicius, J., Milčiūtė, M., Nowakowski, M., Haser, C., Blobel, T., Sieland, J., Langhoff, D., Banzer, W., Horvath, S., ve Pfab, F. (2025). Epigenetic age monitoring in professional soccer players for tracking recovery and the effects of strenuous exercise. Aging Cell, 24(10), e70182.

Hagman, M., ve Jókai, M. (2023). DNA methylation–based fitness age and physical fitness. GeroScience, 45, 2805–2817.

Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. Genome Biology, 14, R115.

Jókai, M., Torma, F., McGreevy, K. M., Koltai, E., Bori, Z., ve ark. (2023). DNA methylation clock DNAmFitAge shows regular exercise is associated with slower aging and systemic adaptation. GeroScience, 45(5), 2805–2817.

Jylhävä, J., Pedersen, N. L., ve Hägg, S. (2017). Biological age predictors. EBioMedicine, 21, 29–36.

Levine, M. E., Lu, A. T., Quach, A., Chen, B. H., Assimes, T. L., Bandinelli, S., Ferrucci, L., ve Horvath, S. (2018). An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan. Aging, 10(4), 573–591.

López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., ve Kroemer, G. (2013). The hallmarks of aging. Cell, 153(6), 1194–1217.

Lu, A. T., Quach, A., Wilson, J. G., Reiner, A. P., Aviv, A., Raj, K., Horvath, S., ve Levine, M. E. (2019). DNA methylation GrimAge strongly predicts lifespan and healthspan. Aging, 11(2), 303–327.

Østhus, I. B. Ø., Sgura, A., Berardinelli, F., Alsnes, I. V., Bronstad, E., Rehn, T., Stølen, T., ve Wisløff, U. (2012). Telomere length and long-term endurance exercise: Does exercise training affect biological age? A pilot study. PLoS ONE, 7(12), e52769.

Radák, Z., Takahashi, M., Koltai, E., Hart, N., Toldy, A., Boldogh, I., Goto, S., Berkes, I., ve Higashi, Y. (2025). Slowed epigenetic aging in Olympic champions compared to non-champions. GeroScience, 47(1), 145–160.

Sellami, M., Bragazzi, N. L., Prince, M. S., Denham, J., Elshafey, M. H., Avrillon, S., Mujika, I., Padulo, J., Driss, T., Chamari, K., ve Nikolaidis, P. T. (2021). Regular, intense exercise training as a healthy aging lifestyle strategy: Preventing DNA damage, telomere shortening and adverse DNA methylation changes over a lifetime. Frontiers in Genetics, 12, 652497.

Spólnicka, M., Pośpiech, E., Pepłońska, B., Zbieć-Piekarska, R., Makowska, Ż., Pięta, A., Pietraszek, J., Zakeri, M., Pachołek, K., ve Branicki, W. (2018). Modified aging of elite athletes revealed by analysis of epigenetic age markers. Aging, 10(2), 241–252.

Giyilebilir Akıllı Cihazların Mobil Sağlık (mHealth) Ekosistemindeki Yükselişi

Mehmet Emin YILDIZ[1]

1- Dr. Öğrt. Üyesi.; Uşak Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölümü.
m.yildiz@usak.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8144-1139

ÖZET

Dijital sağlık teknolojilerinin hızlı gelişimi, bireylerin sağlıkla ilişkili davranışlarını, klinik izlem biçimlerini ve sağlık hizmetlerine erişim süreçlerini köklü bir dönüşüme uğratmaktadır. Akıllı telefonların küresel yaygınlığı, sensör teknolojilerinin minyatürleşmesi ve yapay zekâ temelli veri analiz yöntemlerinin olgunlaşması, mHealth ve giyilebilir cihazların hem bireysel sağlık yönetimi hem de klinik karar destek sistemlerinde stratejik bir konum kazanmasına katkı sağlamaktadır. Bu kitap bölümü, giyilebilir akıllı cihazların mHealth ekosistemi içerisindeki yükselişini; teknolojik altyapıları, temel sensör sistemleri, aktivite ve fizyolojik algılama kapasiteleri, kullanıcı davranışları üzerindeki etkileri ve sağlık hizmetlerine entegrasyon süreçleri açısından disiplinlerarası bir bakış açısıyla ele almaktadır.

İvmeölçer, jiroskop, manyetometre ve fotopletismografi gibi sensör sistemlerinin sağladığı çok boyutlu veriler; fiziksel aktivite düzeyi, kalp atım hızı, uyku düzeni, enerji harcaması ve stres göstergelerinin izlenmesine olanak tanımakta, böylece bireylere kişiselleştirilmiş sağlık geri bildirimleri sunulabilmektedir. Bölümde ayrıca, giyilebilir cihazlardan elde edilen verilerin büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla işlenmesinin, erken risk tespiti, önleyici sağlık hizmetleri ve kronik hastalık yönetiminde sunduğu fırsatlar tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Fiziksel Aktivite İzleyicileri, Giyilebilir Akıllı Cihazlar, Mobil Sağlık, Sensör Teknolojileri, Fizyolojik Ölçümler

GİRİŞ

Mobil iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, akıllı telefonların küresel yaygınlığı, sensör teknolojilerinin minyatürleşmesi ve yapay zekâ destekli veri analiz yöntemlerinin olgunlaşması, Mobil Sağlık (mHealth) ve giyilebilir akıllı cihazların hem bireysel sağlık yönetimi hem de klinik karar destek sistemlerinde stratejik bir konum kazanmasına katkı sağlamaktadır (World Health Organization, 2011; Majumder & Deen, 2019; Vijayan vd., 2021). Özellikle COVID-19 sonrası hızlanan uzaktan sağlık hizmetleri, sürekli izlem sistemleri ve dijital biyobelirteç üretimi gibi alanlar göz önünde bulundurulduğunda, bu teknolojilerin sağlık ilişkisini disiplinlerarası bir çerçevede analiz etmek önemli bir akademik gereklilik hâline gelmiştir.

Bu kitap bölümünün amacı, mHealth uygulamaları ile giyilebilir akıllı cihazları; teknolojik altyapıları, temel sensör sistemleri, aktivite ve fizyolojik algılama kapasiteleri, kullanıcı davranışları üzerindeki etkileri, spor bilimleri ve klinik kullanım alanları ile sağlık hizmetlerine entegrasyon süreçleri açısından kapsamlı bir şekilde incelemektir. Literatürde parçalı şekilde ele alınan mobil sağlık, giyilebilir sensör teknolojileri ve bunların uygulama

alanları, bu çalışma kapsamında aynı bağlamda değerlendirilerek alana sistematik bir katkı sunulması hedeflenmektedir.

Akıllı telefonlar, ivmeölçer, jiroskop, manyetometre, GPS, kamera ve mikrofon gibi çok sayıda yerleşik sensörü bünyesinde barındırarak, bireylerin fizyolojik ve davranışsal verilerinin sürekli ve gerçek zamanlı olarak toplanmasına olanak tanımaktadır (Majumder & Deen, 2019). Bu cihazlar, giyilebilir sensörlerden elde edilen verilerin toplanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulmasında merkezi bir arayüz görevi üstlenmekte, bağlantılı sağlık (connected health) ekosistemleri içerisinde işlevsel bir köprü oluşturmaktadır (Vijayan vd., 2021). Ancak, akıllı telefon tabanlı sağlık izleme uygulamalarında sensör doğruluğunun değişkenliği, kullanıcıya bağlı ölçüm hataları ve veri güvenliği ile gizlilik sorunları gibi kısıtlar da bulunmaktadır (Majumder & Deen, 2019; Vijayan vd., 2021).

mHealth kavramı, mobil cihazlar aracılığıyla sağlıkla ilişkili verilerin toplanması, iletilmesi ve analiz edilmesini kapsamakta ve küresel sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (World Health Organization, 2011). Giyilebilir teknolojiler ve mHealth uygulamaları, sürekli ve gerçek zamanlı veri üretme kapasiteleri sayesinde kişiselleştirilmiş tıp yaklaşımlarının gelişiminde önemli bir rol üstlenmekte, fiziksel aktivite düzeylerini artırma ve yaşam tarzı bileşenlerini izleme gibi alanlarda etkili olmaktadır (Dunn, Runge, & Snyder, 2018; Ridgers, McNarry, & Mackintosh, 2016; Loprinzi & Cardinal, 2011). Bununla birlikte, bu uygulamaların etkinliği yalnızca teknolojik doğruluğa değil, kullanıcı deneyimi, kullanılabilirlik, güvenlik, gizlilik ve uzun vadeli sürdürülebilirliğe de bağlıdır (Nasr, Koenig, & Tarnanas, 2023; Aljedaani vd., 2020; Islam vd., 2020; McKechnie vd., 2025).

Giyilebilir akıllı cihazlar ise, giyilebilirlik, akıllı veri işleme, bağlantı yeteneği, sürekli izleme ve veri görselleştirme gibi temel özellikleriyle, sağlık takibinden fiziksel aktivite izlemeye kadar geniş bir yelpazede işlev görmektedir (Vo & Trinh, 2024; BTK, 2020; Jin & Deng, 2025). İvmeölçer, jiroskop, fotopletismografi (PPG) gibi sensörlerdeki ilerlemeler, bu cihazların kişisel veri toplama ve analiz etme yeteneğini yeni bir seviyeye taşımıştır. Ancak, ölçüm doğruluğu, veri gizliliği ve etik kullanım gibi konular, gelecekteki araştırmalar ve düzenlemeler için önemli gündem maddeleri olmaya devam etmektedir (Dunn vd., 2018; Yıldız & Günel, 2023).

AKILLI TELEFON NEDİR?

Akıllı telefonlar, son yıllarda donanım ve yazılım alanındaki hızlı gelişmelerle birlikte yalnızca iletişim amacıyla kullanılan araçlar olmaktan çıkarak, sağlık izleme ve hastalıkların erken tanılanmasında kullanılan çok işlevli dijital platformlar hâline gelmiştir. Modern akıllı telefonlar; ivmeölçer, jiroskop, manyetometre, GPS, kamera ve mikrofon gibi çok

sayıda yerleşik sensörü bünyesinde barındırarak bireylerin fizyolojik ve davranışsal verilerinin sürekli ve gerçek zamanlı olarak toplanmasına olanak tanımaktadır. Bu sensörler aracılığıyla fiziksel aktivite düzeyi, uyku örüntüleri, yürüme paternleri, denge kontrolü, kalp atım hızı ve solunum gibi sağlıkla ilişkili birçok parametre düşük maliyetli ve erişilebilir biçimde izlenebilmektedir (Majumder & Deen, 2019). Bağlantılı sağlık (connected health) ekosistemleri içerisinde akıllı telefonlar, giyilebilir cihazlardan elde edilen verilerin toplanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulmasında merkezi bir arayüz görevi üstlenmektedir. Yüksek işlem kapasiteleri, Bluetooth, Wi-Fi ve hücresel ağlar gibi kablosuz bağlantı teknolojileri ile gelişmiş mobil uygulama altyapıları sayesinde akıllı telefonlar, giyilebilir sensörler ile sağlık bilgi sistemleri arasında işlevsel bir köprü oluşturmaktadır. Bu bütünleşik yapı, uzaktan hasta izleme, kronik hastalık yönetimi ve bireyselleştirilmiş sağlık geri bildirimlerinin sürdürülebilir biçimde sunulmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Vijayan vd., 2021).

Bununla birlikte, akıllı telefon tabanlı sağlık izleme uygulamalarında sensörlerden elde edilen verilerin klinik açıdan anlamlı çıktılara dönüştürülebilmesi için gelişmiş sinyal işleme yöntemleri ve makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması gerekmektedir (Majumder & Deen, 2019). Sensör doğruluğunun tıbbi cihazlara kıyasla değişkenlik göstermesi, kullanıcıya bağlı ölçüm hataları ve veri güvenliği ile gizlilik sorunları, bu teknolojilerin klinik kullanımını sınırlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle akıllı telefonların doğrudan tanı koyma aracı olarak değil, klinik karar süreçlerini destekleyen ve tamamlayıcı bir rol üstlenen teknolojiler olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Vijayan vd., 2021). Akıllı telefon ve akıllı saat gibi mobil sağlık teknolojilerinde, toplanan verilerin kullanıcıya sunulma biçimi de sağlık bilgilerinin algılanması ve yorumlanması açısından kritik bir öneme sahiptir. Farklı hareket senaryolarında (örneğin yürüme, koşma veya dinlenme hâlinde) sağlık verilerinin görselleştirilme biçimi, kullanıcı dikkatini ve bilişsel yükü doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, bağlama duyarlı ve kullanıcı merkezli görselleştirme yaklaşımlarının benimsenmesi, yalnızca veri doğruluğunu değil aynı zamanda kullanıcı etkileşimini ve uzun süreli kullanım davranışlarını da desteklemektedir (Jin & Deng, 2025).

Ancak akıllı telefonların sunduğu sürekli bağlantı ve yoğun etkileşim imkânı, bazı olumsuz bilişsel ve psikososyal sonuçları da beraberinde getirebilmektedir. Meta-analitik çalışmalar, akıllı telefon bağımlılığının akademik başarı üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle ders sırasında veya akademik görevler esnasında artan akıllı telefon kullanımı, dikkat dağınıklığını artırmakta ve bilişsel kaynakların öğrenme dışı uyaranlara yönelmesine neden olmaktadır. Bu durum, öğrencilerin öğrenme verimliliğinde azalma ve akademik performansta düşüşle ilişkili yapısal bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir (Sunday vd., 2021). Akıllı telefon kullanımının

psikososyal boyutları incelendiğinde ise, özellikle ergenler arasında mobil telefon bağımlılığı ile yalnızlık ve sosyal izolasyon düzeyleri arasında güçlü ilişkiler olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisi sürecinde yüz yüze sosyal etkileşimlerin azalması, akıllı telefon kullanımının artmasına zemin hazırlamış; bu artışın yalnızlık duygularını ve sosyal geri çekilmeyi pekiştirebildiği rapor edilmiştir. Bununla birlikte, ebeveyn–çocuk iletişiminin açık, destekleyici ve karşılıklı olduğu ailelerde mobil telefon bağımlılığı ve buna bağlı sosyal izolasyon riskinin daha düşük olduğu belirtilmektedir (Zhen vd., 2021).

Akıllı telefonların küresel yaygınlığı, son on yılda önemli bir artış göstermiştir. 2023 verilerine göre, dünya genelinde 6.925 milyar kişi akıllı telefon kullanıcısıdır ve bu, dünya nüfusunun yaklaşık %86'sının bu teknolojiye erişimi olduğu anlamına gelmektedir. Bu yaygınlık, bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte, Güney Kore gibi gelişmiş ülkelerde penetrasyon oranı %94'e kadar ulaşmaktadır (MOBİSAD, 2023). 2020 yılında Türkiyede öğretmenlerde yapılan bir araştırmada bu oran %91 olarak kaydedilmiştir (Savdi ve Yıldız, 2020). Türkiye'de akıllı telefon kullanan sayısı 55.14 milyon olduğu tahmin edilmektedir (Statista, 2022). Akıllı telefonların dijital ekosistemdeki merkezi rolü, web trafiği verilerinde de açıkça görülmektedir. Tüm küresel web trafiğinin %59'u akıllı telefonlar aracılığıyla gerçekleşmektedir (MOBİSAD, 2023). Bu istatistikler, akıllı telefonların sadece bir cihaz değil, aynı zamanda bilgiye erişim, ticaret ve sosyal etkileşimin birincil platformu haline geldiğini kanıtlamaktadır. Böylelikle telefonlar ve mobil uygulamalar, küresel çapta benzeri görülmemiş bir yaygınlığa ulaşarak modern yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu teknoloji, bir yandan eğitim ve sağlık gibi kritik alanlarda önemli ilerlemeler sağlarken, diğer yandan aşırı ve bilinçsiz kullanım durumunda bireysel ve sosyal refahı tehdit eden bağımlılık ve sosyal izolasyon gibi riskleri de beraberinde getirmektedir.

MOBİL SAĞLIK (mHealth)

Mobil iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunum biçimlerinde köklü bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Akıllı telefonlar, giyilebilir cihazlar ve kablosuz sensör sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte mobil sağlık (mSağlık) uygulamaları, bireylerin sağlık durumlarının izlenmesi, hastalıkların önlenmesi ve sağlık davranışlarının desteklenmesi amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır. mSağlık kavramı, mobil cihazlar aracılığıyla sağlıkla ilişkili verilerin toplanması, iletilmesi ve analiz edilmesini kapsayan dijital sağlık alanlarından biri olarak tanımlanmakta ve küresel ölçekte sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (World Health Organization, 2011). Giyilebilir teknolojiler ve mSağlık uygulamaları, özellikle kişiselleştirilmiş tıp yaklaşımlarının gelişiminde önemli bir rol

üstlenmektedir. Dunn ve arkadaşları (2018), giyilebilir sensörlerin sürekli ve gerçek zamanlı veri üretme kapasitesi sayesinde bireylerin fizyolojik durumlarının doğal yaşam ortamlarında izlenebildiğini ve bu durumun sağlık hizmetlerinde "tıbbi bir devrim" niteliği taşıdığını belirtmektedir. Benzer şekilde, Sevil ve arkadaşları (2020), bileklik tabanlı sensörlerden elde edilen fiziksel aktivite verilerinin, otomatik insülin iletim sistemleri gibi klinik uygulamalarda anlamlı çıktılar sunabildiğini vurgulamaktadır. Bu bulgular, mSağlık uygulamalarının yalnızca izleme değil, aynı zamanda klinik karar destek süreçlerine katkı sağlayan araçlar hâline geldiğini göstermektedir.

Fiziksel aktivite ve uyku gibi yaşam tarzı bileşenlerinin izlenmesi, mSağlık uygulamalarının öne çıkan kullanım alanları arasında yer almaktadır. Ridgers ve arkadaşlarının (2016) sistematik derleme ve meta-analiz çalışması, giyilebilir aktivite izleyicilerinin fiziksel aktivite düzeylerini artırmada anlamlı etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Loprinzi ve Cardinal (2011), objektif olarak ölçülen fiziksel aktivite ile uyku süresi ve kalitesi arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu bildirmektedir. Bu bağlamda mSağlık uygulamaları, fiziksel aktivite ve uyku davranışlarını bütüncül biçimde ele alarak bireylerin sağlık durumlarının daha kapsamlı değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. mSağlık uygulamalarının etkinliği, yalnızca sensör teknolojilerinin doğruluğuna değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik özelliklerine de bağlıdır. Nasr ve arkadaşları (2023) kullanılabilirlik odaklı tasarım ilkelerinin, kullanıcıların uygulamaları uzun süreli ve sürdürülebilir biçimde kullanmasını desteklediğini ve bu durumun veri kalitesini doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır.

Yanısıra mHealth uygulamalarının yaygınlaşması ve başarısı bazı önemli kısıtlarla karşılaşmaktadır. İlk olarak, uygulamaların güvenlik ve gizlilik açısından riskleri bulunduğu bildirilmektedir. Sağlık verisinin hassas olması, veri paylaşımının etik ve yasal boyutları öne çıkarmaktadır (Aljedaani at al., 2020). Kullanıcıların uygulama güvenliği algısı, kullanılabilirlik ve güvenilirlik arasında denge kurmayı gerektirir; aksine, karmaşık veya kullanıcı dostu olmayan uygulamalar benimsenmemekte ya da yeterli etki yaratamamaktadır (Islam vd., 2020). İkinci olarak, alanyazında bazı uygulamaların düzenli güncellenmediği, bakım ve içerik kalitesinin düştüğü; bu durumun uzun vadede sürdürülebilirliği zayıflattığı bildirilmiştir. Özellikle bebek bakımı gibi hassas gruplara yönelik uygulamalarda bu sorun kritik olabilir (McKechnie vd., 2019).Üçüncü olarak, yapılan sistematik derlemeler, metodolojik çeşitlilik, kısa süreli izlem, heterojen popülasyonlar ve ölçüm araçlarındaki farklılıklar nedeniyle sonuçların genellenebilirliğinin sınırlı olabileceğine dikkat çekmektedir (Iribarren vd., 2021).

GİYİLEBİLİR AKILLI CİHAZLAR (GAC)

Giyilebilir akıllı cihazlar, kullanıcıların vücutlarına entegre edilen veya giyilen ve dijital teknolojilerle donatılmış sistemler olarak, sağlık takibi, fiziksel aktivite izleme, iletişim, eğlence ve hatta endüstriyel güvenlik gibi çok geniş bir yelpazede işlev görmektedir. Akıllı saatler, fitness bileklikleri, akıllı gözlükler ve sensör tabanlı sağlık izleyicileri gibi çeşitleri bulunan bu cihazlar, mobil uygulamalarla senkronize çalışarak gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlama kapasitesine sahiptir (Vo & Trinh, 2024). Akıllı giyilebilir cihazların temel özelliklerinden biri giyilebilirliktir; yani kullanıcıya fiziksel olarak takılabilmeleri ya da vücuda yakın konumlanabilmeleridir (Lu vd., 2020). İkinci önemli özellik, cihazların akıllı olmasıdır: topladıkları verileri yerleşik sensörler yoluyla algılayabilir, işleyebilir ve analiz edebilir; böylelikle kullanıcının aktivite, fizyolojik ya da sağlık durumu hakkında anlamlı bilgi sunabilirler (Hui vd., 2024). Üçüncü özellik, cihazların bağlantı yeteneği yani kablosuz iletişim teknolojileri (örneğin Bluetooth veya Wi-Fi) aracılığıyla verileri bir başka cihaza ya da buluta iletebilme kabiliyetidir (BTK, 2020). Dördüncü olarak, bu cihazlar sürekli izleme (continuous monitoring) yapabilir. Kullanıcı gün içinde ya da gece uyurken olsun; kalp atışı, hareket, uyku, adım sayısı gibi veriler düzenli ya da periyodik olarak kaydedilir; bu, hem sağlık hem davranış bilimi hem de performans analizinde büyük avantaj sağlar (Haveman vd., 2022). Son olarak, bu cihazlar genellikle veri görselleştirme ve raporlama mekanizmalarına sahiptir; yani topladıkları veriler kullanıcıya ya da sağlık profesyonellerine grafikler, tablo ve analiz raporları şeklinde sunulabilir; bu da verilerin anlaşılmasını ve karar alınmasını kolaylaştırır (Jin & Deng, 2025).

Güncel araştırmalar, ivmeölçer ve pedometre tabanlı sistemlerin fiziksel aktivite ölçümlerinde kritik rol oynadığını göstermektedir. Ancak doğru veri elde edilebilmesi için cihaz kullanım kolaylığı ve uyumu önemli bir belirleyicidir. Giyilebilir izleme sistemlerinin yapısal tasarımı, sensörlerin biçimi ve vücut üzerindeki yerleşimini kapsamakta olup, hem ölçüm doğruluğunu hem de kullanıcı konforunu doğrudan etkilemektedir. İlk dönem uygulamalarda sensörlerin çanta veya giysi ceplerine yerleştirilmesi konforu ve veri doğruluğunu sınırlamıştır. Cihazların minyatürleşmesiyle birlikte akıllı saatler, iç çamaşırları, kemerler ve ayakkabı iç tabanları gibi daha ergonomik çözümler geliştirilmiştir. Güncel çalışmalarda rijit silikon tabanlı sensörlerin yanı sıra, ciltle daha iyi temas sağlayan yama, iç taban, eldiven ve giysi tipi esnek sensörler yaygınlaşmıştır. Esnek sensörler, giyim konforunu artırırken algılama doğruluğunu da iyileştirmektedir (Huang vd., 2023).

Araştırma sınıfı kalçaya takılan ivmeölçerlerin kullanıcılar tarafından gün boyunca düzenli takılmaması ölçüm hatalarına yol açmakta; buna karşın bileğe takılan cihazların konfor ve kullanım kolaylığı sayesinde kullanım

uyumluluğunun daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Höchsmann vd., 2020). Bu durum, bireylerin uzun dönem fiziksel aktivite davranışlarının değerlendirilmesinde bilek tabanlı sensörleri daha avantajlı hâle getirmektedir. Aktivite izleyicisi akıllı bileklikler, yalnızca adım sayımı değil; kalp atış hızı, oksijen satürasyonu, enerji harcaması, uyku süresi ve uyku evreleri gibi çok boyutlu parametreleri de ölçerek kullanıcıların sağlık davranışlarına ilişkin kapsamlı bir veri seti sunmaktadır. Giyilebilir cihazların çoğu akıllı telefon uygulamalarıyla entegre biçimde çalışmakta, elde edilen veriler mobil cihazlar ve bilgisayar ekranlarında detaylı grafikler, trend analizleri ve kişiselleştirilmiş öneriler şeklinde sunulmaktadır (Shei vd., 2022). Bu cihazların su geçirmez yapıda üretilmesi ve güçlü batarya ömrü sunması, günün 24 saati kullanım olanağı sağlayarak fizyolojik ve davranışsal izlemeyi daha güvenilir hâle getirmektedir (Hartung vd., 2020).

Giyilebilir akıllı cihazlar, sensör teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde kişisel veri toplama ve analiz etme yeteneğini yeni bir seviyeye taşımıştır. Küresel pazarın hızla büyümesi, bu cihazların artık sadece teknoloji meraklılarının değil, genel halkın da yaşam kalitesini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Akselerometre ve PPG gibi sensörlerin entegrasyonu, sağlık ve aktivite takibini sürekli ve erişilebilir hale getirmiştir. Ancak, GAC'lerin yaygınlaşmasıyla birlikte veri gizliliği, ölçüm doğruluğu ve etik kullanım gibi konular, gelecekteki akademik çalışmalar ve regülasyonlar için önemli gündem maddeleri olmaya devam edecektir (Dunn vd., 2018). Yanısıra bileğe takılabilir cihazların ölçüm doğruluğu, giyilebilir teknolojiler alanındaki temel araştırma konularından biridir. Klinik ortam dışında yapılan ölçümlerde doğruluk değişkenlik gösterebilmekte; özellikle adım sayısı ve kalp atış hızı gibi parametrelerde sapmalar rapor edilmektedir. Bu durum, farklı kullanıcı gruplarında ve gerçek yaşam koşullarında daha kapsamlı klinik doğrulama çalışmalarına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır (Yıldız ve Günel, 2023).

Küresel Yaygınlık

Giyilebilir akıllı cihazlar (GAC), özellikle akıllı saatler ve akıllı bileklikler, son on yılda hem sağlık takibi hem de günlük yaşam aktivitelerinin izlenmesi açısından küresel ölçekte önemli bir konuma ulaşmıştır. Bu teknolojilerin benimsenme düzeyi, yalnızca tüketici elektroniği alanında değil, aynı zamanda dijital sağlık ekosisteminde de belirleyici bir rol oynayarak hızla artmaktadır. 2024 yılı itibarıyla küresel pazar büyüklüğünün 70.3 milyar ABD dolar düzeyinden 2025'te 84.5 milyar ABD dolarına yükseleceği, 2029 yılında ise 152.8 milyar ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir (MarketsandMarkets, 2024). Buna paralel olarak, Statista (2024) verileri 2024 yılı için yaklaşık 560 milyon adetlik cihaz sevkiyatı öngörmektedir. Pazardaki bu hızlı genişleme, özellikle sağlık ve fitness takibine yönelik artan kullanıcı ilgisi ile açıklanmaktadır. Rock Health (2024), ABD'de sağlık takip cihazlarının benimsenme oranının

%44'e ulaştığını belirtmekte; bu oran giyilebilir cihazların artık yalnızca teknoloji meraklılarına hitap eden niş ürünler olmaktan çıkarak geniş tüketici kitleleri tarafından kullanılan ana akım araçlar hâline geldiğini göstermektedir.

Bu gelişmeler, akıllı saatler ile bileklikler arasındaki ayrımın giderek belirsizleştiği, sensör çeşitliliği ve doğruluğunun arttığı ve uygulama ekosistemlerinin daha bütünleşik hâle geldiği bir pazar yapısına işaret etmektedir. Özellikle kişiselleştirilmiş sağlık ölçümleri, gelişmiş fiziksel aktivite analitiği ve kullanıcı davranışlarına uyarlanabilen algoritmalar sayesinde kullanıcılar daha kapsamlı, gerçek zamanlı ve bireye özgü sağlık verilerine erişebilmektedir (MarketsandMarkets, 2024). Tüm bu veriler bir araya getirildiğinde, giyilebilir teknolojilerin küresel ölçekte hızla yaygınlaştığı ve dijital sağlık alanının temel bileşenlerinden biri hâline geldiği açıkça görülmektedir.

1. Aktivite algılamaları

Giyilebilir teknolojilerde kullanılan hareket ve aktivite sensörleri, insan hareketlerinin nicel olarak değerlendirilebilmesini sağlayan temel donanımlardır. Bu sensörler, fiziksel aktivite düzeyinin izlenmesi, günlük yaşam aktivitelerinin sınıflandırılması, mobilite bozukluklarının belirlenmesi ve klinik değerlendirmenin dijital ortamlara taşınması açısından kritik önem taşır.

a- Akselerometre (İvmeölçer)

İvmeölçerler, bir nesnenin doğrusal ivmesini ölçmek üzere tasarlanmış sensörlerdir ve günümüzde giyilebilir teknolojilerin temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Yapısal olarak bir kütle bloğu, elastik eleman, sönümleyici, hassas algılama elemanı ve sinyal işleme devresinden oluşurlar. Ölçüm prensiplerine göre doğrusal ve açısal ivmeölçerler olarak sınıflandırılabilirler. İvmeölçerler, dış kuvvetlerin etkisiyle oluşan yer değiştirme veya gerilim değişimlerini elektriksel sinyallere dönüştürerek algılama yapar. Son yıllarda mikro-elektro-mekanik sistem (MEMS) teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde ivmeölçerlerin boyutları küçülmüş, enerji tüketimleri azalmış ve giyilebilir uygulamalar için daha uygun hâle gelmiştir. İvmeölçerler; düşme tespiti, yürüyüş ve denge analizi, insan hareketlerinin sınıflandırılması, yaşlı ve çocukların günlük aktivite takibi, enerji harcaması tahmini ve akıllı konut sistemleri gibi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Özellikle yaşlı bireylerde düşmelerin zamanında algılanması ve hızlı müdahale sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, tek bir ivmeölçer kullanımı bazı karmaşık hareketlerin tanımlanmasında yetersiz kalabilmekte, sensör sayısının azaltılması izleme doğruluğunu düşürebilmektedir. Bu nedenle güncel çalışmalarda birden fazla ivmeölçerin birlikte kullanıldığı sistemlere yönelim artmıştır. Giyilebilir sistemlerde yaygın olarak kullanılan ticari üç eksenli

ivmeölçerler genellikle küçük boyutlu, yüksek hassasiyetli ve 50–100 Hz örnekleme hızına sahip olup, vücudun bel, bilek ve uzuv bölgelerine yerleştirilmektedir (Kamišalić vd., 2018; Huang vd., 2023).

b. Jiroskop

Jiroskoplar, Coriolis kuvvetine dayalı olarak açısal hız veya açısal değişimi ölçen sensörlerdir. Yüksek dinamik tepki kapasiteleri sayesinde hızlı dönme hareketlerini doğru biçimde algılayabilirler. İnsan hareketi analizinde jiroskoplar, özellikle uzuv ve gövdenin açısal hareketlerinin izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İlk dönem çalışmalarda tek başına kullanılmış olsalar da, günümüzde ölçüm hatalarını azaltmak ve doğruluğu artırmak amacıyla çoğunlukla ivmeölçerlerle birlikte kullanılmaktadır. Jiroskoplar akıllı telefonlar, dizüstü bilgisayarlar ve navigasyon sistemleri gibi birçok elektronik üründe yaygın biçimde yer almakla birlikte, uzun süreli kullanımlarda zamanla biriken sapma hatalarına (drift) maruz kalabilmektedir. Bu durum, insan hareketi gibi sürekli izleme gerektiren uygulamalarda ölçüm doğruluğunu sınırlayabilir. Giyilebilir hareket izleme sistemlerinde kullanılan ticari jiroskoplar genellikle kompakt boyutlu, geniş ölçüm aralığına (örneğin ±4000 dps) sahip ve yaklaşık 100 Hz örnekleme hızında çalışmaktadır. Özellikle üst ekstremiteler ve gövdenin açısal hareketlerinin analizinde tercih edilmektedir (Huang vd., 2023).

c. Manyetometre (Pusula)

Manyetometreler, Dünya'nın manyetik alanını referans alarak yönelim ve başlık açısı hesaplayan sensörlerdir. Statik koşullarda yüksek doğruluk sunmaları ve zamanla sapma göstermemeleri, bu sensörleri yönelim belirleme açısından değerli kılmaktadır. Yerel manyetik alan yoğunluğunu algılayarak taşıyıcının yönelimini hesaplayabilirler ve özellikle iç mekân konumlandırma uygulamalarında GPS'e kıyasla daha tutarlı sonuçlar verebilmektedirler. Manyetometreler, genellikle ivmeölçer ve jiroskoplarla birlikte kullanılarak atalet ölçüm birimleri (IMU) oluşturur. Bu kombinasyon sayesinde jiroskopların zamanla biriken sapma hataları düzeltilebilir ve insan hareketi sırasında yönelim takibinin doğruluğu artırılabilir. Bu nedenle manyetometreler, üç boyutlu hareket analizinde tamamlayıcı bir sensör olarak önemli bir işleve sahiptir (Huang vd., 2023).

d. Atalet Sensörleri (IMU)

Atalet sensörleri, ivmeölçerler, jiroskoplar ve çoğu zaman manyetometrelerin tek bir sistem içerisinde entegre edilmesiyle oluşturulan sensör birimleridir. Bu sensörler, sıcaklık değişimleri ve çevresel etkilere karşı tekil sensörlere kıyasla daha kararlı ölçümler sunar. Küçük boyutları, düşük maliyetleri ve üç boyutlu eklem açılarını yüksek doğrulukla ölçebilme yetenekleri nedeniyle giyilebilir teknolojilerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. IMU'lar; spor performansı analizi, rehabilitasyon

süreçlerinin izlenmesi, diz ve eklem fonksiyonlarının invaziv olmayan değerlendirilmesi ve Parkinson gibi nörolojik hastalıkların takibi gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Bununla birlikte, insan vücuduna yakın şekilde yerleştirilmeleri gerektiğinden yumuşak doku artefaktları, sensör kayması ve kemiklerin göreceli hareketi ölçüm hatalarına neden olabilmektedir. Güncel giyilebilir sistemlerde genellikle dokuz eksenli IMU'lar tercih edilmekte ve bu sensörler göğüs, bilek, baldır, uyluk ve ayak bileği gibi vücut bölgelerine monte edilmektedir (Huang vd., 2023).

2. Fizyolojik Algılamaları

Fizyolojik parametrelerin izlenmesinde kullanılan sensörler incelendiğinde, akıllı bilekliklerin vücut sıcaklığı, kalp atım hızı, kan oksijen satürasyonu ve biyoelektriksel sinyaller gibi çok çeşitli fizyolojik verilerin elde edilmesine olanak sağladığı görülmektedir. Bilek tabanlı sensör platformları, başta optik, mekanik ve elektrokimyasal ölçüm prensipleri olmak üzere farklı algılama yaklaşımlarını kullanarak non-invaziv ve sürekli fizyolojik veri toplama imkânı sunmaktadır. Ancak güncel çalışmalar, bu sensörlerin ölçüm doğruluğunun ortam ışığı koşulları, kullanıcı hareketleri ve deri özellikleri gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, sinyal işleme ve gürültü giderme algoritmaları, elde edilen verilerin geçerliliği ve güvenilirliği açısından belirleyici bir role sahiptir. Öte yandan, giyilebilir teknolojilerde giderek daha yaygın hale gelen çok modlu sensör sistemleri, fizyolojik durumların yalnızca tekil parametreler üzerinden değil, bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesine olanak tanımakta; özellikle stres düzeyi, uyku kalitesi, metabolik yük ve kardiyovasküler risk analizlerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır (Kamišalić vd., 2018).

a. Nabız (Kalp Atım Hızı, HR)

Kalp atım hızı (HR), kalbin birim zamanda gerçekleştirdiği döngü sayısını ifade eder ve dakikadaki atım sayısı (bpm) cinsinden ölçülür. Giyilebilir cihazlarda HR ölçümü için en yaygın kullanılan yöntem fotopletismografidir (photoplethysmography, PPG). Bu teknik, periferik dolaşımdaki kan hacminde meydana gelen periyodik değişimleri optik sensörler aracılığıyla tespit eder. Bilek tabanlı sistemlerde PPG, ışık yayan diyotlar (LED) ve fotodedektörler kullanılarak deriden yansıyan veya dokudan geçen ışık yoğunluğundaki değişimleri algılar. Işık kaynağı arteriyel dokuyu aydınlatırken, fotodedektör kan akışına bağlı olarak değişen ışık sinyalini kaydeder. Elde edilen pletismogramdan nabız sinyali türetilir. Literatürde son on yılda yapılan çalışmalar, PPG tabanlı nabız ölçümünün düşük ışık koşulları, koyu cilt tonu ve yoğun hareket içeren aktivitelerde hata payının arttığını göstermektedir. Bu nedenle hareket artefaktlarının azaltılmasına yönelik gelişmiş sinyal işleme ve filtreleme algoritmalarının

ölçüm doğruluğunda kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır (Allen, 2007; Kamišalić vd., 2018).

b. Kalp Atım Hızı Değişkenliği (HRV)

Kalp atım hızı değişkenliği (HRV), ardışık kalp atımları arasındaki zaman aralıklarındaki değişimi ifade eder ve otonom sinir sisteminin sempatik–parasempatik dengesinin değerlendirilmesinde temel bir biyobelirteçtir. Güncel çalışmalar, PPG tabanlı giyilebilir sensörlerin HRV ölçümünde giderek daha güvenilir sonuçlar sunduğunu ve uygun koşullarda elektrokardiyografi (EKG) temelli ölçümlerle yüksek korelasyon gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, PPG'den türetilen nabız dalga değişkenliğinin hareket, sensör yerleşimi ve temas basıncına duyarlı olduğu; bu nedenle HRV ölçümlerinin özellikle dinlenme ve uyku dönemlerinde daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmektedir. Son yıllardaki araştırmalar, giyilebilir cihazlarla elde edilen HRV verilerinin stres düzeyi, uyku kalitesi, toparlanma kapasitesi ve metabolik sağlık göstergeleriyle güçlü ilişkiler sergilediğini ve HRV'nin bütüncül fizyolojik durumun değerlendirilmesinde önemli bir parametre olduğunu göstermektedir (Alberdi vd., 1016).

c. Elektrodermal Aktivite (EDA)

Elektrodermal Aktivite (EDA), derinin elektriksel özelliklerinde meydana gelen değişimleri ifade etmektedir. Duygusal uyarılma, artan bilişsel yük ya da fiziksel aktivite sırasında ter bezlerinin aktivasyonu artmakta; buna bağlı olarak deri iletkenliği yükselirken elektriksel direnç azalmaktadır. EDA ölçümü, deri yüzeyine yan yana yerleştirilen iki elektrot arasına düşük şiddette bir elektrik akımı uygulanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. EDA, gerçek zamanlı stres değerlendirmesinde en güçlü fizyolojik göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Uyarılma düzeyi ile doğrusal bir ilişki göstermesi nedeniyle stres ve duygu tanıma çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bazı araştırmalarda EDA, diğer fizyolojik sinyallerin performansını değerlendirmek amacıyla temel referans ölçüt olarak ele alınmıştır (Kamišalić vd., 2018).

d. Kan Oksijen Doygunluğu (SpO_2)

Oksijen doygunluğu (SpO_2), kandaki oksihemoglobinin toplam hemoglobin miktarına oranını ifade eder. Giyilebilir cihazlarda SpO_2 ölçümü, non-invaziv yapısı nedeniyle periferik oksijenasyonu temel alır. Ölçüm, genellikle iki farklı dalga boyunda çalışan LED'ler aracılığıyla dokudan yansıyan veya iletilen ışığın yoğunluğunun analiz edilmesine dayanır. Fotodedektör tarafından toplanan optik sinyal, kan hacmi değişimleri ve oksihemoglobin konsantrasyonuna bağlı olarak işlenir. Özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında giyilebilir SpO_2 sensörlerinin solunum fonksiyonlarının izlenmesinde yaygınlaştığı; bilek tabanlı

sistemlerin hareket artefaktlarına daha duyarlı olmakla birlikte, dinlenme koşullarında yüksek doğruluk sunduğu rapor edilmiştir (Luks & Swenson, 2020).

e. Cilt Sıcaklığı

Cilt sıcaklığı, diğer fizyolojik ölçümlerle birlikte stres düzeyi ve duygusal durumun değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Çalışmalar, stres seviyeleri azaldıkça cilt sıcaklığının arttığını, artan stres durumlarında ise sempatik sinir sistemi aktivitesine bağlı periferik vazokonstriksiyon nedeniyle cilt sıcaklığının düştüğünü göstermektedir. Bu özellikleriyle cilt sıcaklığı, termoregülasyon mekanizmalarının ve fizyolojik yükün dolaylı bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Güncel araştırmalar, cilt sıcaklığı verilerinin PPG ve elektrodermal aktivite (EDA) ölçümleriyle birlikte kullanıldığında duygu tanıma ve stres sınıflandırma doğruluğunu anlamlı düzeyde artırdığını ortaya koymaktadır (Kamišalić vd., 2018).

f. Tansiyon (Kan Basıncı)

Kan basıncı (KB), dolaşımdaki kanın damar duvarlarına uyguladığı basıncı ifade eder ve klinik olarak sistolik ve diyastolik değerler üzerinden değerlendirilir. Giyilebilir cihazlarda kan basıncının izlenmesi, geleneksel manşonlu (cuff-based) ölçüm yöntemlerinin günlük yaşamda süreklilik ve kullanıcı konforu açısından sınırlı olması nedeniyle alternatif yaklaşımlar üzerinden geliştirilmektedir. Bu kapsamda en yaygın kullanılan yöntemler, fotopletismografi (PPG) ve nabız iletim süresi (pulse transit time, PTT) temelli sistemlerdir. PPG tabanlı yaklaşımlar, periferik damar yatağındaki kan hacmi değişimlerini optik olarak algılarken; PTT yöntemleri, kalbin elektriksel aktivitesi ile periferik nabız dalgasının algılanması arasındaki zaman farkını kullanarak arteriyel sertlik ve kan basıncı arasındaki ilişkiyi modellemeyi amaçlamaktadır (Mukkamala vd., 2015).

Bazı sistemlerde kapasitif veya piezoelektrik basınç sensörleri kullanılarak arteriyel basınç dalga formları doğrudan algılanabilmektedir. Güncel çalışmalar, yapay zekâ ve derin öğrenme tabanlı modellerin PPG sinyallerinden sistolik ve diyastolik kan basıncı tahmin doğruluğunu artırdığını ve hata payını klinik kabul edilebilir düzeylere yaklaştırdığını göstermektedir. Akıllı saat ve bileklik tabanlı sistemlerin, referans osilometrik yöntemlerle karşılaştırıldığında anlamlı korelasyonlar sergilediği bildirilmekle birlikte, doğruluğun sensör türü, bireysel fizyolojik farklılıklar, kalibrasyon ve hareket artefaktlarına duyarlı olduğu vurgulanmaktadır (Kamišalić vd., 2018). Özellikle PTT tabanlı manşonsuz yaklaşımlar, ev ortamında ve uzun süreli izlem için umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

g. Basınç ve Gerinim Algılama

Gerinim sensörleri, insan vücudundaki basınç ve deformasyon değişimlerini algılayarak hareket analizine katkı sağlar. Geleneksel gerinim sensörleri metal folyolar veya yarı iletken malzemelerden üretilirken, giyilebilir uygulamalarda piezoelektrik, kapasitif ve FET tabanlı sensörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Piezoelektrik sensörler hızlı tepki süreleriyle öne çıkarken, kapasitif sensörler esnek yapıları sayesinde giyilebilirlik açısından avantaj sunmaktadır. Bu sensörler özellikle bilek hareketlerinin izlenmesi ve spor performans analizlerinde kullanılmaktadır (Sharma vd., 2022).

h. Kan Şekeri (Glikoz)

Giyilebilir glikoz izleme teknolojileri, invazif olmayan yaklaşımlar kapsamında cilt interstisyel sıvısı ve ter gibi biyosıvıların analizine odaklanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen elektrokimyasal sensörler, kumaş tabanlı ve epidermal (cilt yaması) sensörler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu biyosıvılardaki glikoz, endotel ve ter bezleri aracılığıyla kandaki glikoz düzeylerini dolaylı olarak yansıtmaktadır. Son dönem araştırmalar, gerçek kan glikozu ile korelasyonu artırmak amacıyla iyonoforetik elektrotlar, nanopartikül tabanlı sensörler ve enzimatik olmayan biyosensörlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Ayrıca epidermal yama formundaki glikoz sensörlerinin, diyabet yönetiminde sürekli glikoz izleme (CGM) sistemlerine potansiyel bir alternatif oluşturabileceği değerlendirilmektedir (Kamišalić vd., 2018).

SONUÇ

Mobil sağlık uygulamaları ve giyilebilir akıllı cihazlar, dijital sağlık dönüşümünün hem bireysel hem de klinik düzeyde en görünür bileşenleri haline gelmiştir. Sensör teknolojilerinin olgunlaşması, yapay zekâ destekli analizlerin gelişmesi ve küresel mobil cihaz penetrasyonundaki sürekli artış, bu teknolojilerin sağlık yönetimindeki rolünü daha da kritik bir konuma taşımaktadır. Giyilebilir cihazlar aracılığıyla elde edilen yüksek çözünürlüklü fizyolojik, biyomekanik ve davranışsal veriler; fiziksel aktivite, uyku, stres, metabolik süreçler ve kardiyovasküler risklerin bütüncül biçimde değerlendirilmesine imkân vermekte, böylece hem kişisel sağlık yönetiminde hem de klinik karar destek sistemlerinde yeni olanaklar sunmaktadır.

Küresel giyilebilir teknoloji pazarının hızla büyümesi, bu cihazların artık yalnızca fiziksel aktivite ve fitness amaçlı değil, aynı zamanda sağlık takibi ve klinik izlem için de önemli araçlar hâline geldiğini göstermektedir. Fotopletismografi (PPG), elektrokardiyografi (EKG), elektrodermal aktivite (EDA) ve sürekli glikoz monitörizasyonu (CGM) gibi sensörlerin doğruluğunun artması; çoklu biyolojik verilerin birlikte analiz edilmesini

sağlayan gelişmiş veri işleme yöntemleri ve kullanıcıların uzun dönemli sağlık verilerinin değerlendirilebilmesi, giyilebilir teknolojileri kişiselleştirilmiş tıbbın geleceğinde temel bir konuma taşımaktadır. Bununla birlikte, veri doğruluğu, etik veri kullanımı, düzenleyici standartların oluşturulması ve bu teknolojilerin klinik sistemlere entegrasyonu gibi alanlar, gelecekteki araştırmalar ve politika geliştirme süreçlerinde öncelikli alanlar olarak değerlendirilmelidir.

mHealth ve giyilebilir teknolojiler, sağlık davranışlarının desteklenmesi, kronik hastalık yönetimi, uzaktan izlem ve erken risk tespiti gibi geniş bir yelpazede etkili ve dönüştürücü bir potansiyel sunmaktadır. Bu potansiyelin sürdürülebilir biçimde hayata geçirilebilmesi için teknolojik yeniliklerin kullanıcı merkezli tasarımla, etik veri yönetimiyle ve güçlü klinik doğrulama süreçleriyle desteklenmesi gerekmektedir. Önümüzdeki yıllarda sensör doğruluğunun artması, yapay zekâ uygulamalarının klinik kullanıma entegrasyonu ve dijital terapötiklerin yaygınlaşmasıyla birlikte mobil sağlık uygulamalarının hem Türkiye'de hem de küresel ölçekte sağlık ekosisteminin vazgeçilmez unsurlarından biri olması beklenmektedir.

Gelecekteki araştırmalar, bu teknolojinin uzun vadeli sosyo-psikolojik etkilerini daha derinlemesine incelemeli ve teknoloji kullanımına yönelik bilinçli ve dengeli stratejilerin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Toplumsal düzeyde, akıllı telefonların sunduğu faydalardan maksimum düzeyde yararlanmak ve olası zararları en aza indirmek için teknoloji okuryazarlığı ve dijital etik konularına daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR

Alberdi, A., Aztiria, A., & Basarab, A. (2016). Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review. Journal of Biomedical Informatics, 59, 49–75. https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.11.007

Aljedaani, B., Ahmad, A., Zahedi, M., & Babar, M. A. (2020). An empirical study on developing secure mobile health apps: The developers' perspective. In Proceedings of the 27th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC) (pp. 208–217). IEEE.

Allen, J. (2007). Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. Physiological Measurement, 28(3), R1–R39. https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2020). Giyilebilir teknolojiler araştırma raporu. https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/arastirma-raporlari/giyilebilir-teknolojiler-arastirma-raporu.pdf adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

Dunn, J., Runge, R., & Snyder, M. (2018). Wearables and the medical revolution. Personalized Medicine, 15(5), 429–448. https://doi.org/10.2217/pme-2018-0044

Haveman, M. E., van Rossum, M. C., Vaseur, R. M. E., van der Riet, C., Schuurmann, R. C. L., Hermens, H. J., de Vries, J. P. P. M., & Tabak, M. (2022). Continuous monitoring of vital signs with wearable sensors during daily life activities: Validation study. JMIR Formative Research, 6(1), e30863. https://doi.org/10.2196/30863

Höchsmann, C., Knaier, R., Infanger, D., & Schmidt-Trucksäss, A. (2020). Validity of smartphones and activity trackers to measure steps in a free-living setting over three consecutive days. Physiological Measurement, 41(1), 015001. https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab635f

Huang, X., Xue, Y., Ren, S., & Wang, F. (2023). Sensor-based wearable systems for monitoring human motion and posture: A review. Sensors, 23(22), 9047. https://doi.org/10.3390/s23229047

Hui, R. C. S., Fan, P. E. M., Aloweni, F., & Ang, S. Y. (2024). Wearable devices for vital sign monitoring in hematology and oncology patients: An integrative review of implementation barriers and detection performance. Oncology American Medical Journal, 1(1), 60–72. https://doi.org/10.33590/oncolamj/HXZM7341

Iribarren, S. J., Akande, T. O., Suelzer, E., Kamp, K. J., Barry, D., & Kader, Y. G. (2021). Effectiveness of mobile apps to promote health and manage disease: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. JMIR mHealth and uHealth, 9(1), e21563. https://doi.org/10.2196/21563

Islam, M. N., Karim, M. M., Inan, T. T., & Islam, A. K. M. N. (2020). Investigating usability of mobile health applications in Bangladesh. BMC Medical Informatics and Decision Making, 20, 19. https://doi.org/10.1186/s12911-020-1033-3

Jin, W., & Deng, W. (2025). Research on the design of smartwatch health information visualization presentation under different motion scenarios. Scientific Reports, 15, 26646. https://doi.org/10.1038/s41598-025-12226-w

Kamišalić, A., Fister, I., Jr., Turkanović, M., & Karakatič, S. (2018). Sensors and functionalities of non-invasive wrist-wearable devices: A review. Sensors, 18(6), 1714. https://doi.org/10.3390/s18061714

Loprinzi, P. D., & Cardinal, B. J. (2011). Association between objectively measured physical activity and sleep. Mental Health and Physical Activity, 4(2), 65–69.

Lu, L., Zhang, J., Xie, Y., Gao, F., Xu, S., Wu, X., & Ye, Z. (2020). Wearable health devices in health care: Narrative systematic review. JMIR mHealth and uHealth, 8(11), e18907. https://doi.org/10.2196/18907

Luks, A. M., & Swenson, E. R. (2020). Pulse oximetry for monitoring patients with COVID-19. Annals of the American Thoracic Society, 17(9), 1060–1064.

Majumder, S., & Deen, M. J. (2019). Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. Sensors, 19(9), 2164. https://doi.org/10.3390/s19092164

MarketsandMarkets. (2024). Wearable technology market size, share & industry forecast to 2030. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wearable-technology-market-983.html adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

McKechnie, A. C., Swanson, N. M., Jantraporn, R., Elgersma, K. M., Iwaszko Wagner, T., Park, S., & Trebilcock, A. (2025). A systematic review and evaluation of mobile health apps designed for parents who are preparing or caring for medically complex infants. mHealth, 11, 38. https://doi.org/10.21037/mhealth-24-84

MOBİSAD. (2023). Mobil iletişim sektörü raporu 2023. https://mobisad.org/wp-content/uploads/rapor-2023.pdf adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

Mukkamala, R., Hahn, J.-O., Inan, O. T., Mestha, L. K., Kim, C.-S., Töreyin, H., & Kyal, S. (2015). Toward ubiquitous blood pressure monitoring via pulse transit time: Theory and practice. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 62(8), 1879–1901.

Nasr, E., Koenig, V., & Tarnanas, I. (2023). Developing usability guidelines for mHealth applications. Multimodal Technologies and Interaction, 7(3), 26.

Ridgers, N. D., McNarry, M. A., & Mackintosh, K. A. (2016). Effectiveness of wearable activity trackers to increase physical activity: A systematic review and meta-analysis. Journal of Medical Internet Research, 18(4), e236.

Rock Health. (2025). Put a ring on it: Understanding consumers' year-over-year wearable adoption patterns. https://rockhealth.com/insights/put-a-ring-on-it-understanding-consumers-year-over-year-wearable-adoption-patterns/

Savdi, M. S., & Yıldız, M. E. (2020). Öğretmenlerin ortalama günlük adım sayısının bazı değişkenler ile ilişkisinin incelenmesi. In Ö. Karatay (Ed.), Spor bilimleri alanında akademik çalışmalar–2 (pp. 45–66). Akademisyen Kitabevi.

Sevil, M., Rashid, M., Maloney, Z., Hajizadeh, I., Samadi, S., Askari, M., & Cinar, A. (2020). Determining physical activity characteristics from wristband data for use in automated insulin delivery systems. IEEE Sensors Journal, 20(21), 12859–12870.

Sharma, A., Yu, J., & Bhardwaj, A. (2022). Ultrasensitive flexible wearable pressure/strain sensors: Parameters, materials, mechanisms and applications. Sensors and Actuators A: Physical, 347, 113934. https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113934

Shei, R. J., Holder, I. G., Oumsang, A. S., Paris, B. A., & Paris, H. L. (2022). Wearable activity trackers: Advanced technology or advanced marketing? European Journal of Applied Physiology, 122(9), 1975–1990. https://doi.org/10.1007/s00421-022-04951-1

Statista. (2022). Connected wearable devices worldwide 2016–2022. https://www.statista.com/statistics/487291/global-connected-wearable-devices/ adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

Statista. (2024). Wearables – Statistics & facts. https://www.statista.com/topics/1556/wearable-technology/ adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

Sunday, O. J., Adesope, O. O., & Maarhuis, P. L. (2021). The effects of smartphone addiction on learning: A meta-analysis. Computers in Human Behavior Reports, 4, 100114. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100114

Vijayan, V., Connolly, J. P., Condell, J., McKelvey, N., & Gardiner, P. (2021). Review of wearable devices and data collection considerations for connected health. Sensors, 21(16), 5589.

Vo, D.-K., & Trinh, K. T. L. (2024). Advances in wearable biosensors for healthcare: Current trends, applications, and future perspectives. Biosensors, 14(11), 560. https://doi.org/10.3390/bios14110560

World Health Organization. (2011). mHealth: New horizons for health through mobile technologies (Global Observatory for eHealth Series, Vol. 3). WHO Press. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/ad1b13c0-7c82-47b4-8dd5-f0a26c3a3cc3/content adresinden 1 Ekim 2025 tarihinde alınmıştır.

Yıldız, M. E., & Günel, I. (2023). Investigation of the validity and reliability of two smart bands selected that count steps at different walking speed. Pamukkale Journal of Sport Sciences, 14(3), 279–296. https://doi.org/10.54141/psbd.1357839

Zekânın Renkleriyle Karar Vermek: Beden Eğitimi ve Sporda Gardner'in Çoklu Zekâ Kuramı Işığında Bir Yaklaşım

Murat GENÇ[1]

Mehmet Çağrı ÇETİN [2]

1- Arş. Gör. Murat GENÇ; Mersin Üniversitesi Spor Bilimler Fakültesi. muratgenc91@gmail.com
ORCID No: 0000-0003-2596-8571
2- Prof. Dr. Mehmet Çağrı ÇETİN; Mersin Üniversitesi Spor Bilimler Fakültesi. mccetin@gmail.com
ORCID No: 0000-0001-7667-2143

ÖZET

İnsanların çevrelerine duydukları merak, onları doğayla iletişime iterek çeşitli problemlerle karşılaşmalarına neden olur. Karşılaşılan bu problemlere çözüm üretme ihtiyacı ve bu süreçte tercih edilen farklı yöntemler, çeşitli zekâ kuramlarının varlığını ortaya koymuştur. Bu yaklaşımlardan biri olan Gardner'ın Çoklu Zekâ Kuramı'nda sözel-dilsel, mantıksal-matematiksel, görsel-uzamsal, müziksel-ritmik, bedensel-kinestetik, kişilerarası, içsel ve doğacı olmak üzere sekiz zekâ alanı tanımlanır. Beden eğitimi ve spor bağlamında bu zekâ alanları, sporcuların performansını çeşitli yönlerden etkiler. Sporcular, sözel-dilsel zekâ alanında antrenörleri ve takım arkadaşlarıyla etkili iletişim kurar; mantıksal-matematiksel zekâ alanında rakip analizi ve performans değerlendirmesi yapar; görsel-uzamsal zekâ ile çevrelerini ve oyun alanını etkin bir şekilde kodlayıp çözümler; müziksel-ritmik zekâ sayesinde koordinasyon gerektiren becerileri ritmik yapılar içinde uygular. Bedensel-kinestetik zekâ sinir-kas koordinasyonunun ve bedenin etkili kullanımını sağlarken; kişilerarası zekâ takım içi iletişimde istek ve ihtiyaçların karşılanmasına, içsel zekâ güçlü ve zayıf yönleri keşfederek duyguları anlamlandırmaya, doğacı zekâ ise özellikle açık hava sporlarında çevresel unsurları ayırt etmeye yardımcı olur. Tüm bu zekâ alanlarının kullanımı bilinçli bir seçim ve karar verme süreci gerektirir. Bu sebeple, çalışma kapsamında sekiz zekâ alanının her biri incelenerek karar verme davranışı ile olan ilişkisi açıklanmıştır. Sporcular açısından bu konuda bir farkındalık oluşturma hedefi, çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – Gardner, Çoklu Zekâ Kuramı, Beden Eğitimi ve Spor, Karar Verme, Sporcular

GİRİŞ

İnsan ruhunun, tarih boyunca kendisini ve çevresini anlamaya yönelik bir merak içinde olduğu düşünülmektedir. Kendisini doğanın bir parçası olarak gören insanın bu merakının altında, yaşamını sürdürme ve doğayla kurduğu bağı devam ettirme isteği yatar (Guiney & Oberhauser, 2009). İnsanların bu bağı kurarken gerçekleştirdikleri iç gözlemler (Schultz & Tabanico, 2007), onları doğayla etkileşime iterek (Astell-Burt vd., 2024) hakikat arayışlarına katkı sunar (Bright, 2021). İnsanlar, bu tanıma faaliyetleri sırasında sahip oldukları zekâ yapılarına göre farklı reaksiyonlar ortaya koyabilirler. Bu noktada zekânın ne olduğu ve nasıl ifade edildiği, bilimin araştırma kapsamına girmektedir. Zira zekâ, bireyin çevresindeki unsurları seçmesinde ve gerekli gördüğünde bu unsurları değiştirmesinde etkili olan zihinsel yetilerin toplamıdır (Erkuş, 1998).

Genel anlamda zekâ, bireyin çevresine uyum sağlama ve sorunları çözme performansı olarak ifade edilse de, bilim insanlarının henüz net bir tanım üzerinde uzlaşamadığı bilinmektedir. Matzel vd. (2011), zekâyı akıl yürütme ve anlama ile ilişkilendirirken, Silveira ve Lopez (2023) ise problem çözme ve karar verme ile ilişkilendirmiştir. Howard Gardner, ilk olarak 1983 yılında yayımlanan "Zihin Çerçeveleri" (Frames of Mind) adlı kitabında zekâya alternatif bir bakış açısı sunmuş (Armstrong, 2009) ve bu eser, zekâ eğitimi alanında sayısız araştırmaya öncülük etmiştir (Hill, 2021). Gardner'ın Çoklu Zekâ Kuramı'nı ele aldığı bu kitap, bireysel farklılıklara ve kişiye özgü öğrenme biçimlerinin önemine dikkat çeker (Doğan & Sami, 2024). Kendisini bir gelişim uzmanı olarak tanımlayan Gardner (2006), bireylerin gelişim kapasitelerini incelemesi sonucunda zekânın tek bir bütün olarak ölçülemeyeceğini ifade ederek, zekâyı; sözel-dilsel, mantıksal-matematiksel, görsel-uzamsal, müziksel-ritmik, bedensel-kinestetik, kişilerarası, içsel ve doğacı olmak üzere sekiz alanda tanımlamıştır. Bu zekâ alanlarının her biri, öğrencilerin kendi potansiyellerini keşfetmelerine rehberlik eder (Wilson & Conyers, 2020). Bu sebeple öğrencileri, baskın zekâ alanlarını keşfetmeye yönlendirmek ve bu alanları tanımlamak, eğitim açısından bir zorunluluktur (Doğan, 2023).

Beden eğitimi ve spor açısından değerlendirildiğinde, bu sekiz zekâ türünün tamamının spor ortamında aktif olarak kullanıldığı ve fiziksel gelişime de katkı sunduğu söylenebilir. Örneğin mantıksal-matematiksel zekâ, temas sporlarında bir sporcunun rakibine ne kadar mesafede durması gerektiğini belirlemesinde veya hangi mesafeden hücum ederse puan alabileceğini hesaplamasında kullanılır. Benzer şekilde, topla oynanan sporlarda sporcunun, topa hangi hız ve açıyla vurursa sayı üretebileceğine dair zihinsel muhakemesi de bu duruma örnektir. Bir diğer zekâ türü olan kişilerarası zekâ ise, farklı coğrafyalardan, hatta farklı ülkelerden sporcuların bir araya gelerek iletişim kurmasıyla gelişebilir. Nitekim literatürde sporun bireylerin özgüvenini artırdığını ortaya koyan sayısız çalışma mevcuttur. Özgüven gelişiminin sosyalleşme ile yakından ilişkili olduğu düşünüldüğünde, spor ortamında kişilerarası zekânın da geliştiği yorumu yapılabilir. Özetle, bireyler sportif faaliyetler sırasında birden fazla zekâ alanından faydalanmakta (Kuru, 2001) ve bu süreçte ilgili zekâ alanlarında gelişme kaydedebilmektedirler. Bu kapsamda Gardner'in sekiz zekâ alanını detaylandırmak önemli görülmektedir.

Gardner'ın Çoklu Zekâ Alanları

Görsel 1. Çoklu Zeka Alanları

1. Sözel-Dilsel Zekâ

Sözel-dilsel zekâ, dili temel işlevleriyle anlama ve sözcükleri etkili kullanabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bu yetenek, bireyin sadece ana dilinde değil, yabancı dillerde de kendini gösterebilir (Chiland, 2016). Gardner'ın kuramında bu zekâ alanı, kelimelerin hem sözlü hem de yazılı olarak etkin bir biçimde kullanılması becerisidir (Fitriyani & Ma'mun, 2022). Bu zekâ, bireylerin dil aracılığıyla mesaj iletmesini ve almasını sağlayan dil ustalığı konusundaki yeterliliğini de kapsar (Mujiono vd., 2019). İlgili araştırmalar, sözel-dilsel zekânın öğrenme ve akademik başarının çeşitli yönlerinde önemli bir rol üstlendiğini göstermiştir. Hajhashemi ve Wong (2012), sözel-dilsel zekâ ile kelime öğrenme, okuma becerisi ve dili anlama arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Eğitimciler, öğrenme modelleri ve materyalleri tasarlarken sözel-dilsel zekânın öneminin üzerinde durmaktadır (Tebe vd., 2019).

Sporcular açısından sözel-dilsel zekâ, haklarını savunmaları, antrenörler ve rakiplerle sağlıklı ilişkiler kurmaları bakımından önemlidir. Ayrıca, yabancı rakiplerle diyalog kurabilme ve onlar hakkında gözlem yaparak ipucu toplama becerisi, bu zekâ alanının gelişmesiyle mümkündür. Sporcuların farklı ülkelerde müsabakalara katılması ya da farklı ülkelerden sporcularla aynı takımda yer alması, dilsel zekânın gelişmesini olumlu yönde etkileyerek bu konuda bir farkındalık oluşturabilir.

2. Mantıksal-Matematiksel Zekâ

Sayısal ve mantıksal becerileri içeren bu zekâ alanında, olaylar arasında sebep-sonuç ilişkisi kurabilme yeteneği esastır (Bowser, 2021; Sanders, 2021). Gardner'a göre mantıksal-matematiksel zekâ; problemleri mantıksal olarak analiz etme, matematiksel işlemler yapma, hipotezler oluşturma, görünenin ardındaki gerçeği tahmin etme, sayı ve formüllerle çalışma gibi yetenekleri temsil eder (Lanya vd., 2023; Nurlaily vd., 2018; Afthina vd., 2017). Bu zekâ biçimi yalnızca matematik alanında değil, bireyin günlük yaşamında da pratiklik sağlar (Fitria vd., 2023). Araştırmalar, bu zekâ türünün problem çözme yetenekleriyle pozitif ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Kobandaha vd., 2019).

Beden eğitimi ve spor bağlamında mantıksal-matematiksel zekâ, savunma sporlarında sporcunun rakibine olan mesafesini ayarlamasında (Kara, 2020; Kara vd., 2021) veya takım sporlarında topa hangi açıyla vuracağını hesaplamasında kendini gösterir. Sporcu, bu hesaplamaları yaparak hücumunu hangi yönde yapacağına karar verir. Sporda karar verme, hayatın diğer alanlarında olduğu gibi büyük bir önem taşır (Kara vd., 2021) ve doğru matematiksel hesaplamalarla desteklendiğinde başarıyı artırır (Özsarı vd., 2021).

3. Görsel-Uzamsal Zekâ

Görsel-uzamsal zekâ, resimlerle düşünmeyi ve görsel-mekânsal dünyayı zihinsel olarak anlamayı içeren bilişsel yeteneği ifade etmektedir. Bu zekâ, görsel çevreyi doğru bir şekilde algılama, bu algıları dönüştürme ve görsel bilgilerin zihinsel temsillerini oluşturma becerisini ortaya koyar (Campos vd., 2019). Bu zekâ türüne sahip bireyler, geometrik şekilleri ve üç boyutlu nesneleri daha kolay görselleştirir (Aditama vd., 2023) ve somut uyarıcıların yokluğunda bile zihinsel işlem yapma yeteneği sunar (Bowser, 2021).

Görsel-uzamsal zekâ ve spor arasındaki ilişki, sporcuların çevre algılarına dayanarak hızlı kararlar vermesi gereken birçok spor dalında kritik öneme sahiptir. Örneğin, futbolda "oyun zekâsının" ayrılmaz bir parçası olduğu (Alesi vd., 2015) ve profesyonel voleybol oyuncularının üstün algısal-bilişsel beceriler sergilediği tespit edilmiştir (Alves vd., 2013). Bu durum, sporcuların dinamik ortamlarda hızlı ve doğru kararlar vermelerine olanak tanır. Genç sporcuların, spora özgü zorlukları etkili bir biçimde aşmak için yeterli görsel biliş becerilerine ihtiyaç duydukları vurgulanmaktadır (Waelle vd., 2021).

4. Müziksel-Ritmik Zekâ

Bireyin olayları müziksel olarak algılaması ve yorumlamasını içeren bu zekâ alanı (Saban, 2005), müziğin kendini ifade etmedeki önemine dikkat çeker (Sanders, 2021). Müziksel-ritmik zekâya sahip bireyler, ritmik yapıları algılama ve yorumlama konusunda özel bir yetenek sergilerler (Al-Anani & Masri, 2019; Phillips-Silver vd., 2010). Araştırmalar, bu zekânın sadece bilişsel değil, aynı zamanda hareket ve senkronizasyonla ilgili fiziksel bir yönü de içerdiğini belirtmektedir (Burger vd., 2013). Müzik öğrenme etkinliklerine ritmik hareketlerin dahil edilmesi, öğrenme deneyimini geliştirmektedir (Ismail vd., 2021).

Beden eğitimi ve spor bağlamında, özellikle ritmik jimnastik ve artistik buz pateni gibi müzikle iç içe olan branşlarda ritim ve uyum büyük önem taşımaktadır. Sporcular, müziğin tonuna ve geçişlerine göre hareketlerini belirler ve hangi hareketi yapacaklarına karar verirler. Müzik, sporcuların reflekslerini ve motivasyonlarını artırabilir (Çelik & Karabilgin, 2022). Bu bakımdan sporcuların antrenman veya performanstan önce müzik dinlemeleri, başarıyı olumlu yönde etkileyebilir.

5. Bedensel-Kinestetik Zekâ

Beden ve vücut kompozisyonunu etkili bir biçimde kullanmayı ifade eden bedensel-kinestetik zekâ (Onay, 2006), gerekli koordinasyonu sağlayarak nesneleri ustaca kullanabilme yeteneğini de kapsar (Doğan, 2023). Gardner'a göre bu zekâ, düşünce ve duyguları iletmek için bedeni etkili bir şekilde kullanma becerisidir (Dawahdeh & Mai, 2021). Araştırmalar, bedensel-kinestetik zekânın yaratıcı düşünme becerilerinin gelişiminde önemli bir rol oynadığını (Dawahdeh & Mai, 2021) ve düzenli fiziksel aktivite ile bu zekâ seviyesi arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir (Koçak, 2019). Eğitim ortamlarında bu zekâ türüne yönelik uygulamalar, öğrencilerin genel öğrenme deneyimini geliştirebilir (Setyowati & Sugirin, 2019).

6. Kişilerarası Zekâ

Kişilerarası zekâ, bireyin çevresindeki insanlarla etkili iletişim kurarken onların niyetlerini, motivasyonlarını ve duygularını anlama; ses tonu ve mimik gibi sözel olmayan ipuçlarını doğru değerlendirme yeteneğini kapsar (Temiz, 2007; Gardner, 2006). Bu zekâ alanı, özellikle beden eğitimi ve spor gibi doğası gereği sosyal olan ortamlarda kritik bir rol oynamaktadır. Kişilerarası zekâsı yüksek bireyler, iş birliğine yatkınlık (Hopkins, 2021), sosyal duyarlılık, empati ve bir ekip ruhu oluşturma gibi beceriler sergilerler (Han vd., 2022; Abas & Solihatin, 2019). Bu yetenekler, takım sporlarında başarının temelini oluşturmaktadır. Sporcuların sadece bireysel performansları için değil, aynı zamanda takımın genel uyumu için de

antrenörleri ve takım arkadaşlarıyla sağlıklı ilişkiler kurmaları gerekir. Bu bağlamda spor, bireylerin öfke ve stres gibi duygularını yönetmeyi öğrendikleri bir sosyal laboratuvar işlevi görür. Nitekim Thorndike ve Stein'in (1937) klasik sosyal zekâ tanımı olan "insanları anlama, idare etme ve onlarla ustaca ilişki kurma yetisi", spor ortamında hedeflenen sosyal yeterliliğin mükemmel bir özetidir.

7. İçsel Zekâ

Bireyin kendi duygularını anlamlandırması, yönetmesi (Akboy, 2005) ve kendini disipline edebilmesi (Doğan, 2023) içsel zekâ olarak tanımlanmaktadır. Bu zekâ, bireyin kendi iç dünyasını, güçlü ve zayıf yönlerini keşfetme ve anlama kapasitesini belirtir (Andriani vd., 2024; Sheahan vd., 2015). Yüksek içsel zekâ düzeyine sahip bireyler, eylemlerini etkili bir şekilde planlama, uygulama ve değerlendirme yeteneğine sahiptirler (Sellars, 2008).

Bu zekâ alanı, beden eğitimi ve spor açısından da büyük bir öneme sahiptir. Sporcunun kendi hatalarının ve eksikliklerinin farkında olması, hem oyuna yönelik strateji geliştirmesini hem de kişisel olarak kendini bir üst seviyeye taşımasını sağlayabilir. Örneğin, bir müsabakayı kendi hatası yüzünden kaybeden bir sporcunun, öncelikle hatasını kabullenmesi ve sonra çözüme yönelik adımlar atması beklenir. Beden eğitimi ve spor ortamı, yapılan hatalara yönelik somut veriler sunarak, kişinin kendine yönelik değerlendirmelerini daha objektif bir açıdan yapmasını sağlayabilir.

8. Doğacı Zekâ

Bireyin doğadaki bitki, hayvan ve diğer unsurları gözlem yoluyla anlama stratejilerine karşı ilgili olması doğacı zekâ olarak ifade edilir (Saban, 2005; Adcock, 2014). Bu zekâsı etkin olan bireyler, doğayı korumaya yönelik bir arzu sergilerler (Hopkins, 2021; Gurbuzoglu vd., 2023). Gardner'a göre doğacı zekâ, doğal çevredeki unsurları tanıma, ayırt etme ve sınıflandırma yeteneğini temsil eder (Yetti & Utami, 2023).

Spor ile doğacı zekâ arasındaki ilişki, özellikle oryantiring ve doğa yürüyüşü gibi açık hava sporlarında kendini göstermektedir. Araştırmalar, doğacı zekâsı yüksek kişilerin çevresel ipuçlarını tanıma ve yanıtlama konusunda daha becerikli olduklarını ve bunun da performanslarını artırdığını göstermektedir (Özdemir vd., 2018, Kowal & Mangal, 2021). Açık havada yapılan sporlar, doğayla ilgili hem fiziksel hem de bilişsel becerileri geliştirmek için bir platform görevi görebilir (Gani, 2024).

Çoklu Zekâ Alanları ve Karar Verme Arasındaki İlişki

Zekâ, farklı disiplinler tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmıştır (Özgüven, 1998; Yıldırım, 2003). Gardner'in Çoklu Zekâ Kuramı, zekânın tek bir

boyuta indirgenemeyeceğini, bireysel farklılıkların ve kişiye özgü öğrenme biçimlerinin önemini vurgular (Doğan & Sami, 2024). İnsan yaşamı, sürekli olarak seçim ve karar verme davranışları gerektirmektedir. Bu süreçte duygusal zekânın önemli bir rolü vardır. Duygusal zekâ, duyguları tanıma, ifade etme ve etiketleme gibi yetiler üzerinden işlem yapmaktadır (Petrides & Furnham, 2000). Bireyin duygularının farkında olması, hayat kalitesini artırmasına ve sosyal ilişkilerinde başarılı olmasına yardımcı olur (Petrides & Furnham, 2003).

Karar verme, bilişsel yetilerin yanı sıra duyguların değerlendirilmesi, kontrol edilmesi ve kullanılmasını gerektiren önemli bir belirleyicidir (Ulusu, 2019). Karar verme, bireyin belirli bir amaca ulaşabilmek için karşısındaki alternatifler arasından koşullara en uygun seçeneği değerlendirme ve tercih etme süreci olarak tanımlanmaktadır (Altay, 2011; Tekin, 1999). Bu süreçte duyguların kontrol edilmesi, doğru seçeneklerin değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Beden Eğitimi ve Sporda Etkili Karar Verme

Karar verme, bilinçli bir şekilde farklı olası eylemlerden birini seçmektir (Sanchez vd., 2009). Sportif başarı, sadece fizyolojik, teknik ve taktiksel yeterliliklere değil, aynı zamanda zihinsel süreçlere ve psikolojik faktörlere de bağlıdır (Turkay & Demir, 2021). Nitekim özel yetenek sınavlarına katılan öğrencilerin karar verme stilleri üzerine yapılan çalışmalar da bu önemi desteklemektedir (Tekin, Özmutlu & Erhan, 2009). Sporda karar verme üzerine çalışmalar gerçekleştiren Rasmussen (1993), bilişsel karar verme sürecini üç farklı davranış biçimiyle ifade etmiştir: beceri temelli (otomatikleşmiş), kural temelli (titiz) ve bilgi temelli (soyut ve detaylı). Çetin ve Kara (2024), aktif sporcuların karar verme davranışlarının hem içsel (düşünce, zekâ alanları) hem de dışsal (ses, ısı, ışık) faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, karar verme davranışı, sportif başarı açısından büyük önem taşır ve çoklu zekâ alanları ile bir bütün oluşturur.

REFERANSLAR

Abas, M., & Solihatin, E. (2019). Effect of Instructional Models and Interpersonal Intelligence on the Social Studies Learning Outcomes. International Journal of Instruction, 12(4), 705-718.

Adcock, P. K. (2014). The longevity of multiple intelligence theory in education. Delta Kappa Gamma Bulletin, 80(4), 50.

Aditama, M. G., Sugiharto, P. A., Istiqomah, L., & Hisyam, F. N. (2023). Integrating Multiple Intelligence Test into Diagnostic Assessment in ELT. International Social Sciences and Humanities, 2(2), 358-363.

Afthina, H., Mardiyana, M., & Pramudya, I. (2017). The comparison of think talk write and think pair share model with realistic mathematics education approach viewed from mathematical-logical intelligence. In International Journal of Science and Applied Science: Conference Series (Vol. 2, No. 1, pp. 181-189).
Agusta, A. R., Suriansyah, A., Hayati, R. P., & Mahmudy, M. N. (2021). Learning model gawi sabumi based on local wisdom to improve student's high order thinking skills and multiple intelligence on elementary school. International Journal of Social Science and Human Research, 4(11), 3269-3283.
Akboy, R. (2005). Eğitim psikolojisi ve çoklu zeka. Dinazor Kitabevi.
Al-Abdallat, Z. M., & Al-Omari, H. A. (2023). The Effect of a Proposed Instructional Program Based on the Multiple Intelligences Theory on EFL Jordanian Ninth-Grade Students' Achievement in English. Dirasat: Educational Sciences, 50(3), 48-60.
Al-Anani, H. A. H., & Al Masri, A. A. (2019). The Effectiveness of a Training Program in Developing the Linguistic and Musical Intelligence among University Students. International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 18(12), 366-384.
Alesi, M., Bianco, A., Padulo, J., Luppina, G., Petrucci, M., Paoli, A., … & Pepi, A. (2015). Motor and cognitive growth following a football training program. Frontiers in Psychology, 6. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01627
Altay, Ü. (2011). Yöneticilerin duygusal zekâ düzeylerinin karar verme stillerine etkisi ve bir araştırma (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
Alves, H., Voss, M., Boot, W., Deslandes, A., Cossich, V., Salles, J., … & Kramer, A. (2013). Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players. Frontiers in Psychology, 4. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00036
Andima, R., Sumarmin, R., Ahda, Y., Alberida, H., & Razak, A. (2021). The Relationship between Multiple Intelligences and Biology Learning Outcomes of Student. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 7(4), 625-631.
Andriani, F. S. A., Inganah, S., & Khusna, A. H. (2024). Analysis of Mathematical Connection Ability in Minimum Competency Assessment Algebra Test Viewed From Students' Intrapersonal and Interpersonal Intelligence. AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan, 16(1), 476-488.
Armstrong, T. (2009). Multiple intelligences in the classroom. Ascd.
Astell-Burt, T., Navakatikyan, M., White, M. P., & Feng, X. (2024). Exploring autonomous and controlled motivations for nature contact to maximise health benefits. People and Nature.
Bowser, J. M. (2021). Anxiety, preconceived negative perceptions, and self-efficacy: Impact on adult learners' performance in introductory accounting courses (Doctoral dissertation, Saint Leo University).
Bright, L. K. (2021). Why do scientists lie?. Royal Institute of Philosophy Supplements, 89, 117-129.
Budiyanta, E., & Fitriyani, H. (2023). Students' high order thinking skill in solving mathematical problems in terms of intrapersonal intelligence. International Journal on Teaching and Learning Mathematics, 6(2), 52-62.
Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S., & Toiviainen, P. (2013). Influences of rhythm-and timbre-related musical features on characteristics of music-induced movement. Frontiers in psychology, 4, 183.
Chiland, C. (2016). Pioneers in child and adolescent psychiatry: Jean Piaget (1896–

1980). Neuropsychiatrie De L'enfance Et De L'adolescence, 64(7), 481-483.
Çelik, Ç., & Karabilgin, B. N. (2022). Müziğin sporcular üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Düzce Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 2(1), 38-44.
Çetin, M. Ç., & Kara, M. (2024). Sporda Etkili Karar Verme Ölçeği (SEKVÖ): Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 29(1), 40-52.
Da Silveira, T. B. N., & Lopes, H. S. (2023). Intelligence across humans and machines: a joint perspective. Frontiers in Psychology, 14, 1209761.
Dawahdeh, A. M. A., & Mai, M. Y. (2021). The relationship between multiple-intelligence and thinking patterns through critical thinking among 10th-grade students in private schools in Abu Dhabi. European Journal of Education, 4(2), 11-26.
Doğan, M. F. (2023). İlkokul Fen Bilimleri Dersinde Çoklu Zekâ Kuramı Uygulamaları: Bir Eylem Araştırması. Pegem Akademi.
Doğan, M. F., & Sami, E. (2024). Çocukların Çoklu Zekâ Alanlarını Değerlendirme Envanteri'nin Geliştirilmesi: Geçerlik Ve Güvenirlik Çalışması. Trakya Eğitim Dergisi, 14(2), 1291-1306.
Erkuş, A. (1998). Goleman'ın "duygusal zekâ" görüşünün psikometrik açıdan eleştirisi ve dinamik etkileşimsel model önerisi. Türk Psikoloji Yazıları, 1(1), 31-40.
Fields, S. (2021). Teachers perceptions of using guided notes for mathematics number systems (Doctoral dissertation, Concordia University Chicago).
Fitria, R., Pamungkas, M. D., & Hendrastuti, Z. R. (2023). The Effect Of The Learnıng Model Of Gıvıng Questıons Gettıng Answers And Thınk Paır Share On Mathematıcal Logıcal Intellıgence. Kadikma, 14(2), 67-78.
Fitriyani, A., & Ma'mun, N. (2022). The representation of multiple intelligences on English textbooks in Indonesia. The Journal Of English Teaching For Young And Adult Learners, 1(2), 36-54.
Gani, I. (2024). Analysis of multiple intelligence of elementary students in physical education lessons in yogyakarta indonesia. Retos, 56, 1086-1095.
Gardner, H. (2006). Multiple intelligences new horizons. BasicBooks.
González Campos, J. S., Sánchez-Navarro, J., & Arnedo-Moreno, J. (2019). An empirical study of the effect that a computer graphics course has on visual-spatial abilities. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16, 1-21.
Guiney, M. S., & Oberhauser, K. S. (2009). Conservation volunteers' connection to nature. Ecopsychology, 1(4), 187-197.
Gurbuzoglu-yalmancı, S., & Aydın-beytur, S. (2023). Investigation of Turkish and Turkmenistanian students' approaches towards environmental ethics and their levels of naturalistic intelligence. Journal of Education in Science Environment and Health, 9(1), 1-15.
Hajhashemi, K., & Wong, B. E. (2012). MI as a predictor of students' performance in reading competency. English Language Teaching, 5(12), 240-251.
Han, L., Zhou, H., & Wang, C. (2022). The Relationship between Employees' Belief in a Just World and Sustainable Organizational Citizenship Behaviors in Chinese Enterprises: The Moderating Effect Model of Interpersonal Intelligence. Sustainability, 14(19), 12388.
Hannon, E. E., Soley, G., & Ullal, S. (2012). Familiarity overrides complexity in rhythm perception: a cross-cultural comparison of American and Turkish listeners. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,

38(3), 543.
Hartatik, S., Istiningsih, G., Suryawan, A., & Purwandari, S. (2022). Multiple Intelligences Profile of Grade IV Elementary School Students in Magelang. In 3rd Borobudur International Symposium on Humanities and Social Science 2021 (BIS-HSS 2021) (pp. 457-461). Atlantis Press.
Hasanudin, C., & Fitrianingsih, A. (2020). Verbal Linguistic Intelligence of the First-Year Students of Indonesian Education Program: A Case in Reading Subject. European Journal of Educational Research, 9(1), 117-128.
Hayes, M. A. (2009). Into the field: naturalistic education and the future of conservation. Conservation Biology, 23(5), 1075-1079.
Hill, T. (2021). Exploring the Relationship between Emotional Intelligence and Academic Achievement in African American Students (Doctoral dissertation, Tarleton State University).
Hopkins, K. (2021). Examining the Perspectives of Urban Elementary Teachers on the Incorporation of Multiple Intelligence into the Classroom (Doctoral dissertation, Northcentral University).
Ingram, A., Peake, W. O., Stewart, W., & Watson, W. (2019). Emotional intelligence and venture performance. Journal of Small Business Management, 57(3), 780-800.
Ismail, M. J., Loo, F. C., & Anuar, A. F. (2021). Learning music through rhythmic movements in Malaysia. Malaysian Journal of Learning and Instruction (MJLI), 18(1), 241-263.
Kara, M. (2020). Karate branşındaki sporcuların karar verme stilleri ile bilişsel esneklik düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi(Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
Kara, M., Kara, N. Ş., & Çetin, M. Ç. (2021). The relationship between karate trainers' continuous angry and angry expressions and levels of cognitive flexibility. Uluslararası Bozok Spor Bilimleri Dergisi, 2(3), 1-12.
Kara, N. S., Donmez, A., & Cetın, M. Ç. (2021). Relatıonshıp Between Decısıon-Makıng Styles And Cognıtıve Flexıbılıty Levels Of Sports Scıence Students. International Journal of Life Sciences and Pharma Research, 11(1), 217-227.
Kobandaha, P. E., Fuad, Y., & Masriyah, M. (2019). Algebraic reasoning of students with logical-mathematical intelligence and visual-spatial intelligence in solving algebraic problems. International Journal of Trends in Mathematics Education Research, 2(4), 207-211.
Koçak, Ç. V. (2019). The relationship between attitude towards sports and bodily-kinesthetic intelligence in university students of sport science. Physical education of students, 23(3), 147-15

Kowal, C., & Mangal, S. K. (2021). Environmental awareness and intelligence among adolescents. Applied Ecology and Environmental Sciences, 9(2), 191–196. https://doi.org/10.12691/aees-9-2-21
Kuru, E. (2001). Kinestetik zekâ ve beden eğitimi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21(2), 217-229.
Lanya, H., Zahroh, H., Zayyadi, M., & Anjarani, D. R. (2023). Mathematical logical intelligence of students with high mathematical communication skills in system of linear equations in three variable. Jurnal Math Educator Nusantara: Wahana Publikasi Karya Tulis Ilmiah di Bidang Pendidikan Matematika, 9(2), 120-132.

Lismaya, l. (2019). Improvıng studentsâ€™ ınterpersonal ıntellıgence through outdoor actıvıtıes ın learnıng plant morphology: a quası experıment. Unnes science education journal, 8(2).
Masyithoh, s., muthmainah, h., & Ratnaningsih, s. (2023). Analyzıng student ınterpersonal ıntellıgence based on gender ın elementary school. Sıttah: journal of primary education, 4(2), 125-140.
Matzel, L. D., Wass, C., & Kolata, S. (2011). Individual Differences in Animal Intelligence: Learning, Reasoning, Selective Attentionand Inter-Species Conservation of a Cognitive Trait. International Journal of Comparative Psychology, 24(1).
Michelaki, E., & Bournelli, P. (2022). Assessing the bodily-kinesthetic intelligence of pre-schoolers. European Journal of Physical Education and Sport Science, 8(5).
Millard, L., Shaw, I., Breukelman, G., & Shaw, B. (2020). Factors affecting vision and visio-spatial intelligence (vsi) in sport: a review of the literature. Asian Journal of Sports Medicine, 11(3).
Mokhtar, I. A., Majid, S., & Foo, S. (2008). Teaching information literacy through learning styles: The application of Gardner's multiple intelligences. Journal of Librarianship and Information Science, 40(2), 93-109.
Mufid, A., Fatimah, S., Umar, J. A., & Mawere, D. (2022). Efforts to Improve the Development of Naturalistic Intelligence through Outbound Methods at RA Muslimat NU XVII Keser Tunjungan District, Blora Regency. Al-Hijr: Journal of Adulearn World, 1(3).
Mujiono, M., Nakhrowi, N., & Fatimah, S. (2019). The effect of verbal-linguistic intelligence and emotional intelligence on academic achievement of Indonesian EFL learners. International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 18(12), 350-365.
Novitasari, D., Triutami, T. W., Wulandari, N. P., Rahman, A., & Alimuddin, A. (2020). Students' creative thinking in solving mathematical problems using various representations. In 1st Annual Conference on Education and Social Sciences (ACCESS 2019) (pp. 99-102). Atlantis Press.
Nurlaily, V. A., Soegiyanto, H., & Usodo, B. (2018). The Effect of Problem-Based Learning Model Using Contextual Teaching Learning Approach Viewed from Logical Mathematical Intelligence. Journal of Education and Learning (EduLearn), 12(4), 604-609.
Onay, C. (2006). Çoklu zekâ kuramına göre oyunla eğitim. Nobel Yayın Dağıtım.
Ozsari, A., Kara, N. S., & Kara, M. (2021). Examination of the relationship between attitudes towards healthy nutrition and mental toughness of athletes in different branches. Progress in Nutrition, 23(2), e2021087.
Özdemir, M., Baştuğ, G., Tanır, H., & Salim, E. (2018). Evaluating problem solving skills and goal commitment among orienteering athletes. Journal of International Scientific Researches, 3(8), 11-20.
Özgüven, E. (1998). Psikolojik testler. Yeni Doğuş Matbaası.
Petrides, K. V., & Furnham, A. (2000). Gender Differences in Measured and Selfestimated Trait Emotional Intelligence. Sex Roles, 42(5-6), 449-461.
Petrides, K. V., & Furnham, A. (2003). Trait emotional intelligence and happiness. Social Behavior and Personality, 31(8), 815-824.
Phillips-Silver, J., Aktipis, C. A., & Bryant, G. A. (2010). The ecology of entrainment: Foundations of coordinated rhythmic movement. Music perception, 28(1), 3-14.

Purwitasari, R., Mardi, M., & Musyaffi, A. M. (2023). Improvıng learnıng achıevement through ınterpersonal ıntellıgence and self-regulated learnıng. International journal of multidisciplinary research and literature, 2(1), 98-104.
Rakhmawati, D. (2023). Development of ecological citizenship-based character education model to improve environmental naturalistic intelligence of elementary school students. Proceedings Series on Social Sciences & Humanities, 12, 470-483.
Rasmussen, J. (1993). Deciding and doing: decision making in natural context. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsambok (Eds.), Decision Making in Action: Models and Methods (pp. 158-171). Ablex Publishing.
Rokhima, N., & Fitriyani, H. (2018). Student's Metacognition: Do Intrapersonal Intelligent Make Any Difference?. Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika, 7(2), 167-178.
Saban, A. (2005). Çoklu zekâ teorisi ve eğitim. Nobel.
Sancez, A. C. J., Calvo, A. L., Bunuel, P. S. & Godoy, S. J. I. (2009). Decision-making of spanish female basketball team players while they are competing. Revista de Psicologia del Deporte, 18, 369-373.
Sanders, A. C. (2021). Academic Performance of Local vs. State-Identified Female Gifted Students in South Carolina. Charleston Southern University.
Schultz, P. W., & Tabanico, J. (2007). Self, identity, and the natural environment: exploring implicit connections with nature. Journal of applied social psychology, 37(6), 1219-1247.
Sellars, M. (2008). Intelligence for the 21st Century: A Discussion of Intrapersonal and Emotional Intelligences. International Journal of Learning, 15(2).
Setyowati, H. I., & Sugirin, S. (2019). Developing Reading Materials Based on the Student's Multiple Intelligence Types for Junior High School Students. Celt: A Journal of Culture, English Language Teaching & Literature, 19(2), 244-256.
Sheahan, L., While, A., & Bloomfield, J. (2015). An exploratory trial exploring the use of a multiple intelligences teaching approach (MITA) for teaching clinical skills to first year undergraduate nursing students. Nurse Education Today, 35(12), 1148-1154.
Tebe, S. R., Anwar, A., & Bahrun, B. (2019). Effectiveness of Mathematical Learning Devices Based on Verbal Linguistic Intelligence and Mathematical Logical Intelligence. International Journal for Educational and Vocational Studies, 1(4), 304-307.
Tekin, M. (1999). Kantitatif karar verme teknikleri. Eğitim Kitabevi.
Tekin, M., Özmutlu, İ. & Erhan, S. E. (2009). Özel yetenek sınavlarına katılan öğrencilerin karar verme ve düşünme stillerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 11(3), 42-56.
Temiz, N. (2007). Çoklu zekâ kuramı: Okulda ve sınıfta. Nobel.
Thorndike, R. L., & Stein, S. (1937). An evaluation of the attempts to measure social intelligence. Psychological bulletin, 34(5), 275.
Tobroni, M., Rozi, F., Rofi'ah, A., & Fadilah, N. (2022). Nature-based Learning Management in Improving Children's Natural Intelligence. Al-Tanzim: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam, 6(4), 1010-1020.
Triutami, T. W., Hariyanti, U., Novitasari, D., Tyaningsih, R. Y., & Junaidi, J. (2021). High Visual-Spatial Intelligence Students' Creativity in Solving PISA Problems. JTAM (Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika), 5(1), 36-49.
Turkay, H., & Demir, A. (2021). Spor psikolojisi üzerine bir inceleme. Yaşam

Becerileri Psikoloji Dergisi, 5(10), 119-131.
Ulusu, N. T. (2019). Duygusal Zeka Ve Karar Verme Stratejileri arasındaki ilişki (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
Verani, m., somad, a., & warmansyah, j. (2021). The relatıonshıp of father's ınvolvement ın parentıng and ınterpersonal ıntellıgence of young chıldren. Journal of early childhood education (jece), 3(2), 105-114.
Waelle, S., Bostraeten, S., Lenoir, M., Deconinck, F., & Bennett, S. (2021). Visual cognition and experience mediate the relation between age and decision making in youth volleyball players. Optometry and Vision Science, 98(7), 802-808.
Wati, I. F., & Pujiriyanto, P. (2022). Evaluating partial and simultaneous effects of logical-mathematical, visual-spatial, and intrapersonal intelligence on prospective primary teachers' problem solving. Beta: Jurnal Tadris Matematika, 15(1), 72-90.
Wilson, D., & Conyers, M. (2020). Five big ideas for effective teaching: Connecting mind, brain, and education research to classroom practice. Teachers College Press.
Yetti, E., & Utami, A. D. (2023). Sub-Focus Analysis of Naturalist Intelligence In Early Children. Scientia, 2(2), 92-96.
Yew, W., Kong, S., Awang, A., & Yi, G. (2022). Developing a conceptual model for the causal effects of outdoor play in preschools using pls-sem. Sustainability, 14(6), 3365.
Yıldırım, İ. (2003). Bireyi tanıma teknikleri, psikolojik danışma ve rehberlik. Pegem Akademi Yayınları.

Sanal Gerçeklikte Hareket Hastalığı: Kavramlar Kuramlar ve Mekanizmalar

Yağmur KOCAOĞLU[1]

1- Doç. Dr. Yağmur KOCAOĞLU; Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi. Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü. yagmur.kocaoglu@mku.edu.tr ORCID: 0000-0001-6811-4205

GİRİŞ

Sanal gerçeklik teknolojilerinin gelişimi insan ve bilgisayar etkileşiminin sınırlarını genişleten yeni bir çağ başlatmıştır. Başta eğlence, klinik rehabilitasyon, psikoloji, mimarlık ve spor bilimleri olmak üzere birçok disiplin kullanıcıların fiziksel gerçekliğin sınırlarını aşarak üç boyutlu dijital dünyalarla etkileşim kurmasını olanaklı kılan bu teknolojiyi yoğun bir biçimde kullanmaktadır. Ancak sanal gerçeklik deneyiminin büyüleyici doğasına rağmen kullanıcıların önemli bir kısmında çeşitli fizyolojik ve algısal rahatsızlıkların ortaya çıktığı uzun zamandır bilinmektedir. Bu rahatsızlıkların en yaygını literatürde hareket hastalığı, simülatör hastalığı veya siber hastalık olarak geçen semptomlar bütünüdür.

Hareket hastalığı tarihsel olarak gemi, uçak, otomobil veya eğlence parkı araçları gibi fiziksel hareket içeren bağlamlarda ortaya çıkan bir durum olarak tanımlanmıştır. Ancak günümüzde yüksek daldırma sağlayan sanal gerçeklik teknolojilerinde fiziksel hareket yokken bile kullanıcıların benzer belirtiler yaşaması, araştırmacıları bu fenomenin altında yatan mekanizmaları yeniden değerlendirmeye yöneltmiştir. Bu nedenle siber hastalık modern sanal gerçeklik dünyasının hem teknik hem de insan fizyolojisine ilişkin en kritik sınırlayıcı etmenlerinden biri hâline gelmiştir.

Bu bölümün amacı sanal gerçeklikte hareket hastalığını bütüncül bir bakış açısıyla ele almak; kavramsal çerçeveyi, fizyolojik mekanizmaları, kuramsal modelleri, semptom yapısını, değerlendirme araçlarını ve bireysel duyarlılık faktörlerini ayrıntılı biçimde incelemektir. Bu kapsamda bölüm şu sorulara yanıt aramaktadır:

- Sanal gerçeklikte hareket hastalığının temel kavramları nelerdir?
- Duyusal çatışma ve algısal uyumsuzluk hareket hastalığını nasıl tetikler?
- Siber hastalığın fizyolojik ve nörobiyolojik kökenleri nelerdir?
- Hangi kuramsal modeller bu fenomeni açıklamak için geliştirilmiştir?
- Semptomlar nasıl sınıflandırılmakta ve nasıl ölçülmektedir?
- Kimler siber hastalığa daha yatkındır ve bu yatkınlık neden ortaya çıkar?
- Hareket hastalığını azaltmak için hangi stratejiler kullanılabilir?

Bu sorular sanal gerçeklik sistemlerinin daha güvenli, konforlu ve etkili biçimde tasarlanması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle spor bilimleri, klinik rehabilitasyon ve eğitim alanlarında sanal gerçeklik giderek daha yoğun kullanıldığından bu teknolojinin fizyolojik sınırlarının anlaşılması uygulayıcılar için de hayati değer taşımaktadır.

1. HAREKET HASTALIĞINDAN SİBER HASTALIĞA

1.1. Hareket Hastalığının Tanımı

Hareket hastalığı (motion sickness), bireyin maruz kaldığı gerçek fiziksel hareket ile duyusal sistemlerden gelen sinyaller arasında uyumsuzluk olduğunda ortaya çıkan fizyolojik ve algısal bir durumdur (Reason ve Brand, 1975; Oman, 1982). En bilinen klinik örnekleri deniz tutması, araç tutması

ve uçak yolculukları sırasında görülen rahatsızlıklardır. Bu durum genellikle bulantı, kusma, baş dönmesi, terleme, uyku hâli, konsantrasyon güçlüğü ve postüral dengesizlik gibi çok boyutlu semptomlarla kendini gösterir. Hareket hastalığının temelinde görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerden gelen bilgilerin çelişmesi ve beynin bu çelişkiyi çözmekte zorlanması yer alır. Böylece bireyin fizyolojik ve davranışsal sistemi uyumsuz duyusal girdiler karşısında rahatsızlık tepkileri üretir.

1.1.2. Tarihsel Arka Plan

Hareket hastalığına ilişkin en eski gözlemler Antik Yunan ve Roma dönemlerine kadar uzanır. Aristo, Hippokrates ve İbn-i Sina gibi düşünürler deniz tutmasına ilişkin açıklamalar yapmış böylece fenomenin tarihsel olarak binlerce yıldır bilindiği anlaşılmıştır. Modern bilimsel ilginin artması ise özellikle 20. yüzyılın başlarında uçak pilotlarının uçuş sırasında yaşadığı hareket hastalığı benzeri semptomların araştırılmaya başlanmasıyla gerçekleşmiştir. Havacılık, denizcilik ve askeri simülasyon alanlarında biriken gözlemler hareket hastalığının duyusal temellerinin sistematik biçimde incelenmesine ve deneysel modellerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

1.2. Sanal Gerçeklik Bağlamında Yeni Bir Kavram: Siber Hastalık

1.2.1. Kavramın Ortaya Çıkışı

1980'lerin sonunda sanal gerçeklik teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte hareket hastalığı kavramı tamamen yeni bir bağlamda ele alınmaya başlanmıştır. Fiziksel hareket içermeyen ancak görsel olarak hareket hissi yaratan bu deneyimler sırasında kullanıcıların hareket hastalığına benzer belirtiler yaşadığı fark edilmiş ve bu fenomen ilk kez Stanney (1995) tarafından "siber hastalık (cybersickness)" olarak adlandırılmıştır. Siber hastalığın klasik hareket hastalığına büyük ölçüde benzeyen bir semptom profili vardır ancak ortaya çıkış koşulları belirgin şekilde farklıdır. Bu durumda fiziksel hareket çok azdır ya da tamamen yoktur. Hareket algısı yalnızca görsel ipuçlarıyla oluşturulur ve vestibüler sistem pasif kalır, somatosensoriyel sistem ise görsel hareketi desteklemediğinden duyusal uyumsuzluk daha yoğun hâle gelir.

1.2.2. Siber Hastalığın Belirtileri ve Yaygınlığı

Kennedy ve ark. (2000) ile Stanney ve ark. (2021), siber hastalığın bulantı, baş dönmesi, okülomotor stres, göz yorgunluğu, yönelim kaybı (dezoryantasyon), dengesizlik, uyuşukluk, terleme ve ağız kuruluğu gibi belirtilerle karakterize edildiğini belirtmektedir. Bu belirtiler hareket hastalığına benzer olmakla birlikte sanal gerçeklik bağlamına özgü bazı farklılıklar içerir. Bu belirtiler özellikle okülomotor semptomlar ve göz yorgunluğu sanal gerçeklik deneyimlerinde daha sık görülmektedir. Munafo ve ark. (2017), sanal gerçeklik kullanıcılarının %22–%56'sında siber

hastalık belirtileri rapor edildiğini göstermiş bu sonuçta fenomenin yaygın bir kullanıcı deneyimi sorunu olduğunu ortaya koymuştur.

1.3. Hareket Hastalığı – Simülatör Hastalığı – Siber Hastalık İlişkisi

1.3.1. Ortak Mekanizma: Duyusal Uyumsuzluk

Hareket hastalığı, simülatör hastalığı ve siber hastalık temelde aynı nörofizyolojik mekanizma olan duyusal uyumsuzlukla ilişkilidir. Bu üç durumda da görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerden gelen bilgilerin birbiriyle çelişmesi temel rahatsızlık kaynağıdır. Beyin hareket algısına ilişkin beklenti modellerini bu duyusal girdilere göre oluşturur ancak girdiler arasında uyuşmazlık olduğunda nörofizyolojik stres ortaya çıkar ve fizyolojik tepkiler devreye girer.

1.3.2. Ayırt Edici Özellikler ve Karşılaştırmalı Bakış

Her üç kavram ortak mekanizmalar taşısa da aralarında belirgin ayırt edici özellikler bulunmaktadır. Hareket hastalığında fiziksel hareket mevcuttur; örneğin dalgalı bir denizde gemi hareket ederken vestibüler sistem sürekli olarak ivme ve dönüş bilgisi alır. Simülatör hastalığında fiziksel hareket sınırlıdır fakat görsel simülasyon yoğun hareket ipuçları yaratır. Siber hastalıkta ise fiziksel hareket tamamen yoktur. Hareket hissi yalnızca görsel girdilerle oluşturulur ve vestibüler sistemle tam bir uyumsuzluk ortaya çıkar. Aşağıdaki Tablo 1'de üç fenomen arasındaki temel farkları özetlemektedir.

Tablo 1: Hareket Hastalığı – Simülatör Hastalığı – Siber Hastalık: Karşılaştırmalı Bakış

Özellik	Hareket Hastalığı	Simülatör Hastalığı	Siber Hastalık
Fiziksel Hareket	Var	Sınırlı	Yok
Görsel Uyaran	Genellikle stabil	Yoğun simülasyon	Tamamen simüle
Vestibüler–Görsel Uyumsuzluk	Orta düzey	Yüksek	Çok yüksek
Ortaya Çıktığı Ortam	Araç, gemi, uçak	Uçuş simülatörü	Sanal gerçeklik
Belirti Profili	Bulantı, baş dönmesi	Bulantı, dezoryantasyon	Bulantı, göz yorgunluğu, postüral bozulma

Bu karşılaştırma siber hastalığın hareket hastalığının bir alt türü gibi görünse de aslında duyusal çatışmanın şiddeti ve ortaya çıkış koşulları bakımından kendine özgü bir fenomen olduğunu göstermektedir.

2. SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİ VE DUYUSAL ETKİLEŞİM

2.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Bileşenleri

Sanal gerçeklik, kullanıcıya bilgisayar tarafından oluşturulan üç boyutlu bir ortamı gerçekçi, etkileşimli ve çok duyulu biçimde deneyimleme imkânı sunan gelişmiş bir simülasyon teknolojisidir (Cano-de-la-Cuerda ve Ortiz Gutiérrez, 2017; Cortés Trujillo ve Murcia Rodríguez, 2020; López Sánchez ve Quintero, 2012). Bu deneyim genellikle başa takılan ekranlar (HMD), hareket izleyiciler ve işitsel ya da dokunsal geri bildirim sistemleri aracılığıyla sağlanır (Ortiz Gutiérrez vd., 2018). Sanal gerçeklik teknolojisi temel olarak simülasyon, etkileşim ve daldırma bileşenlerinden oluşur ve bu üçlü yapı kullanıcıya inandırıcı bir sanal dünya sunabilmek için eşgüdümlü olarak çalışır.

2.1.1. Simülasyon Bileşeni

Simülasyon bileşeni, kullanıcıya gerçeğe yakın bir çevresel sahne sunulmasını sağlayan teknolojik çekirdeği içerir. Üç boyutlu sahnelerin oluşturulması, nesnelerin fiziksel kurallara uygun davranışlar sergilemesi, derinlik hissinin güçlendirilmesi ve optik akışın doğru şekilde işlenmesi, simülasyonun gerçeklik benzeri bir deneyim yaratmasına imkân tanır (Polonio López, 2016; Cortés Trujillo ve Murcia Rodríguez, 2020). Bu bileşen kullanıcıya yalnızca görsel bir ortam sunmakla kalmaz aynı zamanda sahnenin sürekliliğini ve tutarlılığını sağlayarak hareket illüzyonunun temelini oluşturur.

2.1.2. Etkileşim Bileşeni

Etkileşim bileşeni, kullanıcı ile sanal ortam arasındaki duyu–motor ilişkisini temsil eder. Kullanıcının el ve kol hareketleri, baş dönüşleri, vücut rotasyonları ve mekânsal konumu; hareket izleyiciler, el kumandaları, haptik eldivenler veya tüm vücut izleme sistemleri tarafından gerçek zamanlı olarak algılanır (Ortiz Gutiérrez vd., 2018). Bu girdiler sanal ortama anında yansıtılır ve çevredeki nesneler kullanıcının hareketlerine yanıt verir. Etkileşim bileşeni, kullanıcıyı pasif bir gözlemci olmaktan çıkarıp sanal dünya içinde aktif bir katılımcı hâline getirir.

2.1.3. Daldırma (Immersion) Bileşeni

Daldırma, sanal gerçeklik sisteminin sunduğu duyusal niteliklerin kullanıcıyı fiziksel çevreden koparark sanal dünyanın içine çekme derecesini ifade eder (Ortiz Gutiérrez vd., 2018). Tam sürükleyici sistemlerde başa takılan ekranlar tüm görüş alanını kaplar, stereoskopik görüntü ile derinlik hissi desteklenir ve görsel-işitsel-dokunsal uyaranlar entegre biçimde sunulur. Daldırma düzeyi arttıkça kullanıcıların sanal ortamda gerçekten bulunuyormuş hissi yaşama olasılığı artmakta ve sanal

çevre fiziksel bir mekan gibi algılanmaya başlamaktadır (Slater ve Wilbur, 1997; Witmer ve Singer, 1998). Bununla birlikte yüksek daldırma, sanal hareketin gerçek hareketle uyumsuz olduğu durumlarda siber hastalık riskini artırabilmektedir.

2.2. Duyusal Sistemler Arası Etkileşim

Sanal gerçeklik deneyimi görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerin ortak ve entegre çalışmasına dayanır. Bu üç sistem, hareket algısının, beden konumlandırmasının ve mekânsal farkındalığın temelini oluşturur (Reason ve Brand, 1975; Oman, 1982; Bos vd., 2008). Bu nedenle sanal gerçeklik deneyiminin kalitesi, bu duyusal sistemler arasındaki etkileşim ve uyumun derecesiyle doğrudan ilişkilidir.

2.2.1. Görsel Sistem

Sanal gerçeklikte hareket algısının büyük bölümü görsel sistem tarafından oluşturulur. Optik akışın yönü, büyüklüğü ve hızı; nesnelerin perspektif değişimleri ve baş hareketlerine karşı görüntünün güncellenme biçimi, kullanıcıda güçlü bir hareket illüzyonu yaratır (Cortés Trujillo ve Murcia Rodríguez, 2020). Ancak bu görsel hareket vestibüler sistem tarafından doğrulanmadığında, görsel *"hareket var"* sinyali ile vestibüler *"hareket yok"* sinyali arasında bir uyumsuzluk ortaya çıkar ve bu durum hareket hastalığının temel tetikleyicisidir (Bos vd., 2008; Gallagher ve Ferrè, 2018; Caserman vd., 2021).

2.2.2. Vestibüler Sistem

Vestibüler sistem, başın uzaydaki konumunu, ivmesini ve hareketini algılayan yarım daire kanalları ve otolit organlarından oluşur. Gerçek yaşamda vestibüler sistem hareketi algıladığında görsel sistemle uyumlu sinyaller gönderir. Ancak sanal gerçeklikte görsel hareket sinyalleri gerçek fiziksel hareketle eşleşmediğinde vestibüler sistem *"hareketsizlik"* bilgisini iletmeye devam eder (Oman, 1982; Bles vd., 1998). Bu durum vestibüler–görsel çatışmanın derinleşmesine ve siber hastalık semptomlarının ortaya çıkmasına yol açan temel fizyolojik mekanizmayı oluşturur.

2.2.3. Somatosensoriyel Sistem

Somatosensoriyel sistem kas gerimi, eklem pozisyonu ve basınç duyuları aracılığıyla bedenin uzaydaki konumuna ilişkin bilgileri iletir. Sanal gerçeklikte kişi görsel olarak yürüdüğünü hissedebilir ancak somatosensoriyel sistem vücudun aslında sabit olduğunu bildirir. Bu bilgi uyuşmazlığı duyusal çatışmayı artırarak siber hastalık belirtilerinin şiddetlenmesine katkı sağlar (Reason ve Brand, 1975; Lackner, 2015).

2.3. Sanal Gerçeklikte Varlık (Presence) ve Yer–Olasılık Yanılsamaları

2.3.1. Yer Yanılsaması (Place Illusion)

Slater (2009), yer yanılsamasını kullanıcının sensör-motor geri bildirim yoluyla *"sanal ortamda gerçekten bulunuyormuş gibi hissetmesi"* olarak tanımlar. Yer yanılsaması sistemin teknik daldırma gücüyle yakından ilişkilidir. Gerçek zamanlı hareket takibi, geniş görüş alanı ve düşük gecikme bu yanılsamanın güçlenmesini sağlayan temel unsurlardır.

2.3.2. Olasılık Yanılsaması (Plausibility Illusion)

Olasılık yanılsaması, sanal ortamda gerçekleşen olayların gerçekten yaşandığına dair algısal kabulün güçlenmesiyle ilişkilidir (Slater, 2009). Kullanıcının bir olayın gerçek olabileceğine yönelik inancı arttıkça sanal çevre daha inandırıcı hâle gelir. Yer ve olasılık yanılsamalarının güçlü olduğu deneyimler yüksek öğrenme transferi sağlayabilir ancak yoğun daldırma özellikle görsel–vestibüler uyumsuzluğun belirgin olduğu durumlarda siber hastalık riskini artırabilir (Richlan vd., 2023).

2.4. Duyusal Uyumsuzluk ve Sanal Gerçeklikte Hareket Algısı

Sanal gerçeklik ortamları, görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerin uyum içinde çalışmasını gerektirir ancak sanal gerçeklik kullanımında bu sistemlerden gelen sinyallerin sıklıkla çeliştiği görülür. Örneğin sanal ortamda kullanıcıya yüksek hızda ileri hareket hissi veren güçlü bir optik akış sunulurken, vestibüler sistem "hareket yok" sinyali göndermeye devam eder; somatosensoriyel sistem ise kas-spindle duyuları yoluyla bedenin sabit bir postürde olduğunu işaret eder. Bu üçlü uyuşmazlık, duyusal çatışmanın en tipik örneklerinden biridir ve siber hastalık semptomlarının tetiklenmesinde kritik rol oynar (Caserman vd., 2021; Gallagher ve Ferrè, 2018). Bu nedenle sanal gerçekliğin sunduğu hareket algısı, gerçek hareketi temsil etmiyorsa sistemler arası denge hızla bozulabilir ve kullanıcı rahatsızlık yaşamaya başlayabilir.

3. Hareket Hastalığının Kuramsal Modelleri

Sanal gerçeklik ortamlarında ortaya çıkan hareket hastalığı ve siber hastalık, yalnızca fizyolojik bir rahatsızlık değil, aynı zamanda çok katmanlı bir duyusal ve nörobilişsel süreçtir. Bu nedenle literatürde rahatsızlığın kökenini açıklamak üzere farklı kuramsal modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, duyusal sistemler arasındaki uyumsuzluk, merkezi sinir sisteminin beklenti mekanizmaları ve algısal entegrasyon süreçlerinin hareket hastalığındaki rolünü anlamaya yönelik kapsamlı açıklamalar sunar. Aşağıda bu kuramsal yaklaşımlar ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

3.1. Duyusal Çatışma Kuramı

Duyusal çatışma kuramı, hareket hastalığının açıklanmasında en çok kullanılan ve tarihsel olarak en köklü modele karşılık gelir. Reason ve Brand (1975), insan beyninin hareket algısını oluşturmak için görsel, vestibüler ve somatosensoriyel girdileri sürekli olarak bütünleştirdiğini öne sürmüştür. Bu birleştirme sürecinde geçmiş deneyimlere dayanarak oluşmuş *"beklenen duyusal model"* yeni duyusal girdilerle karşılaştırılır. Oman (1982) ise bu süreci içsel modeller üzerinden açıklayarak duyusal çatışmayı matematiksel bir çerçeveye oturtmuştur. Eğer alınan duyusal sinyaller beynin beklediği duyusal modelle uyumlu değilse, merkezi sinir sistemi bir uyumsuzluk algılar ve fizyolojik rahatsızlık ortaya çıkar. Bu nedenle duyusal çatışma hareket hastalığının birincil tetikleyicisi olarak kabul edilmiştir (Bos vd., 2008; Lackner, 2015).

3.1.1. Sanal Gerçeklikte Duyusal Çatışma

Sanal gerçeklik ortamlarında duyusal çatışma çok daha belirgindir çünkü sistemler arasındaki bilgi eşleşmesi neredeyse tamamen bozulur. Sanal ortamda görsel sistem sürekli *"hareket var"* sinyali üretirken, vestibüler sistem fiziksel hızlanma veya ivme olmadığı için *"hareket yok"* bilgisini iletir. Somatosensoriyel sistem ise kas gerimi ve eklem pozisyonu nedeniyle *"vücut sabit"* mesajını verir. Görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerden gelen bu çelişkili bilgi akışı siber hastalığın temel fizyolojik mekanizmasını oluşturur (Gallagher ve Ferrè, 2018; Caserman vd., 2021). Bu kuram sanal ortamda yürüyormuş gibi görünen ancak fiziksel olarak yerinde duran kullanıcının neden rahatsızlık yaşadığını açıklamak açısından en güçlü ve açıklayıcı modellerden biridir.

3.2. Oman'ın Duyusal Yeniden Düzenleme Modeli

Oman (1982), duyusal çatışma yaklaşımını genişleterek beynin duyusal girdileri değerlendirme sürecini bir *"içsel hareket modeli"* üzerinden açıklamıştır. Bu modele göre merkezi sinir sistemi farklı duyusal kanallardan gelen bilgileri sürekli olarak bu içsel model ile karşılaştırır. Eğer gerçek duyusal girdiler içsel modelle uyumlu değilse sistem bir yeniden düzenleme sürecine girer ve bu yeniden düzenleme sırasında rahatsızlık belirtileri ortaya çıkabilir. Bu açıklama hareket hastalığını yalnızca anlık duyusal çatışmalarla değil, aynı zamanda beynin bu çatışmayı çözmek için yaptığı adaptif süreçlerle ilişkilendirmektedir.

3.2.1. Sanal Gerçeklik Bağlamındaki Önemi

Sanal gerçeklikte içsel model ile duyusal girdiler arasındaki uyumsuzluk çok daha belirgindir. Görsel sistem sürekli hareket ve hızlanma sinyalleri gönderirken vestibüler sistem hareketsizlik bildirir. İçsel model ise görsel hareketin fiziksel karşılığı olarak ivme ve yön değişikliği bekler ancak gerçek fiziksel hareket olmadığında içsel modelin bu beklentisi

karşılanamaz. Bu nedenle sanal gerçeklikte yürüyüş, koşu, uçuş veya araç kullanma simülasyonları sırasında *"beklenen hareket"* ile *"algılanan hareket"* arasındaki uyumsuzluk, bulantı ve yönelim bozukluğu gibi semptomları tetikler (Oman, 1982; Bos vd., 2008).

3.3. Beklenti ve Girdi Uyumsuzluğu Modeli

Bos vd. (2008), duyusal çatışma kuramını daha geniş bir çerçeveye taşıyarak beklenti ve girdi uyumsuzluğu modelini geliştirmiştir. Bu modele göre merkezi sinir sistemi belirli bir motor eyleme karşılık belirli duyusal girdiler bekler. Eğer alınan duyusal girdiler beklentiyle uyuşmuyorsa rahatsızlık ortaya çıkar. Bu durum duyusal sistemlerin entegrasyonunu yalnızca uyumsuz sinyaller bağlamında değil aynı zamanda *"beklenen"* ile *"gerçekte alınan"* sinyal arasındaki fark üzerinden değerlendirir.

3.3.1. Sanal Gerçeklik Uygulamalarına Etkisi

Sanal gerçeklikte kullanıcı sanal bir aracın hızlandığını görse de vestibüler sistem hızlanma ivmesi üretmediği için içsel beklentiler karşılanamaz. Benzer şekilde kullanıcı sanal ortamda yürürken gerçek hayattaki ritmik baş ve gövde hareketleri oluşmaz; görsel olarak dönme sinyali geldiğinde yarım daire kanalları hareketsiz kalır. Bu nedenle beyin *"beklentim karşılanmadı"* tepkisi verir ve sensör–motor uyumsuzluk oluşur (Kim vd., 2005; Lewkowicz, 2019). Sonuç olarak bulantı, baş dönmesi ve dezoryantasyon gibi belirtiler tetiklenir. Bu model özellikle sanal gerçeklikteki hızlanma, ani dönüş ve sarsıntı simülasyonlarında neden daha yüksek semptom şiddeti görüldüğünü açıklamak açısından önemlidir.

4. SİBER HASTALIK BELİRTİLERİ

Sanal gerçeklik kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan siber hastalık belirtileri klasik hareket hastalığındaki fizyolojik süreçlerle büyük ölçüde paralellik göstermektedir (Kennedy vd., 2000; Stanney vd., 2021). Bununla birlikte sanal gerçeklik ortamlarının yüksek görsel yükü, okülomotor gereksinimleri ve sensör–motor uyumsuzlukları, semptomların hem çeşitliliğini hem de yoğunluğunu artırabilmektedir (Rebenitsch ve Owen, 2016; Lackner, 2015). Bu kapsamda siber hastalık belirtileri genellikle otonomik, okülomotor, vestibüler–postüral ve bilişsel belirtiler olmak üzere dört temel kategori altında incelenmektedir. Bu sınıflandırma Simülatör Hastalığı Anketi'nin alt boyutlarıyla da doğrudan uyumludur (Kennedy vd., 1993; Ames vd., 2005). Bu dört belirti kategorisi aşağıdaki tabloda (Tablo 2) özetlenmiştir. Tablo 2'den de anlaşılacağı gibi siber hastalık geniş bir semptom yelpazesine sahiptir ve her kategori farklı duyusal sistemlerin etkilenmesiyle ortaya çıkmaktadır. Otonomik belirtiler genellikle bulantı ve terleme gibi fizyolojik tepkilerle kendini gösterirken okülomotor belirtiler yoğun görsel-işlemsel yük nedeniyle göz yorgunluğu ve odaklanma sorunları

şeklinde ortaya çıkar. Vestibüler–postüral belirtiler özellikle görsel–vestibüler uyumsuzluk arttığında baş dönmesi ve denge kaybına yol açarken bilişsel belirtiler duyusal çatışmanın zihinsel süreçleri zorlaması sonucu konsantrasyon, mekânsal yönelim ve öğrenme üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu kategori yapısı siber hastalık belirtilerini daha sistematik bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kıldığı gibi aynı zamanda her belirti türünün altında yatan fizyolojik ve bilişsel mekanizmaların daha iyi anlaşılmasını da sağlamaktadır.

Tablo 2: Siber Hastalık Belirti Kategorileri ve Örnek Semptomlar

Belirti Kategorisi	Açıklama	Örnek Semptomlar	Referans
Otonomik	Otonom sinir sistemi tepkileri; erken başlayan fizyolojik göstergeler	Bulantı, terleme, tükürük artışı, solgunluk	(Kennedy vd., 1993; Kennedy vd., 2000; Lackner, 2015)
Okülomotor	Göz kaslarının yorulması, odaklanma zorlukları	Göz yorgunluğu, bulanık görme, baş ağrısı	(Rebenitsch ve Owen, 2016; Oh ve Son, 2022)
Vestibüler–Postüral	Görsel–vestibüler çatışma sonucunda dengenin bozulması	Baş dönmesi, vertigo, ataksi, postüral instabilite	(Reason ve Brand, 1975; Stanney vd., 2021; Travaglini vd., 2021)
Bilişsel	Duyusal çatışmanın zihinsel süreçlere etkisi	Konsantrasyon güçlüğü, dezoryantasyon, performans düşüşü	(Stanney vd., 2021; Gallagher ve Ferrè, 2018; Richlan vd., 2023)

5. SİBER HASTALIĞIN ÖLÇÜMÜ

Siber hastalık çoklu duyusal sistemlerin etkileşimiyle ortaya çıkan karmaşık ve çok boyutlu bir fenomendir. Bu nedenle semptomların nicel olarak değerlendirilmesi, sanal gerçeklik çalışmalarında hem güvenli kullanım hem de bilimsel geçerlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Kullanılan değerlendirme araçları araştırmacılara semptom şiddetini belirleme, farklı sanal ortamların etkilerini karşılaştırma ve spor, eğitim ya da rehabilitasyon gibi uygulama alanlarında güvenli çerçeveler oluşturma fırsatı sunar (Gianaros vd., 2001; Guerrero vd., 2013; Yildirim, 2020). Bu bağlamda sanal gerçeklik araştırmalarında en sık kullanılan ölçüm araçları Simülatör Hastalığı Anketi (SSQ), Hareket Hastalığı Anketi (MSQ) ve Sanal Gerçeklik Semptom Anketi (VRSQ) olarak öne çıkmaktadır. Bu araçların kapsamı, güçlü yönleri, sınırlılıkları ve kullanım alanları aşağıdaki tabloda

özetlenmiştir. Tablo 3 araştırmacıların hangi ölçüm aracını hangi amaçla tercih edebileceğini açık bir biçimde göstermektedir.

Tablo 3: Siber Hastalık Ölçüm Araçlarının Karşılaştırılması

Ölçek	Ölçtüğü Semptomlar	Güçlü Yönler	Sınırlılıklar	Kullanım Alanı	Referans
Simülatör Hastalık Anketi	Bulantı, okülomotor, yönelim kaybı (16 belirti; 0–3 puan)	En kapsamlı değerlendirme aracı; Sanal gerçeklik alanında standart	Uygulanması görece uzun zaman alır.	Spor bilimleri, pilotaj, askeri simülasyonlar, klinik sanal gerçeklik	Kennedy vd. (1993); Ames vd. (2005); Guerrero vd. (2013)
Hareket Hastalığı Anketi	Temel hareket hastalığı duyarlılığı; otonomik belirtiler	Sanal gerçeklik öncesi risk belirleme için ideal	Sanal gerçekliğe özgü okülomotor belirtileri kapsamaz.	Ön-testler, bireysel duyarlılık analizi	Gianaros vd. (2001)
Sanal Gerçeklik Semptom Anketi	Göz yorgunluğu, odaklanma güçlüğü, görsel stres	Okülomotor yüklenmenin yüksek olduğu uygulamalar için hassas; kısa sürede uygulanabilir	Vestibüler belirtileri sınırlı değerlendirir.	Eğitim sanal gerçekliği, rehabilitasyon, oyun temelli sanal gerçeklik	Yildirim (2020); Guerrero vd. (2013)

Simülatör Hastalığı Anketi, Kennedy vd. (1993) tarafından geliştirilen ve sanal gerçeklik literatüründe en sık kullanılan ölçme aracıdır. Toplam 16 semptom 0–3 arası bir şiddet skalasıyla değerlendirilir ve semptomlar üç alt boyutta (bulantı, okülomotor belirtiler ve dezoryantasyon) toplanır. Simülatör Hastalığı Anketi toplam puanı bu üç alt boyutun ağırlıklı ortalamasına dayanır ve puanın artması sanal gerçeklik kaynaklı rahatsızlığın arttığını gösterir (Ames vd, 2005). Yaygın sınıflamaya göre 5–10 puan minimal, 10–15 puan belirgin, 15–20 puan endişe verici ve 20 üzeri şiddetli semptom düzeyini ifade eder (Guerrero vd., 2013).

Hareket Hastalığı Anketi, temel hareket hastalığı duyarlılığını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş olup sanal gerçeklik maruziyeti öncesi risk değerlendirmesinde önemli bir araçtır (Gianaros vd., 2001). Bu nedenle anket özellikle bireysel farklılıkların belirlenmesi ve kullanıcı profili çıkarılması için Simülatör Hastalık Anketi ile birlikte kullanılmaktadır.

Sanal Gerçeklik Semptom Anketi, sanal gerçeklik ortamına özgü okülomotor belirtileri daha hassas biçimde ölçmek üzere tasarlanmıştır. Uygulama süresinin kısa olması özellikle eğitim ve rehabilitasyon sanal

gerçeklik ortamı gibi uzun oturumlar içeren çalışmalarda avantaj sağlamaktadır (Yildirim, 2020). Sonuç olarak sanal gerçeklik tabanlı spor, eğitim ve rehabilitasyon uygulamalarında bu ölçekler kullanıcının güvenliğini sağlamanın yanı sıra sistem tasarımı, oturum süresi ve içerik optimizasyonu gibi konularda karar destek mekanizması görevi görmektedir (Stanney vd., 2003; Richlan vd., 2023; Park ve Lee, 2020; Travaglini vd., 2021).

6. BİREYSEL DUYARLILIK, RİSK FAKTÖRLERİ VE ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER

Siber hastalık bireyler arasında oldukça geniş bir duyarlılık yelpazesinde ortaya çıkan çok faktörlü bir olgudur. Bazı kullanıcılar kısa süreli sanal gerçeklik maruziyetinde bile şiddetli semptomlar yaşarken diğerleri uzun süreli deneyimde dahi minimal belirti göstermektedir. Bu farklılık; bireysel biyolojik özellikler, deneyim düzeyi, donanım performansı, sanal ortam tasarımı ve spor bağlamına özgü fiziksel–bilişsel talepler gibi çok sayıda değişkenin karşılıklı etkileşiminin bir sonucudur (Stanney vd., 2003; Richlan vd., 2023). Dolayısıyla bu faktörlerin sistematik olarak ele alınması hem spor hem de klinik ve eğitim uygulamalarında sanal gerçekliğin güvenli ve etkili biçimde kullanılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Kullanıcıya bağlı bireysel değişkenler duyarlılığın temel belirleyicilerinden biridir. Yaş, bu değişkenler içinde öne çıkan bir faktördür. Çocuklar ve yaşlı yetişkinler, gelişmekte olan veya yaşlanmaya bağlı olarak hassaslaşan vestibüler sistemleri nedeniyle siber hastalığa daha yatkındır (Richlan vd., 2023). Ayrıca yaşlı bireylerde vestibüler sistemin yaşlanma ile zayıflaması sanal gerçeklik sonrasında dengesizliğin daha belirgin şekilde ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Lackner, 2015). Cinsiyetin etkisi literatürde tartışmalı olmakla birlikte bazı çalışmalar hormonal ve vestibüler hassasiyet farklılıkları nedeniyle kadınların daha yüksek risk taşıyabileceğini öne sürmüştür (Stanney vd., 2003) ancak bulgular tutarlı değildir. Vestibüler sistem sağlığı ise duyarlılığın en belirgin biyolojik göstergelerinden biridir; vestibüler disfonksiyonu bulunan bireyler baş dönmesi, dengesizlik ve dezoryantasyon gibi semptomları daha şiddetli yaşamaktadır (Lackner, 2015). Bunun yanında daha önce sanal gerçeklik deneyimi olan kullanıcıların alışma sayesinde daha yüksek semptom eşiğine sahip olduğu bilinmektedir (Oman, 1982; Stanney vd., 2003). Araba veya deniz tutması gibi hareket hastalığı geçmişi ise sanal gerçeklik ortamlarına olan duyarlılığı artıran önemli bir bireysel risk göstergesidir (Lackner, 2015). Bu bireysel faktörler aşağıdaki tabloda (Tablo 4) özetlenmiştir.

Donanıma bağlı faktörler de siber hastalık riskini önemli ölçüde belirleyen teknik bileşenlerdir. Yenileme hızı, baş hareketi ile görüntü güncellemeleri arasındaki uyumu doğrudan etkilediğinden kritik bir

parametredir. Yüksek yenileme hızları (90 Hz ve üzeri) daha akıcı optik akış sağlayarak siber hastalık riskini azaltırken düşük yenileme hızları titreme ve okülomotor yorgunluk gibi sorunlara yol açarak semptomu artırabilir (Kennedy vd., 2000; Oh ve Son, 2022). Gecikme donanımın diğer temel bileşenidir ve görüntü güncellemelerinin baş hareketiyle uyumsuz hale gelmesi duyusal çatışmayı artırarak rahatsızlık seviyesini yükseltir. Literatürde 20 ms üzerindeki gecikme değerlerinin belirgin rahatsızlık riski yarattığı vurgulanmaktadır (Rebenitsch ve Owen, 2016). Görüş alanı genişledikçe daldırma hissi artar fakat optik akış yoğunluğunun da artması nedeniyle semptom şiddeti yükselmektedir (Stanney vd., 2021). Çözünürlük ve ekran kalitesi ise özellikle okülomotor belirtileri etkileyen bir diğer kritik bileşendir. Düşük çözünürlük göz yorgunluğuna, görsel strese ve odaklanma zorluklarına neden olabilir (Oh ve Son, 2022). Bu teknik donanım riskleri aşağıda (Tablo 4) özetlenmiştir.

Tablo 4: Donanıma Bağlı Siber Hastalık Risk Faktörleri

Teknik Değişken	Etkisi	Referans
Yenileme Hızı	Düşük hız → titreme ve okülomotor yorgunluk; yüksek hız → daha akıcı optik akış	Kennedy vd. (2000); Oh ve Son (2022)
Gecikme	20 ms üstü gecikme duyusal çatışmayı artırarak bulantı ve baş dönmesini tetikler	Rebenitsch ve Owen (2016)
Görüş Alanı	Geniş görüş alanı daldırmayı artırır ancak optik akış artışıyla semptom riskini yükseltir	Stanney vd. (2021)
Çözünürlük/ Ekran Kalitesi	Düşük çözünürlük göz yorgunluğu ve odaklanma sorunlarına yol açar	Oh ve Son (2022)

Sanal ortam tasarımı da duyarlılığı doğrudan etkileyen üçüncü faktör grubudur. Optik akış yoğunluğunun yüksek olduğu, hız ve yön değişikliklerinin sık yaşandığı sanal sahneler görsel–vestibüler uyumsuzluğu artırarak bulantı ve dezoryantasyon düzeylerini yükseltmektedir (Caserman vd., 2021). Sabit referans çerçevelerinin bulunmadığı durumlarda kullanıcıların pozisyon ve hareket algıları daha fazla bozulmakta buna bağlı olarak baş dönmesi ve dengesizlik artmaktadır. Kullanıcıdan bağımsız gerçekleştirilen kamera hareketleri örneğin yapay ivmelenme, ani yön değişiklikleri veya sanal kameranın kullanıcının eylemleriyle eşleşmemesi duyusal çatışmayı daha da şiddetlendirerek semptomların ortaya çıkmasını kolaylaştırmaktadır (Kim vd., 2005).

Spor bağlamında siber hastalığa duyarlılık daha da karmaşık bir hâl almaktadır. Özellikle denge gerektiren branşlarda (örneğin buz pateni,

kayak, jimnastik) sporcular vestibüler sistemlerine yüksek düzeyde güvendikleri için sanal gerçeklik sonrası yaşanan dengesizlikler bu grup için daha belirgin riskler yaratabilir (Litleskare, 2021; Lackner, 2015). Futbol, basketbol ve boks gibi hızlı görsel tarama, bilişsel yük ve karar verme gerektiren branşlarda ise siber hastalık belirtileri hem bilişsel hem de algısal süreçleri zayıflatarak performans çıktılarının doğrudan etkilenmesine yol açabilir (Richlan vd., 2023). Ayrıca sporcular genellikle vestibüler adaptasyon yetenekleri nedeniyle sanal gerçekliğe daha hızlı uyum sağlasalar da yüksek yoğunluklu fiziksel antrenmanların hemen ardından sanal gerçeklik maruziyeti yorgun vestibüler sistem nedeniyle semptom riskini arttırabilmektedir (Travaglini vd., 2021).

7. SANAL GERÇEKLİKTE HAREKET HASTALIĞINI AZALTMAYA YÖNELİK STRATEJİLER

Sanal gerçeklikte hareket hastalığını azaltmaya yönelik stratejiler büyük ölçüde görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemler arasındaki uyumsuzluğu azaltmayı hedefleyen bütüncül bir yapıda ele alınmaktadır. Bu stratejiler donanım optimizasyonu, yazılım ve sahne tasarımı, kullanıcı adaptasyonu ve davranışsal–biyolojik düzenlemeler gibi çok boyutlu müdahaleleri içerir (Stanney, 1995; Kennedy vd., 1993; Lewellen vd., 2025; Richlan vd., 2023). Donanım temelli çözümler sanal gerçeklik deneyiminin fizyolojik uyumluluğunu artırmak açısından özellikle kritik bir rol oynar.

7.1. Donanım Temelli Stratejiler

Donanım temelli iyileştirmeler, sanal gerçeklik deneyiminin kalitesini artırarak duyusal çatışmanın azaltılmasını sağlayan en temel müdahale gruplarından biridir. Yenileme hızının artırılması bu müdahalelerin başında gelir. Yüksek yenileme hızı (90 Hz ve üzeri), optik akışı daha pürüzsüz hâle getirerek düşük yenileme hızlarında görülen titreme ve görüntü yırtılması gibi istenmeyen durumları azaltmaktadır (Kennedy vd., 2000). Bu iyileştirme, okülomotor yükün azalmasına ve bulantı riskinin düşmesine önemli katkı sağlar. Gecikmenin azaltılması ise gerçek baş hareketi ile görüntü güncellenmesi arasındaki zaman farkını azaltarak duyusal çatışmayı hafifletir. Sensör doğruluğu, işlemci hızları ve görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesiyle gecikmenin 20 ms'nin altında tutulması önerilmektedir (Rebenitsch ve Owen, 2016; Oh ve Son, 2022). Görüş alanı optimizasyonu, daldırma hissini artırmakla birlikte optik akış yoğunluğunu da yükselterek semptomları tetikleyebilir. Bu nedenle modern sanal gerçeklik sistemleri dinamik görüş alanının azaltması komfor modu ve geçici daralma efektleri gibi çözümler sunarak riskleri kontrol altına almaktadır (Stanney vd., 2021). Ayrıca ergonomik ve hafif başa takılan ekran tasarımları, boyun ve baş bölgesine binen fiziksel yükü azaltarak uzun süreli

kullanımda baş ağrısı ve kas iskelet kökenli yorgunluk riskini düşürür (Stanney, 1995).

7.2. Yazılım ve Sahne Tasarımı Stratejileri

Yazılım temelli düzenlemeler sanal dünyadaki hareketlerin kullanıcının gerçek hareketiyle daha uyumlu hâle getirilmesini hedefler. Ani kamera hareketlerinin engellenmesi bu stratejilerin önemli bir parçasıdır. Kullanıcı fiziksel olarak hareket etmezken kameranın aniden yön değiştirmesi, duyusal çatışmayı hızla artırmaktadır (Caserman vd., 2021). Bu nedenle yumuşak geçişler, sabit hızlanma ve yavaşlama eğrileri ve doğrusal yerine daha doğal eğrisel hız profilleri tercih edilmelidir. Optik akışın kontrol edilmesi de semptomları azaltmak için önemli bir stratejidir. Yüksek hız simülasyonları veya güçlü optik akış içeren sahneler siber hastalık riskini artırdığından hareket hızının sınırlanması, görsel karmaşıklığın azaltılması ve sahne içi hareketlerin yumuşatılması önerilmektedir (Stanney vd., 2021). Sabit referans çerçevelerinin kullanılması özellikle kokpit çerçevesi ve ufuk çizgisi gibi kararlı görsel referansların eklenmesi kullanıcının mekânsal konumunu daha iyi algılamasına yardımcı olur ve dengesizliği azaltır (Caserman vd., 2021). Baş ve vücut hareket uyumunun artırılması ise kullanıcıların fiziksel hareketleriyle sanal hareketlerinin birebir eşleşmesini sağlayarak sensör-motor çatışmasını azaltan etkili bir stratejidir (Kim vd., 2005).

7.3. Kullanıcı Adaptasyonuna Dayalı Stratejiler

Adaptasyon temelli stratejiler kullanıcının vestibüler sistemi ile görsel uyaranlar arasında yeni bir denge kurmayı amaçlayan maruziyet temelli yaklaşımları içerir. Kısa seanslar ve düzenli mola aralıkları özellikle sanal gerçekliğe yeni başlayan kullanıcılar için en etkili çözümlerden biridir. Başlangıçta 5–10 dakikalık kısa seanslar ve her seans arasında 2–5 dakikalık molalar verilmesi vestibüler adaptasyonu kolaylaştırmaktadır (Stanney vd., 2003). Kademeli zorluk artırımı yani alışma yöntemi düşük yoğunluklu görevlerden başlanarak zamanla görsel hızın, daldırma derecesinin, görev zorluğunun ve optik akış miktarının artırılmasını içerir (Richlan vd., 2023). Bu süreç beyindeki beklenti girdi uyumsuzluğunu azaltarak duyusal çatışmanın daha hafif hissedilmesini sağlar (Bos vd., 2008). Kullanıcı ön bilgilendirmesi ise semptomlara dair farkındalığı artırarak kaygıyı azaltmakta ve semptom eşiğinin yükselmesine katkıda bulunmaktadır (Stanney vd., 2020).

7.4. Biyolojik ve Davranışsal Stratejiler

Fiziksel hazırlık ve temel biyolojik önlemler, sanal gerçeklik deneyimi sırasında yaşanan bulantı ve baş dönmesi gibi belirtileri azaltabilmektedir. Ağır yemeklerden kaçınmak, yeterli sıvı tüketmek, uygun uyku düzeni ve doğru ortam sıcaklığı gibi basit düzenlemeler hareket hastalığı riskini

düşürmektedir (Lackner, 2015). Sanal gerçeklik sırasında ani baş dönüşlerinden kaçınmak, gözleri sabit bir referans noktasına odaklamak ve görsel açıdan yoğun sahnelerde çevresel tarama hızını yavaşlatmak da semptomların azalmasına yardımcı olur (Richlan vd., 2023). Vestibüler egzersizler ise vestibüler adaptasyonu destekleyen önemli bir yaklaşımdır ve özellikle sporcularda bu tür egzersizler hızlı alışma sağlayabilmektedir (Litleskare, 2021).

7.5. İleri Düzey Çözümler: 360 Derece Hareket Simülatörleri

NOVA Ball gibi 360 derece hareket simülatörleri, sanal hareketle fiziksel vestibüler geri bildirimi eşleştirerek duyusal çatışmayı doğrudan azaltmayı hedefleyen ileri düzey çözümlerdir. Bu cihazlar gerçek dönüş hareketleri, yerçekimi yönelim hissi ve ivme duyusunu sanal ortamla entegre ederek daha doğal bir sensör-motor deneyimi sunmaktadır (Eight360, 2025; Travaglini vd., 2021). Her ne kadar bu teknolojiler spor bilimleri literatüründe sınırlı sayıda çalışmayla temsil edilse de görsel–vestibüler uyumsuzluğu azaltma potansiyelleri oldukça yüksektir.

8. Bölüm Özeti ve Değerlendirme

Sanal gerçeklik teknolojileri, etkileşimli simülasyonlar yoluyla kullanıcı deneyiminde devrim yaratarak eğitim, rehabilitasyon, spor bilimleri ve eğlence gibi birçok alanda güçlü bir araç hâline gelmiştir. Bununla birlikte bu teknolojilerin dikkatle değerlendirilmesi gereken önemli bir sınırlılığı bulunmaktadır: *hareket hastalığı ve siber hastalık*. Bu kitap bölümünde ele alınan kavramlar duyusal çatışma mekanizmaları, semptomatoloji, bireysel duyarlılık ve değerlendirme araçları sanal gerçeklik kullanımının insan fizyolojisi üzerindeki karmaşık etkilerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır.

Hareket hastalığının temel mekanizması olan duyusal çatışma, sanal gerçeklik bağlamında özellikle görsel–vestibüler uyumsuzluk üzerinden tetiklenmektedir (Reason ve Brand, 1975; Oman, 1982; Bos vd., 2008). Kullanıcı sanal ortamda hareket ederken fiziksel olarak hareketsiz olduğunda beyin bu çelişkili bilgiyi çözmekte zorlanmakta ve bunun sonucunda bulantı, baş dönmesi, göz yorgunluğu, dezoryantasyon ve dengesizlik gibi semptomlar ortaya çıkmaktadır (Kennedy vd., 1993; Stanney vd., 2021). Siber hastalığın değerlendirilmesi için standartlaştırılmış ölçeklerin geliştirilmiş olması sanal gerçeklik çalışmalarında nicel ve karşılaştırmalı değerlendirme yapmayı olanaklı kılmaktadır (Gianaros vd., 2001; Guerrero vd., 2013; Yildirim, 2020). Bu ölçekler sanal gerçeklik maruziyetinin etkilerini sistematik biçimde kaydetmek, kullanıcı güvenliğini sağlamak ve uygulama modellerini iyileştirmek açısından kritik rol oynamaktadır. Bireysel duyarlılık faktörleri yaş, cinsiyet, vestibüler sağlık, önceki sanal gerçeklik deneyimi ve hareket hastalığı geçmişi semptom riskinde önemli farklılıklar yaratmaktadır (Stanney vd., 2003; Richlan vd., 2023). Bunun

yanında sistemin teknik parametreleri (yenileme hızı, gecikme, görüş alanı, çözünürlük) ve sanal ortam tasarımı (optik akış yoğunluğu, referans çerçeveleri, kamera hareketi) da semptomların şiddetini doğrudan etkilemektedir (Caserman vd., 2021; Oh ve Son, 2022). Hareket hastalığının azaltılmasına yönelik modern stratejiler, donanımsal iyileştirmeleri, yazılım optimizasyonlarını, kullanıcı adaptasyon protokollerini ve biyolojik-davranışsal yöntemleri içeren çok boyutlu bir yapı sunmaktadır (Stanney vd., 2003; Richlan vd., 2023). Gelişmiş sistemlerde kullanılan 360 derece hareket simülatörleri gibi teknolojiler ise görsel ve vestibüler bilgiyi daha uyumlu hâle getirerek siber hastalığı azaltmada yeni bir dönemin habercisi olarak görülmektedir (Eight360, 2024; Travaglini vd., 2021).

Bu kapsamlı değerlendirme göstermektedir ki sanal gerçeklik teknolojilerinin sunduğu olağanüstü potansiyeli tam kapasiteyle kullanabilmek için insan fizyolojisi, sensör-motor entegrasyon ve algısal süreçlerle ilgili derin bir anlayış gereklidir. Araştırmacılar, tasarımcılar ve uygulayıcılar kullanıcı güvenliğini önceleyen, duyusal uyumsuzluğu minimize eden ve kişiselleştirilmiş adaptasyon protokollerine dayanan sanal gerçeklik deneyimlerini geliştirmek için disiplinler arası bir bakış açısına ihtiyaç duymaktadır.

Siber hastalık sanal gerçeklik alanının doğal bir sınırlılığı olmakla birlikte doğru donanım, uygun yazılım tasarımı ve planlı kullanıcı adaptasyonu ile yönetilebilir bir olgudur. Bu bölüm sanal gerçeklik teknolojilerinin daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir biçimde kullanımına yönelik bilimsel bir temel sağlayarak sonraki bölümde ele alınacak uygulamalara zemin hazırlamaktadır.

REFERANSLAR

Ames, S. L., Wolffsohn, J. S., ve McBrien, N. A. (2005). The development of a symptom questionnaire for assessing virtual reality viewing using a head-mounted display. Optometry and Vision Science, 82. https://doi.org/10.1097/01.opx.0000156307.95086.6

Bles, W., Bos, J. E., De Graaf, B., Groen, E., ve Wertheim, A. H. (1998). Motion sickness: Only one provocative conflict? Brain Research Bulletin, 47, 481–487.

Bos, J. E., Bles, W., ve Groen, E. L. (2008). A theory on visually induced motion sickness. Displays, 29, 47–57.

Cano-de-la-Cuerda, R., ve Ortiz Gutiérrez, R. (2017). Nuevas tecnologías y control motor: robótica, realidad virtual y videojuegos. In R. Cano-de-la-Cuerda, R. Martínez Piédrola, & J. C. Miangolarra Page (Eds.), Control y aprendizaje motor (pp. 197–209). Médica Panamericana.

Caserman, P., Garcia-Agundez, A., Gámez Zerban, A., ve Göbel, S. (2021). Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: Systematic review and outlook. Virtual Reality. https://doi.org/10.1007/s10055-021-00513-6

Cortés Trujillo, J., ve Murcia Rodríguez, J. (2020). Temáticas y debates sobre realidad virtual. In J. Cortés Trujillo & J. Murcia Rodríguez (Eds.), Realidad virtual en los procesos de enseñanza en la educación superior (pp. 13–40). Uniminuto.

Eight360. (2025, December 15). NOVA untethered motion simulator. https://www.eight360.com/

Gallagher, M., ve Ferrè, E. R. (2018). Cybersickness: A multisensory integration perspective. Multisensory Research, 31, 645–674. https://doi.org/10.1163/22134808-20181293

Gianaros, P. J., Muth, E. R., Mordkoff, J. T., Levine, M.E., ve Stern, R.M. (2001). A questionnaire for the assessment of the multiple dimensions of motion sickness. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 72, 115–119.

Guerrero Cuevas, B., & Aguayo, L. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. Revista Internacional de Psicología y Terapia Psicológica, 13, 163–178.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., ve Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203–220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3

Kennedy, R. S., Stanney, K. M., ve Dunlap, W. P. (2000). Duration and exposure to virtual environments: Sickness curves during and across sessions. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 9(5), 463–472. https://doi.org/10.1162/105474600566952

Kim, Y. Y., Kim, H. J., Kim, E. N., Ko, H. D., ve Kim, H. Y. (2005). Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. Psychophysiology, 42, 616–625.

Lackner, J. R. (2014). Motion sickness: More than nausea and vomiting. Experimental Brain Research, 232, 2493–2510. https://doi.org/10.1007/s00221-014-4008-8

Lewkowicz, R. (2019). Modeling motion sickness. Polish Journal of Aviation, Bioengineering and Psychology, 22, 32–42.

Litleskare, S. (2021). The relationship between postural stability and cybersickness: It's complicated. Physiology & Behavior, 236, 113422. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113422

López Sánchez, J., ve Quintero, I. (2012). Robótica aplicada y realidad virtual. In R. Cano-de-la-Cuerda & S. Collado Vázquez (Eds.), Neurorrehabilitación: Métodos específicos de valoración y tratamiento (pp. 449–458). Médica Panamericana.

Munafo, J., Diedrick, M., ve Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. Experimental Brain Research, 235, 889–901. https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7

Oh, H., ve Son, W. (2022). Cybersickness and its severity arising from virtual reality content: A comprehensive study. Sensors, 22(4), 1314.

Oman, C. M. (1982). A heuristic mathematical model for dynamics of sensory conflict and motion sickness. Acta Oto-Laryngologica, 94(suppl. 392).

Ortiz Gutiérrez, R., Bermejo Franco, A., ve Cano-de-la-Cuerda, R. (2018). Realidad virtual y videojuegos. In R. Cano-de-la-Cuerda (Ed.), Nuevas tecnologías en Neurorrehabilitación: Aplicaciones diagnósticas y terapéuticas (pp. 91–107). Médica Panamericana.

Park, S., ve Lee, G. (2020). Full-immersion virtual reality: Adverse effects related to static balance. Neuroscience Letters, 733, 134974. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134974

Polonio López, B. (2016). Modelos y marcos de referencia utilizados frecuentemente en disfunciones físicas. In B. Polonio López (Ed.), Terapia Ocupacional en Disfunciones Físicas: Teoría y Práctica (2nd ed., pp. 1–62). Médica Panamericana.

Reason, J. T., ve Brand, J. J. (1975). Motion sickness. Oxford: Academic Press.

Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. Virtual Reality, 20, 101–125.

Richlan, F., Weiß, M., Kastner, P., ve Braid, J. (2023). Virtual training, real effects: A narrative review on sports performance enhancement through interventions in virtual reality. Frontiers in Psychology, 14, 1240790. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1240790

Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1535), 3549–3557. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138

Slater, M., ve Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. Presence: Teleoperators and virtual environments, 6(6), 603-616.

Stanney, K. (1995). Realizing the full potential of virtual reality: Human factors issues that could stand in the way. Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium. https://doi.org/10.1109/VRAIS.1995.512476

Stanney, K., Lawson, B. D., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., Stoffregen, T., Weech, S., ve Fulvio, J. M. (2020). Identifying causes of and solutions for cybersickness in immersive technology: Reformulation of a research and development agenda. International Journal of Human–Computer Interaction, 36(17), 1783–1803. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1828535

Stanney, K., Lawson, B. D., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., Stoffregen, T., Weech, S., ve Fulvio, J. M. (2021). Identifying causes of and solutions for cybersickness in immersive technology: Reformulation of a research and development agenda: Correction. International Journal of Human–Computer Interaction, 37(11), 1088. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1865601

Travaglini, A., Papageorgiou, A., Brand, E., ve Christ, O. (2022). Influence of input devices on VR sickness: Effect of subtle stimulation of the sense of balance on the sensory discrepancy. In T. Ahram & R. Taiar (Eds.), Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V (pp. 774–780). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85540-6_98

Witmer, B. G., ve Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. Presence, 7(3), 225-240.

Yildirim, C. (2020). Don't make me sick: Investigating the incidence of cybersickness in commercial virtual reality headsets. Journal of Virtual Reality and Broadcasting, 24, 231–239. https://doi.org/10.1007/s10055-019-00401-0

Spor Bilimlerinde Sanal Gerçeklik: Performans Algısal ve Bilişsel Beceriler

Yağmur KOCAOĞLU[1]

1- Doç. Dr. Yağmur KOCAOĞLU; Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi. Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü. yagmur.kocaoglu@mku.edu.tr ORCID: 0000-0001-6811-4205

GİRİŞ

Sanal gerçeklik teknolojileri son yıllarda spor bilimlerinde hem araştırma hem de uygulama açısından büyük bir dönüşüm yaratmıştır. Spor performansının motor, bilişsel ve algısal bileşenlerini doğrudan hedefleyebilen sanal ortamlar; sporcu eğitimi, performans değerlendirme, karar verme, teknik analiz ve riskli durumların güvenli biçimde simülasyonu gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır (Cotterill, 2018; Schack vd., 2020; Gray, 2019).

Spor ortamları yüksek belirsizlik, hızlı karar verme gereksinimi, dikkat yönetimi, görsel tarama ve stratejik düşünme gibi karmaşık süreçler içerir. Sanal gerçeklik teknolojileri bu karmaşık süreçleri kontrollü, tekrar edilebilir ve değişken manipülasyonuna açık biçimde yeniden üretme kapasitesine sahiptir (Miles vd., 2012; Wood vd., 2021). Bu yönüyle sanal gerçeklik geleneksel antrenman yöntemlerinin tamamlayıcısı olmakta hatta bazı bağlamlarda daha güvenli, ekonomik ve ölçeklenebilir alternatifler sunmaktadır (Bailenson, 2018; Greengard, 2019). Ancak spor bağlamında sanal gerçeklik kullanımının karşı karşıya kaldığı en büyük sınırlılıklardan biri hareket hastalığı (motion sickness) ve siber hastalık (cybersickness) riskidir. Kullanıcıların bulantı, baş dönmesi, göz yorgunluğu ve denge kaybı gibi semptomlar yaşaması; performans, motivasyon ve antrenman devamlılığını olumsuz etkileyebilir (Richlan vd., 2023; Park ve Lee, 2020).

Bu bölümde sanal gerçeklik ve spor bilimleri ilişkisi kapsamlı biçimde ele alınarak şu sorulara yanıt aranacaktır:

- Sanal gerçeklik spor performansını nasıl etkiler?
- Algısal-bilişsel beceriler sanal gerçeklik ortamında geliştirilebilir mi?
- Elit ve acemi sporcular sanal gerçeklik ortamında nasıl farklılaşır?
- Farklı spor branşlarında sanal gerçeklik uygulamalarının sonuçları nelerdir?
- Sanal gerçeklik egzersiz uygulamalarında motivasyon nasıl değişir?
- Spor bağlamında hareket hastalığı nasıl ortaya çıkar ve nasıl yönetilir?

Bu bölümde kullanılan tüm bilgiler önceki bölümde ortaya konulan fizyolojik temellerle ilişkilendirilerek spor odaklı bir bakış açısıyla yeniden yapılandırılmaktadır.

2. SANAL GERÇEKLİK VE SPOR BİLİMLERİ ARASINDAKİ TEMEL İLİŞKİ

Sanal gerçeklik spor bilimlerinde üç ana kategori altında işlev görmektedir:

- Motor becerilerin geliştirilmesi,
- Algısal-bilişsel becerilerin eğitimi,
- Stratejik ve taktiksel karar verme süreçlerinin desteklenmesi.

Bu işlevlerin her biri sanal gerçeklik ortamının kontrollü, tekrarlanabilir ve ölçülebilir doğasıyla güçlenmektedir (Gray, 2017; Pagé vd., 2019; Kittel vd., 2020). Spor performansının önemli bir kısmı görsel tarama, dikkat yöneltme, öngörü ve tepki süresi gibi algısal-bilişsel süreçlere bağlıdır (Gray, 2017). Sanal gerçeklik sporcuların bu süreçlerini sistematik şekilde eğitmek için duyusal ipuçlarını kontrollü biçimde sunabilir (Pagé vd., 2019). Motor becerilerin sanal gerçeklik aracılığıyla geliştirilebileceğini gösteren birçok çalışma vardır. Örneğin:

- Golf pat vuruşunda sanal gerçeklik temelli manipülasyonların performansı artırdığı gözlenmiştir (Godse vd., 2019).
- Boks simülasyonlarında tahmin ve tepki sürelerinin sanal gerçeklik eğitiminden sonra iyileştiği bildirilmiştir (Taupin vd., 2023).
- Futbolda kafa vuruşu ve savunma pozisyonlanması gibi yüksek riskli hareketler sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanımıyla güvenli biçimde öğretilebilir (Wood vd., 2021).

Sanal gerçekliğin motor beceri gelişiminde etkili olması özellikle karmaşık hareketlerin yüksek tekrar gerektirdiği spor branşlarında önemlidir. Sanal gerçeklik sporcuların algısal-bilişsel becerilerini geliştirmede yüksek potansiyel sunmaktadır:

- Basketbolda çevresel tarama ve karar verme gelişmiştir (Pagé vd., 2019).
- Futbolda pas opsiyonlarını tarama hızının arttığı gözlenmiştir (Kittel vd., 2020).
- Hokey gibi yüksek hızlı sporlarda uzman sporcular sanal gerçeklikte daha etkili bilişsel stratejiler göstermiştir (Polikanova vd., 2021).

Bu çalışmalar sanal gerçekliğin beynin üst düzey süreçlerini eğitebilecek kadar gerçekçi bir simülasyon sunabildiğini göstermektedir.

2.1. Sanal Gerçek Uygulamalarının Avantajları ve Sınırlılıkları

Avantajlar

- ☑ Tekrarlanabilirlik: Aynı senaryo defalarca çalışılabilir.
- ☑ Maliyet-etkinlik: Gerçek ortamda pahalı olan bazı kurgular sanal gerçeklikte çok daha düşük maliyetlidir.
- ☑ Veri toplama: Hareket, hız, davranış, bakış yönü gibi parametreler kolaylıkla kaydedilebilir.
- ☑ Güvenlik: Riskli durumlar simüle edilebilir.

Sınırlılıklar

- ☒ Gerçekçi olmayan fizik motorları,
- ☒ Hareket hissinin fiziksel karşılığının olmaması,
- ☒ Siber hastalık riskleri,
- ☒ Bazı branşlarda tam transfer zorlukları sanal gerçekliğin etkinliğini sınırlamaktadır (Stanney vd., 2021; Richlan vd., 2023).

3. MOTOR VE ALGISAL-BİLİŞSEL BECERİLERİN GELİŞTİRİLMESİNDE SANAL GERÇEKLİK

Spor performansı yalnızca fiziksel kapasiteye bağlı değildir; algısal-bilişsel süreçler, karar verme mekanizmaları, durum farkındalığı ve görsel tarama davranışları da yüksek performansın belirleyici bileşenleri arasındadır (Gray, 2017; Pagé vd., 2019; Kittel vd, 2020). Sanal gerçeklik bu bileşenleri kontrollü bir çevrede eğitme potansiyeli sayesinde spor bilimlerinde yeni bir çığır açmıştır. Bu başlık altında sanal gerçekliğin motor beceriler ve algısal-bilişsel süreçlere etkisi çok yönlü olarak ele alınmaktadır.

3.1. Motor Becerilerin Eğitimi

3.1.1. Motor Becerilerin Tekrarlanabilirliği ve Öğrenme Transferi

Gerçek spor ortamlarında motor becerilerin tekrarı sınırlayıcı unsurlara bağlı olabilir. Örneğin; saha erişimi, hava durumu, risk faktörleri, rakip davranışının belirsizliği gibi değişkenler antrenmanların standardize edilmesini zorlaştırır (Miles vd., 2012).

Sanal gerçeklik ortamlarında ise:

- Aynı hareket dizisi defalarca tekrarlanabilir,
- Zorluk derecesi aşamalı olarak ayarlanabilir,
- Performans anında ölçülebilir,
- Yanlış motor çıktılar anında geri bildirime dönüştürülebilir (Wood vd., 2021). Bu nedenle sanal gerçeklik; teknik becerilerin, pozisyon alma davranışlarının ve hareket stratejilerinin güvenli ve tekrarlanabilir biçimde geliştirilmesini sağlar.

3.1.2. Sanal Gerçekliğin Motor Performans Üzerindeki Kanıtları

Araştırmalar sanal gerçeklik ortamında uygulanan motor antrenmanın çeşitli spor branşlarında performansı pozitif yönde etkilediğini göstermektedir.

- **Golf:** Manipüle edilmiş delik boyutu ve top boyutu kullanılan sanal gerçeklik vuruş eğitiminde katılımcılar gerçek dünyada daha yüksek isabet oranlarına ulaşmıştır (Godse vd., 2019).
- **Boks:** Sanal gerçeklik ile yapılan çalışmalarda reaksiyon süresi, öngörü becerisi ve bakış davranışlarında anlamlı gelişmeler görülmektedir (Taupin vd., 2023).

- **Futbol:** Kafa vuruşu, dripling, pas kararı gibi yüksek riskli veya karmaşık beceriler sanal gerçeklikte güvenli ve etkili şekilde öğretilebilmektedir (Wood vd., 2021).

Bu bulgular sanal gerçekliğin yalnızca bilişsel değil doğrudan motor beceri öğreniminde de etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

3.2. Algısal-Bilişsel Becerilerin Eğitimi

Spor bilimlerinde görsel tarama, dikkat yönetimi, öngörü ve karar verme gibi algısal-bilişsel beceriler kritik öneme sahiptir. Sanal gerçeklik sporcuya gerçekçi görsel ipuçlarını kontrollü biçimde sunarak bu süreçleri etkin şekilde eğitilebilmesine imkan tanımaktadır (Gray, 2019; Pagé vd, 2019).

- **Görsel Tarama Davranışlarının Geliştirilmesi:** Görsel tarama, sporcunun çevredeki bilgiyi etkili biçimde algılamasını sağlayan temel bilişsel süreçtir. Sanal gerçeklikte:
  - Rakip pozisyonlanması,
  - Topun hareketi,
  - Oyun akışındaki değişkenler,
  - Alan boşlukları

  kontrollü biçimde manipüle edilebilir (Kittel vd., 2020). Bu durum özellikle futbol, basketbol ve hokey gibi hızlı karar vermenin kritik olduğu branşlarda değerli bir eğitim sağlar.
- **Karar Verme Süreçlerinin Eğitimi:** Takım sporlarında doğru karar verme, saniyenin küçük bir diliminde gerçekleşir. Sanal gerçeklik simülasyonları:
  - Rakip baskısıyla karşı karşıya kalma,
  - Zaman baskısı altında pas seçimi,
  - Değişen oyun dinamiklerine uyum gibi durumları gerçekçi şekilde sunabilir (Pagé vd., 2019). Bu nedenle sanal gerçeklik sporcuların karar verme hızını ve doğruluğunu geliştirmek için etkili bir araçtır.
- **Tahmin (Öngörü) ve Tepki Süresi:** Tahmin becerisi özellikle rakip hareketini okuma gerektiren sporlarda önemlidir.
  - Boksörler rakiplerinin omuz, kalça ve ayak ipuçlarını sanal gerçeklik ortamında tekrar tekrar analiz edebilir (Taupin vd., 2023).
  - Kaleciler penaltı atışlarında topun geliş açısını ve rakibin hareket öncesi ipuçlarını sanal gerçeklikte güvenli şekilde inceleyebilir (Dessing ve Craig, 2010). Bu tür çalışmalar sanal gerçekliğin beynin zamanlama ve tahmin etme sistemlerini eğittiğini göstermektedir.

4. ELİT VE AMATÖR SPORCU AYRIMI: SANAL GERÇEKLİK PERFORMANSI

Sanal gerçeklik araştırmalarında öne çıkan temel bulgulardan biri elit sporcuların sanal gerçeklik ortamlarında da amatör sporculardan anlamlı biçimde daha yüksek performans göstermesidir (Gray, 2019; Harris vd., 2020). Bu durum sanal gerçeklik senaryolarının spora özgü bilişsel ve motor becerileri yeterli düzeyde temsil ettiğini ve uzmanlık düzeyinin dijital ortama başarıyla yansıyabildiğini göstermesi bakımından önemlidir.

Nitekim Dessing ve Craig (2010), ulusal düzeydeki elit bir kalecinin sanal gerçeklikteki serbest vuruş yakalama görevinde de en başarılı performansı sergilediğini ortaya koyarak sanal gerçekliğin gerçek spor uzmanlığını yansıtabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde REZZIL® sanal gerçeklik yazılımı üzerine yapılan çalışmada profesyonel futbolcuların en yüksek, akademi oyuncularının orta ve acemi sporcuların en düşük başarıyı gösterdiği hiyerarşik performans sıralaması elde edilmiştir (Wood vd., 2021). Bu bulgular sanal gerçekliğin yetenek seçimi, performans profilleme ve elit sporcu davranışlarının analizi açısından kullanılabileceğini desteklemektedir.

Öğrenme transferi açısından bakıldığında sanal gerçeklikte kazanılan becerilerin gerçek dünyaya aktarımı spor bilimleri açısından kritik öneme sahiptir. Araştırmalar sanal gerçeklik senaryolarının gerçek dünyadaki kritik algısal ipuçlarını doğru modellediği durumlarda transferin yüksek olduğunu göstermektedir (Kim vd., 2019). Görsel tarama, karar verme, öngörü geliştirme, pozisyon alma ve taktiksel farkındalık gibi algısal-bilişsel beceriler sanal gerçeklikten gerçek dünyaya güçlü biçimde aktarılırken motor becerilerin transfer düzeyi fiziksel gerçeklik ve dokunsal geri bildirimin kalitesine bağlıdır. Golf ve tenis gibi fiziksel hissiyatın kritik olduğu sporlarda motor transferin tam gerçekleşebilmesi için gelişmiş dokunsal geri bildirim sistemleri gerekmektedir (Miles vd., 2012).

Bu kapsamda sanal gerçeklik uygulamaları hem elit sporcuların performans düzeylerini ortaya koyabilen hem de beceri gelişimi ile öğrenme transferini destekleyen güçlü bir eğitim ve değerlendirme aracı olarak spor bilimlerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır.

5.1. Spor Branşlarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları

→ **Futbol:** Futbol yüksek karar verme hızı ve çevresel farkındalık gerektiren bir takım sporudur. Bu nedenle sanal gerçeklik futbol antrenmanı için özellikle uygundur. Fortes vd. (2021), sürükleyici sanal gerçeklik temelli eğitim programının futbol oyuncularında:

- Engelleyici kontrol,
- Karar verme,
- Görsel arama davranışı gibi bilişsel becerilerde anlamlı gelişmeler sağladığını göstermiştir.

Ayrıca REZZIL® yazılımı üzerinden yapılan çalışmalarda profesyonel futbolcuların sanal gerçeklik ortamında:

- Daha hızlı karar verdiği,
- Daha iyi pozisyon aldığı,
- Daha etkili top takip stratejileri geliştirdiği gösterilmiştir. Sanal gerçeklik yüksek riskli motor becerilerin güvenli biçimde öğretilmesini sağlar. Örneğin; kafa vuruşu gibi tehlike riski barındıran hareketler sanal gerçeklik ortamında sakatlanma riski olmadan tekrar edilebilir (Wood vd., 2021).

→ **Golf:** Golf pat vuruşu üzerine yapılan sanal gerçeklik çalışmalarında manipüle edilmiş görsel parametrelerin motor öğrenmeyi kolaylaştırdığı gösterilmiştir.

Godse vd. (2019):

- Sanal gerçeklik platformunda delik çapını büyütmüş,
- Top boyutunu artırmış ve bu manipülasyonların golfçülerin gerçeğe yönelik performansını artırdığını göstermiştir. Manipülatif sanal antrenman eğitim grubu, geleneksel eğitim alan gruba kıyasla daha yüksek tutarlılık ve isabet oranı sergilemiştir. Bu bulgu sanal gerçekliğin motor öğrenmeye ilişkin parametreleri stratejik biçimde manipüle ederek transferi güçlendirebileceğini göstermektedir.

→ **Boks ve Karate:** Dövüş sporlarında hızlı tahmin, reaksiyon zamanı ve doğru pozisyon alma kritik öneme sahiptir. Sanal gerçeklik bu alanlarda güvenli ve etkili antrenman olanakları sunar.

Zhang (2024), dövüş sanatlarında sanal gerçeklik kullanımını incelemiş ve hareket yakalama teknolojisi sayesinde öğrencilerin:

- Tekniklerini 3B ortamda inceleyebildiğini,
- Hareket hatalarının gerçek zamanlı olarak düzeltilebildiğini ortaya koymuştur.

Taupin vd. (2023) sanal gerçeklik boks antrenmanlarının:

- Öngörü,
- Karar verme,
- Bakış davranışı,
- Kalp atım değişkenliği gibi hem bilişsel hem fizyolojik göstergeleri geliştirdiğini göstermiştir. Sanal gerçeklik temelli boks antrenmanında sporcular rakiplerinin hareket ipuçlarını daha erken sezebilmiş ve tepki sürelerinde belirgin iyileşme elde edilmiştir.

→ **Buz Hokeyi:** Bu spor hız, çeviklik, karar verme ve mekânsal-zamansal farkındalığın ön planda olduğu karmaşık bir spordur. Polikanova vd. (2021), profesyonel ve acemi buz hokeyi oyuncularının sanal gerçeklik ortamındaki motor tepkilerini karşılaştırmıştır. Bulgular:

- Profesyonel oyuncuların teknik becerilerde,
- Taktiksel farkındalıkta,
- Görsel tarama ve pozisyon almada amatör oyunculardan belirgin biçimde üstün olduklarını göstermiştir. Bu çalışma sanal gerçekliğin

branşa özgü performans bileşenlerini başarılı şekilde temsil edebildiğini ve elit sporcuların uzmanlık düzeyini ayırt edebildiğini ortaya koymaktadır.

→ **Bisiklet ve Dayanıklılık Sporları:** Sürükleyici sanal gerçeklik ortamlarında bisiklet antrenmanı yapan bireylerin motivasyon ve performans düzeylerinde artış gözlenmiştir. IJsselsteijn vd. (2004):
- Daha sürükleyici bakış açısının,
- Daha yüksek hız ve devamlılığa yol açtığını ancak aynı zamanda bazı katılımcılarda fiziksel rahatsızlığı artırabildiğini göstermiştir. Bu da yüksek daldırma düzeyi ile siber hastalık arasındaki dengenin spor performansında kritik olduğunu göstermektedir.

→ **Diğer Branşlar:** Sanal gerçeklik araştırmaları aşağıdaki spor dallarını da kapsamaktadır:
- Bowling
- Dart
- Okçuluk
- Masa tenisi
- Curling
- Bisiklet
- Su topu (Richlan vd., 2023). Bu branşlarda sanal gerçekliğin performansı artırdığına dair kanıtlar artmaktadır ancak motor geri bildirimin sınırlı olması nedeniyle bazı branşlarda fiziksel transfer sınırlı olabilir.

6. SANAL GERÇEKLİK, MOTİVASYON VE EGZERSİZ DENEYİMİ

Sanal gerçeklik teknolojilerinin spor ve egzersiz alanındaki en önemli avantajlarından biri kullanıcı motivasyonunu artırma kapasitesidir. Sanal gerçeklik ortamları geleneksel egzersiz ve antrenman uygulamalarına kıyasla daha sürükleyici, eğlenceli ve sosyal örüntüler sunarak kullanıcıların egzersize katılımını artırabilir (IJsselsteijn vd., 2004; Touloudi vd., 2022).

Bu başlık altında sanal gerçekliğin motivasyon üzerindeki etkisi, egzersiz deneyiminin öznel kalitesi ve sosyal etkileşim unsurları ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

6.1. Sürükleyiciliğin Motivasyon Üzerindeki Etkisi

→ **Sürükleyicilik Düzeyinin Davranışsal Etkileri:** Sanal gerçeklikte yüksek sürükleyicilik (immersion), kullanıcıların daha uzun süre egzersiz yapmasına ve performansa daha fazla odaklanmasına yardımcı olabilir. Bisiklet simülasyonlarında:
- Sürükleyici bir bakış açısının motivasyonu artırdığı,
- Katılımcıların daha yüksek hız ve daha uzun süre pedalladığı görülmüştür **(**IJsselsteijn vd. 2004). Bu bulgu sanal gerçekliğin fiziksel egzersiz sırasında içsel motivasyonu artırabilen bir ortam

yarattığını göstermektedir. Ancak aşırı sürükleyicilik düzeyi özellikle görsel-vestibüler uyumsuzluk yoğun olduğunda siber hastalık semptomlarını artırabilir (Stanney vd., 2021).

Dolayısıyla performansı artıran sürükleyicilik aynı zamanda siber hastalık riskini artırabilir. Bu bölümün 7. kısmında *"performans ve siber hastalık dengesi"* daha derin incelenecektir.

6.2. Sosyal Etkileşim ve Egzersiz Motivasyonu

→ **Sanal Partner Etkisi (Köhler Etkisi):** Video oyunu tabanlı bisiklet egzersizinde sanal bir partnerle birlikte çalışmanın motivasyonu artırdığını göstermiştir. Özellikle:

- Takım puanının grubun en zayıf halkasına göre belirlendiği koşullarda,
- Katılımcılar daha uzun süre egzersize devam etmişlerdir (Irwin vd., 2012).

Bu fenomen Köhler etkisi olarak bilinir. Zayıf birey güçlü partnerle birlikte olduğunda kapasitesini aşan performans sergiler. Sanal gerçeklik ortamlarında sanal takım arkadaşları veya rekabet unsurları bu etkiyi destekleyebilir.

→ **Sosyal Varlık (Social Presence):** Sanal ortamda diğer avatarların ya da takım üyelerinin bulunması motivasyonu artırabilir. Sosyal varlık hissi, kullanıcıların fiziksel olarak yalnız olsalar bile bir topluluğun parçası olduklarını hissetmelerini sağlar (Irwin vd., 2012).

6.3. Sanal Gerçeklik Egzersiz Sistemlerinde Kullanıcı Deneyimi

→ **İş Yerinde Sanal Gerçeklik Egzersizi:** Ofis çalışanları üzerinde yapılan bir çalışmada sanal gerçeklik içeren bir egzersiz sisteminin:

- Yalnızca bisiklet yöntemine göre daha yüksek zevk,
- Daha yüksek kullanım isteği,
- Daha yüksek gelecekte kullanma niyeti yarattığını bildirilmiştir (Touloudi vd., 2022).

Bu sonuç özellikle düşük aktif bireylerde sanal gerçeklik egzersiz davranışını tetikleme potansiyeline dikkat çekmektedir.

→ **Eğlence Odaklı Egzersiz (Exergaming):** Sanal gerçeklik tabanlı egzersiz uygulamaları, eğlence unsurları içerdiğinden yüksek motivasyon sağlamaktadır. Egzersizler geleneksel rutindeki monotonluk yerine:

- Oyunlaştırma,
- Görev tamamlama,
- Geri bildirim grafikler,
- Hikâye temelli koşullar ile desteklendiğinde, kullanıcı deneyimi olumlu yönde değişmektedir (Greengard, 2019).

7. SPOR BAĞLAMINDA SİBER HASTALIK VE PERFORMANS

Sanal gerçeklik teknolojilerinin spor bilimlerinde sunduğu fırsatlar hiç kuşkusuz geniştir ancak aynı teknolojiler özellikle görsel–vestibüler uyumsuzluktan kaynaklanan siber hastalık riski nedeniyle performans üzerinde sınırlayıcı etkilere sahip olabilir. Bu başlık altında siber hastalığın spor performansını nasıl etkilediği, hangi mekanizmalarla ortaya çıktığı ve spor özelinde nasıl yönetilmesi gerektiği ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

Spor bağlamında siber hastalığın ana mekanizması sanal gerçeklik sunduğu görsel hareket hissi ile kullanıcının gerçek fiziksel durumu arasındaki çelişkidir (Reason ve Brand, 1975; Oman, 1982; Bos vd., 2008).

Örneğin:

- Kullanıcı sanal ortamda koşuyor, gerçek hayatta sabit duruyor veya çok az hareket ediyor.
- Kullanıcı hızla dönen bir sanal sahne görüyor, vestibüler sistem bu dönüşü algılamıyor.
- Kullanıcı ileri doğru hareket hissi yaşıyor, proprioseptif geribildirim "hareketsizlik" bildiriyor.

Bu tür uyumsuzluklar kısa süre içinde:

- Bulantı,
- Baş dönmesi,
- Göz yorgunluğu,
- Postüral kontrolde bozulma,
- Konsantrasyon kaybı gibi reaksiyonlara yol açabilir (Kennedy vd., 1993; Stanney vd., 2021).

7.2. Spor Performansına Etkileri

→ **Motor Performans Üzerindeki Olumsuz Etkiler:** Siber hastalık semptomları motor performansı şu yollarla azaltır:

- **Postüral istikrarsızlık:** Denge bozulması, özellikle alt ekstremite odaklı spor görevlerini olumsuz etkiler (Travaglini vd., 2021).
- **Çeviklik kaybı:** Baş dönmesi yaşayan birey hızlı yön değiştirme ve reaksiyon gerektiren görevlerde zorlanır.
- **Zamanlama hataları:** Görsel-vestibüler çelişki, zamanlama temelli hareketlerin doğruluğunu düşürür.
- **Kas gerginliği:** Rahatsızlık hissi kas tonusunda istenmeyen değişikliklere yol açabilir.

Örneğin Park ve Lee (2020), tam sürükleyici bir sanal gerçeklik oyunundan sonra katılımcıların Simülatör Hastalığı Anketi puanlarının yükseldiğini ve statik denge performansının düştüğünü bildirmiştir. Bu sonuç sanal gerçekliğe maruziyetinin akut olarak motor performansı bozabileceğini göstermektedir.

→ **Algısal-Bilişsel Performans Üzerindeki Etkiler:** Siber hastalık deneyimi:

- Dikkati azaltır,
- Konsantrasyonu bozar,
- Karar verme hızını düşürür,
- Görsel tarama kalitesini bozar. Özellikle takım sporlarında bu etkiler kritik hata riskini artırır (Richlan vd., 2023). Algısal-bilişsel süreçlerin siber hastalıktan etkilenmesi sanal gerçekliğin eğitim potansiyelini kısıtlayabilir; bu nedenle sanal gerçeklik antrenmanlarının süre, yoğunluk ve teknik parametreler açısından dikkatle planlanması gerekir.

7.3. Maruziyet Süresi ve Semptom Şiddeti

Araştırmalar, siber hastalığın sanal gerçeklikte genellikle:

- İlk 10–15 dakika içinde ortaya çıktığını (Cobb, 1999),
- Toplam maruziyet arttıkça semptomların şiddetlendiğini (Munafo vd., 2017),
- Kullanıcıların bir kısmının ise düzenli kullanımda alışkanlık geliştirebildiğini (Kennedy vd., 2000) göstermektedir.

Sporcular için bu durum iki açıdan önemlidir:

- Süreç yanlış yönetilirse performans anında düşer.
- Doğru kademeli adaptasyon uygulanırsa semptomlar azalır ve antrenman verimliliği artar. Bu nedenle antrenman protokollerinde süre yönetimi kritik önemdedir.

7.4. Performans ve Siber Hastalık Dengesi

Sanal gerçeklik antrenmanlarında temel hedef:

✓ Performansı artırmak

✓ Motivasyonu yükseltmek

✗ Siber hastalığı tetiklememek şeklinde özetlenebilir.

Performans ve siber hastalık dengesi şöyle sağlanabilir:

- Kısa ve tolere edilebilir seanslarla başlama (Stanney vd., 2003).
- Sürükleyicilik düzeyini kontrollü artırma.
- Stabil görsel referanslar kullanma (Caserman vd., 2021).
- Teknik parametreleri optimize etme (Oh ve Son, 2022).
- Kullanıcı duyarlılığına göre kişisel protokol belirleme (Richlan vd., 2023). Bu stratejiler sanal gerçeklik antrenmanlarının spor performansını geliştirirken güvenlik açısından risk oluşturmamasını sağlayabilir.

7.6. Uygulayıcılar İçin Pratik Öneriler

Spor antrenörleri, fizyoterapistler ve performans analistleri için öneriler:

- ☑ Sanal gerçeklik seansları maksimum 8–12 dakika ile başlamalı.
- ☑ İlk 3–4 seans adaptasyon seansı olarak planlanmalı.
- ☑ Elit sporcularda bilişsel yük daha yüksek olduğundan sürükleyicilik aşamalı artırılmalı.

- ☑ Sanal gerçeklik sonrası denge testleri yapılmalı (özellikle denge gerektiren branşlarda).
- ☑ Zorlayıcı maç analizleri yerine önce temel bilişsel senaryolar kullanılmalı.
- ☑ Göz yorgunluğunu azaltmak için seans aralarında en az 3–5 dakika mola verilmeli.

Bu protokoller spor ortamında siber hastalığın etkili biçimde yönetilmesine yardımcı olmaktadır.

8. BÖLÜM ÖZETİ VE DEĞERLENDİRME

Sanal gerçeklik teknolojileri spor bilimlerinde eğitim, performans geliştirme, motivasyon artırma ve algısal-bilişsel becerilerin iyileştirilmesi açısından son yılların en önemli yenilikçi araçlarından biri hâline gelmiştir. Bu bölüm boyunca sunulan bulgular sanal gerçekliğin spor antrenmanlarına sağladığı avantajların yanı sıra beraberinde getirdiği fizyolojik ve bilişsel sınırlılıkları da kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır.

Spor performansı hem motor becerilerin hem de algısal-bilişsel süreçlerin bütünsel bir ürünüdür. Bu açıdan sanal gerçeklik spora özgü görsel ve işitsel ipuçlarını kontrollü ve tekrarlanabilir bir biçimde sunarak sporcuların karar verme, öngörü, çevresel tarama ve pozisyon alma gibi performans belirleyicisi becerilerini geliştirmede önemli bir potansiyel taşımaktadır (Gray, 2017; Pagé vd., 2019; Kittel vd., 2020). Farklı spor dallarında yürütülen çalışmalar sanal gerçeklik ortamlarının motor beceri gelişimi, algısal-bilişsel süreçler ve stratejik davranışlar üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (Godse vd., 2019; Fortes vd., 2021; Polikanova vd., 2021; Taupin vd., 2023).

Elit sporcuların sanal gerçeklik ortamında da amatör sporculara göre daha iyi performans sergilemesi (Dessing ve Craig, 2010; Gray, 2019; Harris vd., 2020; Wood vd., 2021), sanal gerçeklik simülasyonlarının gerçek spora özgü becerileri temsil etme kapasitesine işaret etmektedir. Bu durum sanal gerçekliğin yalnızca bir antrenman aracı değil aynı zamanda yetenek seçimi, performans profili çıkarımı ve bilişsel değerlendirme amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Sanal gerçekliğin spor alanındaki diğer önemli katkılarından biri de kullanıcılarda motivasyonu artırmasıdır. Sürükleyici ortam tasarımı, oyunlaştırma unsurları ve sosyal etkileşim mekanizmaları sayesinde sanal gerçeklik egzersiz ortamını daha çekici hâle getirmekte ve özellikle düşük aktif bireylerde fiziksel aktiviteye katılımı teşvik etmektedir (IJsselsteijn vd., 2004; Irwin vd., 2012; Touloudi vd., 2022).

Bununla birlikte sanal gerçeklik kullanımının önemli bir sınırlılığı siber hastalık riskidir. Görsel-vestibüler uyumsuzluk nedeniyle ortaya çıkan bulantı, baş dönmesi, göz yorgunluğu, dezoryantasyon ve postüral bozulma gibi semptomlar spor performansını geçici olarak olumsuz etkileyebilir

(Reason ve Brand, 1975; Kennedy vd., 1993; Stanney vd., 2021). Özellikle denge performansı gerektiren spor branşlarında sanal gerçeklik kullanımı sonrası postüral kontrol azalabileceğinden kullanım protokollerinin bilimsel temelli biçimde planlanması gereklidir (Park ve Lee, 2020; Travaglini vd., 2021).

REFERANSLAR

Bailenson, J. (2018). Experience on demand: What virtual reality is, how it works, and what it can do. W. W. Norton & Company.

Bos, J. E., Bles, W., ve Groen, E. L. (2008). A theory on visually induced motion sickness. Displays, 29, 47–57.

Cobb, S. V. G. (1999). Measurement of postural stability before and after immersion in a virtual environment. Applied Ergonomics, 30, 47–57.

Cotterill, S. T. (2018). Virtual reality and sport psychology: Implications for applied practice. Case Studies in Sport and Exercise Psychology, 2, 21–22. https://doi.org/10.1123/cssep.2018-0002

Dessing, J. C., ve Craig, C. M. (2010). Bending it like Beckham: How to visually fool the goalkeeper. PLoS ONE, 5(10), e13161. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013161

Fortes, L. S., Almeida, S. S., Praça, G. M., Nascimento-Júnior, J. R. A., Lima-Junior, D., Barbosa, B. T., ve Ferreira, M. E. (2021). Virtual reality promotes greater improvements than video-stimulation screen on perceptual-cognitive skills in young soccer athletes. Human Movement Science, 79, 102856.

Godse, A., Khadka, R., ve Banic, A. (2019). Evaluation of visual perception manipulation in virtual reality training environments to improve golf performance. In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 1807–1812). https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798026

Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. Frontiers in Psychology, 8, 2183. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02183

Gray, R. (2019). Virtual environments and their role in developing perceptual-cognitive skills in sports. In A. M. Williams & R. Jackson (Eds.), Anticipation and decision making in sport (pp. 342–358). Routledge.

Greengard, S. (2019). Virtual reality. MIT Press.

Harris, D. J., Buckingham, G., Wilson, M. R., Brookes, J., Mushtaq, F., Mon-Williams, M., ve others (2020). The effect of a virtual reality environment on gaze behaviour and motor skill learning. Psychology of Sport and Exercise, 50, 101721. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101721

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., ve Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203–220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3

Kennedy, R. S., Stanney, K. M., ve Dunlap, W. P. (2000). Duration and exposure to virtual environments: Sickness curves during and across sessions. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 9(5), 463–472. https://doi.org/10.1162/105474600566952

Kim, H. G., Lim, H. T., Lee, S., ve Ro, Y. M. (2019). VRSA Net: VR sickness assessment considering exceptional motion for 360° VR video. IEEE Transactions on Image Processing, 28, 1646–1660.

Kittel, A., Larkin, P., Elsworthy, N., Lindsay, R., ve Spittle, M. (2020). Effectiveness of 360° virtual reality and match broadcast video to improve decision-making skill. Science and Medicine in Football. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1754449

Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., ve John, N. W. (2012). A review of virtual environments for training in ball sports. Computers & Graphics, 36(6), 714–726.

Munafo, J., Diedrick, M., ve Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. Experimental Brain Research, 235, 889–901. https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7

Oman, C. M. (1982). A heuristic mathematical model for dynamics of sensory conflict and motion sickness. Acta Oto-Laryngologica, 94(Suppl. 392).

Pagé, C., Bernier, P. M., ve Trempe, M. (2019). Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball. Journal of Sports Sciences, 37, 2403–2410. https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1638193

Park, S., & Lee, G. (2020). Full-immersion virtual reality: Adverse effects related to static balance. Neuroscience Letters, 733, 134974. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134974

Polikanova, I., Yakushina, A., Leonov, S., Kruchinina, A., Chertopolokhov, V., ve Liutsko, L. (2021). Study of differences in motor reactions and performances in professional ice hockey players and not experienced participants using virtual reality (VR) technology. Behavioral Sciences. https://doi.org/10.20944/preprints202103.0776.v1

Reason, J. T., ve Brand, J. J. (1975). Motion sickness. Academic Press.

Richlan, F., Weiß, M., Kastner, P., ve Braid, J. (2023). Virtual training, real effects: A narrative review on sports performance enhancement through interventions in virtual reality. Frontiers in Psychology, 14, 1240790. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1240790

Schack, T., Hagan, J. E. Jr., ve Essig, K. (2020). Coaching with virtual reality, intelligent glasses and neurofeedback: The potential impact of new technologies. International Journal of Sport Psychology, 51, 667–688. https://doi.org/10.7352/IJSP.2020.51.667

Stanney, K., Lawson, B. D., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., Stoffregen, T., Weech, S., ve Fulvio, J. M. (2021). Identifying causes of and solutions for cybersickness in immersive technology: Reformulation of a research and development agenda: Correction. International Journal of Human–Computer Interaction, 37(11), 1088. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1865601

Taupin, M. L., Romeas, T., ve Labbe, D. (2023). Effects of virtual reality training on boxing performance. https://www.researchgate.net/publication/371037631

Touloudi, E., Hassandra, M., Galanis, E., Goudas, M., ve Theodorakis, Y. (2022). Applicability of an immersive virtual reality exercise training system for office workers during working hours. Sports, 10(7). https://doi.org/10.3390/sports10070104

Wood, G., Wright, D. J., Harris, D., Pal, A., Franklin, Z. C., ve Vine, S. J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. Virtual Reality, 25, 43–51. https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x

Zhang, S. (2024). Intelligent physical education: An exploration of virtual reality applications in college martial arts courses. Applied Mathematics, 9(1).

Fitness ve Kuvvetin Güncel Çerçevesi

SERCAN ÖNCEN[1]

1- Doç. Dr.; Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Spor Bilimler Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü. soncen@nku.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6147-2966

ÖZET

Bugün güç ve fiziksel form kavramları, yalnızca kas kütlesi kazanımı veya maksimal performans ile sınırlı olmanın ötesine geçmiş; sağlık, fonksiyonellik, sürdürülebilir performans ve yaşam kalitesi ile bütünleşmiş hale gelmiştir. Güncel bilimsel yaklaşımlar, güç gelişimini nöromusküler uyumlar, metabolik tepkiler ve bireysel farklılıklar gözeterek ele almaktadır.

Bu bütüncül tanıma paralel olarak, antrenman metodolojileri de evrilmiştir. Yalıtılmış hareketler ve yüksek hacme dayanan 20. yüzyıl modellerinden (vücut geliştirme, sabit makine antrenmanları), bireyin güncel ihtiyaçları ve bilimsel bulguları temel alan bütüncül yaklaşımlara dayanan 21. yüzyılın modern trendlerine kayış olmuştur. Bu yeni paradigma, zaman verimliliği (HIIT), fonksiyonel antrenman, kişiselleştirme ve teknoloji entegrasyonu gibi unsurlar etrafında şekillenmektedir.

Güç antrenmanlarının evrimi, DeLorme-Watkins veya Berger gibi klasik programlardan, günümüzün kanıta dayalı modellerine doğru ilerlemektedir. Bunlar arasında en etkili dozu arayan Minimum Etkili Doz (MED), yükü sporcunun günlük durumuna göre ayarlayan otoregülasyon yöntemleri (hız veya algılanan zorluk temelli) ve sürekli uyum için antrenman değişkenlerini sistematik olarak dalgalandıran blok ve dalga periyotlama modelleri yer almaktadır. Bu modeller, sporcunun seviyesi ve hedeflerine göre uygulanmakta ve karşılaştırılmaktadır.

Sonuç olarak, mevcut çerçeve, güç ve fiziksel formu geçici bir uğraş olmaktan çıkararak; bilimsel temellere dayanan, kişiselleştirilmiş, sürdürülebilir sağlık, performans ve yaşam kalitesinin bir bileşenine dönüştürmüştür.

Anahtar Kelimeler – Fitness, Kuvvet, Antrenman, Bütüncül Yaklaşım, Planlama

Fitness ve Kuvvet Antrenmanları

Fitness Kavramının Bilimsel Tanım

Modern tıbbın kurucu babalarından Bergamalı Galen'in "En büyük servet sağlıktır" sözü, fitness kavramının güncel tanımının özünü hâlâ taşır. Galen, yalnızca bir hekim değil, aynı zamanda antik dönemin ilk spor hekimlerindendi. Gladyatörleri tedavi ederken gözlemlediği temel bir gerçek, bugünün biliminin kanıtladığı evrensel bir prensibe dönüşmüştür: Beden ve ruh ayrılmaz bir bütündür ve bu bütünlüğün sağlıklı işleyişi, dengeli bir yaşam tarzı ile mümkündür. Galen'in "dengeli beslenme, düzenli egzersiz ve iyi uyku" üçlüsüne dayanan kuramı, bugün fitness denilen modern disiplinin ilk nüvesini oluşturur ve bize sağlığın, sadece tedavi değil, aktif bir inşa süreci olduğunu öğretir.

Bu kadim bilgelikten beslenen modern performans anlayışı ise, artık sadece rakibi yenmekle sınırlı değildir; kişisel potansiyelin fiziksel ifadesi ve

sürekli gelişim felsefesiyle şekillenir. Bu görüşü en iyi özetleyen isimlerden biri olan NBA efsanesi LeBron James, “Büyüklük, tek bir anın ürünü değil, gün be gün tekrarlanan küçük seçimlerin toplamıdır” diyerek, performansın aslında bir yaşam tarzı ve sürdürülebilir bir disiplin gerektirdiğine işaret eder.

Dünyanın en fit insanlarından biri kabul edilen CrossFit kurucusu Greg Glassman ise bu kavramı daha da genişleterek tanımlar: “Performans, geniş, zamana yayılmış ve farklı modalitelere uyum sağlayabilme kapasitesidir.” Bu tanım, performansı tek bir spora veya beceriye hapsolmaktan kurtarır, onu günlük hayatın fiziksel, zihinsel ve duygusal taleplerine verilen çok yönlü bir yanıt olarak konumlandırır.

Ancak belki de en çarpıcı ve derin tanım, Ultra-maratoncu David Goggins’ten gelir: “Gerçek performans, rahatlık bölgenizin çok ötesinde, 'yapamayacağınızı' düşündüğünüz yerde başlar. Orada, kim olduğunuzu yeniden keşfedersiniz.” Goggins, performansı salt bir fiziksel ölçüt olmaktan çıkarıp, bir varoluş meselesi, kişinin kendi sınırlarını ve hikâyesini yeniden yazma fırsatı olarak sunar.

Ancak, yaşam boyu kuvvetin belki de en sade ve en güçlü tanımı, televizyonun en tanınmış fitness antrenörlerinden Jillian Michaels'ten gelir: "Fitness, 30 günlük bir meydan okuma değildir. Size enerji, güç ve dayanıklılık veren, böylece sevdiğiniz hayatı 95 yaşınıza geldiğinizde torunlarınızla parkta koşuşturabileceğiniz bir hayatı yaşayabilmenizi sağlayan bir yaşam tarzıdır." Bu ifade, fitnessın özünü, yüzeysel estetikten köklü bir şekilde fonksiyonel özgürlüğe kaydırır.

Sağlık için denge, performans için gelişim ve yaşam boyu sağlık için yatırım kağıt üzerinde ne kadar güçlü olursa olsun, ancak fiziksel olarak aktif olma eylemiyle hayat bulur ve anlam kazanır. Galen'in teorik diaita'sı, LeBron'un günlük seçimleri, Goggins'in zihinsel savaşı veya Michaels'in 95 yaş vizyonu, hepsi aynı pratik zeminde buluşacaktır; hareket. Başka bir deyişle, fitness kavramının tüm bu derinliği, "fiziksel olarak aktif olma" eyleminin ne kadar sıklıkla, ne şiddette, ne çeşitlilikte ve ne bilinçle yapıldığına bağlıdır. Bu noktada, kavramsal çerçeveden pratik gerçekliğe geçiş yapmak gerekir. Çünkü modern insanın karşılaştığı temel paradoks şudur: Fitnessın değerine dair farkındalık tarihte hiç bu kadar yüksek olmamışken, fiziksel hareketsizlik (sedanter yaşam) küresel bir salgın halini almıştır. Dünya Sağlık Örgütü, hareketsizliği dünya çapında erken ölümler için dördüncü ana risk faktörü olarak ilan etmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), fiziksel aktiviteyi "isteğe bağlı hareket" olarak tanımlarken, fitness'ı bunun ötesinde kardiyorespiratuvar dayanıklılık, kas kuvveti, esneklik, denge ve vücut kompozisyonu bileşenlerinin optimal seviyede bütünleşmesi şeklinde ele almaktadır. WHO'nun 2020 Fiziksel Aktivite ve Sedanter Davranış Kılavuzları, fitness'ın yalnızca kronik hastalık riskini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda bilişsel fonksiyonları

iyileştirdiğini, mental sağlığı desteklediğini ve yaşam kalitesini artırdığını vurgulamaktadır.

American College of Sports Medicine (ACSM) ise fitness'ı daha operasyonel bir çerçevede tanımlayarak, sağlıkla ilişkili fitness (health-related fitness) ve beceriyle ilişkili fitness (skill-related fitness) bileşenlerine ayırmaktadır. ACSM'nin güncel pozisyon bildirilerinde, fitness'ın statik bir durum değil, hayatın tüm evrelerinde fonksiyonel bağımsızlığı sürdürmeye olanak tanıyan dinamik bir kapasite olduğu üzerinde durulmaktadır.

Fitness'ın Üç Temel Boyutu;

1. Sağlık Boyutu: Temel Öncelik

Fitness'ın güncel tanımında sağlık artık bir yan ürün değil, temel çıkış noktasıdır. WHO verilerine göre, fiziksel hareketsizlik dünya çapında erken ölümlerin %6-10'una neden olmakta ve diyabet, kanser ve kalp-damar hastalıkları için önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır (Who, 2020). Temel öncelik kavramı kardiyovasküler sağlığı optimize eden ve kronik hastalık riskini azaltan bir yaşam tarzı kapasitesini merkeze alır. Dünya Sağlık Örgütü, Amerikan Kalp Birliği, Amerikan Kardiyoloji Koleji ve Amerikan Spor Hekimliği Birliği gibi önde gelen kuruluşların vurguladığı gibi, hareketsiz yaşam ve fiziksel aktivite eksikliği, kardiyovasküler hastalık için en önemli değiştirilebilir risk faktörleri arasındadır (Lavie ve ark.,2015; Wisloff ve ark., 2017). Buna karşın, nüfusun önemli bir kısmı bu risk profiline sahip olmaya devam etmektedir.

2. Performans Boyutu: Fonksiyonel Kapasite

Modern fitness anlayışında performans, artık yalnızca elit sporcular için değil, günlük yaşam aktivitelerini etkin ve güvenli şekilde gerçekleştirme yeteneği olarak kabul edilmektedir. ACSM, performansı güç, dayanıklılık, hız, çeviklik, koordinasyon ve reaksiyon süresi bileşenlerinin bütünleşik ifadesi olarak tanımlamaktadır.

3. Yaşam Boyu Kuvvet (Sürdürülebilirlik Paradigma)

Bu yeni boyut, fitness'ı yaşamın tüm dönemlerine yayılan bir süreç olarak konumlandırmaktadır. Yaşlılık ile birlikte, sarkopeni (kas kaybı) ve osteoporozun önlenmesinde direnç antrenmanlarının kritik önemini olduğu tanımlanmaktadır (Öntan, 2020). “Train, don't strain” (zorlanmadan antrenman yap) prensibiyle yaşam boyu aktivite teşvik edilmeye çalışılmaktadır.

Matematiksel olarak fitnessın üç temel bileşenin bütünleşik etkisi, kişinin genel sağlık durumunu ve fonksiyonel kapasitesini belirleyen çok boyutlu bir sistem oluşturur.

Fiziksel Uygunluğun Çok Boyutlu Yapısı: Bileşenler ve Alt Bileşenler

SAĞLIK BİLEŞENİ *(Temel Sağlığı Koruma)*	**S = (KR + M + Kİ)**	**KR**: Kardiyorespiratuvar Sağlık **M:** Metabolik Sağlık **Kİ**: Kas-İskelet Sağlığı	Hastalık riskinin azaltılması, vücut sistemlerinin optimal işleyişi ve temel fizyolojik kapasite.
PERFORMANS BOYUTU *(Fonksiyonel Kapasite)*	**P = (FK + MB + NU)**	**FK:** Fonksiyonel Kapasite **MB**: Motor Beceriler **NU**: Nöromüsküler Uyum	Günlük ve sportif aktivitelerde etkinlik, beceri, güç, denge ve koordinasyon.
YAŞAM BOYU BİLEŞENİ *(Sürdürülebilir Uyum)*	**Y = (YUA × S × YK)**	**YUA**: Yaşa Uygun Adaptasyon **S:** Sürdürülebilirlik **YK**: Yaşam Kalitesi	Hayatın her evresine uyum, davranışın devamlılığı ve fiziksel uygunluğun psiko-sosyal etkileri.

Bu tablo, fiziksel uygunluğun üç temel bileşenini (Sağlık, Performans, Yaşam Boyu) ve bu bileşenleri oluşturan alt birimleri sistematik bir şekilde göstermektedir. Sağlık bileşeni temel korumayı, performans bileşeni işlevsel yeterliliği, yaşam boyu bileşeni ise sürdürülebilirlik ve hayat kalitesine olan katkıyı vurgular.

Modern Fitness Trendlerinin Bilimsel Analizi

1. Fitnessın Dönüşümü - Gelenekselden Modern Paradigmaya

20. yüzyılın büyük bölümüne, "Old School" olarak adlandırılabilecek bir fitness anlayışı hakim oldu. Bu paradigma, temelde mekanik, izole ve performans odaklıydı. Ağırlık makinelerinin hakim olduğu spor salonları, "kas bölme günleri" (push/pull/legs), yüksek hacimli setler ve temel kardiyo için sabit koşu bantları bu dönemin simgeleriydi. Vücut geliştirme (bodybuilding) ve aerobik hareketleri, amatör ve profesyonel sporcular dışında kitleleri de etkilemiş olsa da, yaklaşım genellikle "ne kadar çok, o kadar iyi" mantığıyla ilerliyordu. Egzersiz, çoğunlukla estetik bir sonuç (kas kütlesi, kilo kaybı) veya spesifik bir spor performansı için araç olarak görülüyordu. Bu metotlar, temel kuvvet ve hipertrofi için etkili olsalar da, bireysel farklılıkları, hareket kalitesini, fonksiyonel kapasiteyi ve egzersizin bütünsel sağlık üzerindeki sistemik etkilerini genellikle ikinci plana atıyordu.

Bu geleneksel modelin sınırları, 20. yüzyılın sonlarında daha belirgin hale gelmeye başladı. Artan sedanter yaşam tarzları, kronik hastalıkların yükselişi ve yaşlanan nüfus, sadece kas yapmaya veya kalori yakmaya odaklanan yaklaşımların yetersiz kaldığını gösterdi. Yeni bir ihtiyaç doğdu. Artan sedanter yaşam tarzları, kronik ağrılar, stres ve "görünüşte sağlıklı" ama fonksiyonel olarak kısıtlı bireyler, sadece estetiğe odaklanan yaklaşımların yetersiz kaldığını gösterdi. Yeni ve çift yönlü bir ihtiyaç doğdu: Hem optimal sağlık ve performansı (ağrısız hareket, dayanıklılık,

mental berraklık) hem de kalıcı ve sürdürülebilir bir estetiği yakalamak. İnsanlar sadece "kaslı" veya "zayıf" görünmek değil, aynı zamanda "dinç, enerjik ve güçlü" hissetmek ve öyle görünmek istiyordu. Estetik artık yalnızca ölçülere indirgenmiyor; duruş (postür), oranlar, hareket akıcılığı ve genel bir canlılık hali ile bütünleşiyordu.

COVID-19 pandemisi, bu dinamiği hızlandırarak ev merkezli bir estetik ve sağlık arayışını tetikledi. Evde, minimal ekipmanla yapılan, "vücut ağırlığı estetiğini" ve "home gym" kültürünü öne çıkaran trendler yaygınlaştı. Mikro antrenmanlar, "zamanı olmama" bahanesini ortadan kaldırarak, herkesin ulaşılabilir bir fiziksel hedefe sahip olabileceği fikrini pekiştirdi (Öncen ve ark.,2019).

21. yüzyıl, bu çift yönlü talebe cevap veren bir senteze sahne oldu. Fitness, estetik ve sağlığı birbirinden ayrılmaz iki hedef olarak bütünleştiren, kişiselleştirilmiş ve veriye dayalı bir optimizasyon sürecine evrildi. Bu radikal dönüşümü tetikleyen üç ana dinamik şunlardır:

Bilimsel Araştırmaların Derinleşmesi: Egzersiz fizyolojisi, estetiğin altındaki bilimi ortaya koydu. Artık sadece "kalori yakmak" değil, metabolik esnekliği artırmak, hormonları optimize etmek ve inflamasyonu azaltmanın hem sağlık hem de sürdürülebilir bir vücut kompozisyonu için şart olduğu anlaşıldı. Fonksiyonel antrenman, iyi görünmenin yanı sıra daha iyi hareket etmeyi vaat etti.

Dijital Devrim ve Görsel Kültür: Biyometrik veri sağlayan akıllı saatler (kalp atış hızı varyansı, uyku), akıllı telefonlar ve sosyal medya görsel takip ve vücut kompozisyon analizleri ve online antrenörler, estetik gelişimi somutlaştırdı ve motive etti.

Wellness Endüstrisinin Yükselişi: Fitness artık spor salonuyla sınırlı değil; beslenme, mental sağlık, recovery ve stil ile iç içe geçmiş bir yaşam tarzı kimliğinin parçası haline geldi. Kişiler tarafından estetiğin, artık sadece kaslar değil, bütünsel bir "sağlıklı yaşam" imajı yansıması olarak algılanmaya başlanması.

Bu çerçevede, modern insanın zamansal ve varoluşsal gerilimlerinden doğan bu yedi ana başlık, antik çağlardan bu yana süregelen bir arayışın güncel tezahürleridir. Sokrates'in "Kendini bil" çağrısı, günümüzde biyometrik verilerle somutlaşan bir öz-izleme pratiğine; Aristoteles'in "Ruh, bedenin biçimlendiricisidir" önermesi ise, beden üzerinde kurulan bu disipliner kontrol aracılığıyla kişinin kendini bireysel olarak tanımlama ve şekillendirme ihtiyacına dönüşmüştür. Nihayetinde her bir trend, bireyin yalnızca kaslarını değil, kimliğini, zamanını ve toplumsal aidiyetini de antrenmana tabi tuttuğu birer çağdaş proje olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu projelerin dayandığı bilimsel temelleri, etkinlik kanıtlarını ve pratik

sınırlılıklarını ise şu başlıklar altında sistematik olarak değerlendirmek mümkündür:

- **Zaman Verimliliği ve Fizyolojik Etkiler:** Yoğun iş ve sosyal yaşamı olan modern bireyin zaman kısıtı sorununa yanıt olarak gelişen bu yaklaşım, minimum sürede maksimum metabolik ve kardiyovasküler kazanım sağlamayı hedefler. Özü, kısa ancak maksimum efor gerektiren patlamalar ile toparlanma aralıklarını döngüsel olarak tekrarlamaya dayanır.
- **Günlük Yaşam Performansına Transfer:** Spor salonundaki kuvvetin gerçek hayattaki işlevselliğe dönüşmediği eleştirisinden doğan bu trend, antrenmanı gerçek dünya hareket paternleriyle uyumlu hale getirmeyi amaçlar. Hedef, sadece ağırlık kaldırmak değil, günlük aktiviteleri daha verimli, güvenli ve dayanıklı şekilde yapabilmektir.
- **Kümülatif Sağlık Etkileri:** "Hiç yoktan iyidir" mantığıyla, büyük zaman blokları ayırmayı imkansız görenler için geliştirilmiş bir stratejidir. Gün içine dağıtılan kısa, mikro aktivite seanslarının toplamının tek bir uzun antrenmanın sağlık faydalarını yakalayabileceği bilimsel gerçeğine dayanır.
- **Giyilebilirler ve Dijital Fitness Platformları:** Fitness deneyimini ölçülebilir, izlenebilir ve sosyal bir sürece dönüştüren teknoloji entegrasyonudur. Motivasyonu dışsal kaynaklardan alıp, kişinin kendi verilerine indirgemektedir.
- **Mobilite ve Esneklik Odaklı Yaklaşımlar:** Performans ve estetiğin ötesinde, uzun vadeli eklem sağlığını, hareket özgürlüğünü ve zihin-beden bağlantısını merkeze alan yaklaşımlardır. Yalnızca esnetmek değil, kontrollü hareket açıklığı ve derin kas kontrolü sağlamayı hedefler.
- **Kişiselleştirilmiş Fitness ve Genetik Yaklaşımlar:** "Her bedene uyar" anlayışının sonunu ilan eden bu trend, antrenmanı kişinin biyolojik genetik, metabolik ve hormonal cevaplarına göre optimize etme iddiasındadır. Standart programlar yerine, bireye özgü bir bilimsellik yaratmayı amaçlar.
- **Topluluk Temelli Fitness ve Sosyal Dinamikler:** İnsanın sosyal bir varlık olduğu gerçeğinden hareketle, motivasyon ve sürdürülebilirliğin anahtarını paylaşılan deneyim, sosyal destek ve kolektif başarıda bulan modeldir. Fitnessı yalnız bir uğraş olmaktan çıkarıp, aidiyet duygusu yaratan bir topluluk pratiğine dönüştürür.

Modern fitness trendlerinin bilimsel analizi, bu yaklaşımların birer geçici modadan ziyade, 21. yüzyılın sosyokültürel, teknolojik ve bilimsel koşullarına verilen derinlikli yanıtlar olduğunu ortaya koymaktadır. Her biri, zaman yönetiminden bireysel kimlik inşasına uzanan bir ihtiyaçlar spektrumuna dokunarak, fitness'ı salt bir fiziksel aktivite olmaktan çıkarıp bütüncül bir wellness projesine dönüştürmüştür. Ancak, bu trendlerin

vaatleri ile bilimsel geçerlilikleri arasında her zaman doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Geleceğin optimal fitness paradigması, bu trendlerin sunduğu yenilikçi araçları ve içgörüleri, eleştirel bir bilimsel mercekten süzmeyi ve onları, bireyin gerçekçi hedefleri, fizyolojik sınırları ve yaşam tarzıyla uyumlu bir şekilde kişiselleştirilmiş bir sentezde birleştirmeyi başaran yaklaşımlarda şekillenecektir. Nihayetinde amaç, geçici bir trendin takipçisi olmak değil, sürdürülebilir bir şekilde daha sağlıklı, daha işlevsel ve daha tatmin olmuş bir birey olma yolculuğunda bilimi rehber edinmektir.

Kuvvet Antrenmanının Evrimi

1. Klasik Kuvvet Antrenmanı Yaklaşımları

Kuvvet antrenmanının evrimi, insanın fiziksel potansiyelini anlama ve şekillendirme çabasının tarihidir. Antik Yunan'da Milo of Croton'un her gün büyüyen bir buzağıyı kaldırarak progresif overload'ın ilkel formunu keşfetmesinden, 20. yüzyılın "3 set 10 tekrar" dogmasına, oradan günümüzün nöromüsküler adaptasyon odaklı kişiselleştirilmiş protokollerine uzanan bu yolculuk, sadece tekniklerin değil, kuvvetin kendisine dair paradigmaların da dönüşümünü yansıtır.

Literatürde optimal kuvvet kazanımı için gerekli set sayısı konusunda uzun süre bir fikir birliği sağlanamamış, bu da çoklu set (vücut geliştirme) ve tek set (bazı fitness akımları) yaklaşımları arasında bir metodolojik tartışma doğurmuştur (Westcott, 1979). Bu tartışma, 1940'lardan itibaren sistematik deneysel çalışmalarla bilimsel bir zemine oturtulmaya başlanmıştır.

DeLorme-Watkins Programı (1948): İlk sistematik ve progresif ağırlık antrenmanı tasarımlarından biri olarak öne çıkar. Rehabilitasyon amaçlı geliştirilen bu program, 10-RM'nin %50, %75 ve %100'ü ile yapılan üç setlik (her biri 10 tekrar) bir yapı önermiştir. "Çift-progresif" bir yaklaşım benimseyerek, sporcunun hem tekrar sayısını (Sporcu mevcut yükle 15 tekrarı tamamlayabildiğinde, yeni bir 10-RM belirlenerek yük artırılır) hem de ağırlığı (yeni 10-RM) kademeli olarak artırmasını temel alır. Bu, stres-adaptasyon prensibinin erken bir uygulamasıdır (Westcott, 2016).

Berger Programı (1962): Berger (1962), kuvvet antrenmanında tek ve çoklu set yaklaşımlarını sistematik olarak inceleyen öncü çalışmaları yürütmüştür. Tek set uygulamalarında 4–8 RM aralığının, daha düşük veya daha yüksek RM yüklerine kıyasla daha fazla kuvvet artışı sağladığı bildirilmiştir. Çoklu set karşılaştırmalarında ise 6-RM yüküyle uygulanan üç set altı tekrar protokolü en etkili model olarak rapor edilmiş, ancak bu üstünlük sonraki çalışmalarla tutarlı biçimde doğrulanamamıştır. Berger yaklaşımında progresyon, tekrar sayısı sabit tutularak yükün kademeli artırılmasına dayanmaktadır.

Piramit Programı (1979): Westcott'ın karşılaştırmalı çalışmasında ele alınan Piramit Programı, kuvvet antrenmanında yaygın olarak kullanılan klasik "çalışma piramidi" yapısının bir örneğidir. Bu programın temel özelliği, setler ilerledikçe tekrar sayısının azaltılması ve direncin (ağırlığın) sistematik olarak artırılması prensibine dayanmasıdır (Westcott, 1979, Westcott, 2016).
Programın Yapısal Parametreleri: Protokol, sporcunun 1 Tekrar Maksimum (1-RM) değerini referans alır ve üç setten oluşan bir yapı önerir:
1. Set: Düşük yoğunluk, yüksek tekrar – 1-RM'nin %55'i ile 10 tekrar.
2. Set: Orta yoğunluk, orta tekrar – 1-RM'nin %75'i ile 5 tekrar.
3. Set: Yüksek yoğunluk, düşük tekrar – 1-RM'nin %95'i ile 1 tekrar.
Bu yapı, antrenmanın doğrusal bir piramit şeklinde ilerlemesini sağlar.

DeLorme-Watkins Programı ile Karşılaştırmalı Analiz

Yapısal Benzerlik: Her iki program da kademeli (progresif) bir ısınma felsefesi benimser. İlk iki set, yoğunluğu giderek artan ve sporcuyu fizyolojik ve nöral açıdan son, en yüksek yoğunluklu "çalışma seti"ne hazırlayan ısınma aşamaları olarak kurgulanmıştır.
Hedefsel Ayrım: İki program, antrenman etkisinin elde edilmesi amaçlanan son setin hedefi ve doğasında belirgin bir ayrışma gösterir.
DeLorme-Watkins programının son seti, yüksek hacimli (10 tekrar) ve submaksimal yüksek yoğunlukta (10-RM, yaklaşık 1-RM'nin %75'i) bir uyaran sağlar. Bu, öncelikli olarak metabolik stres ve mekanik gerilim yoluyla hipertrofi gelişimini hedefler. Piramit Programının son seti ise, çok düşük hacimli (1 tekrar) ancak maksimale çok yakın yüksek yoğunlukta (1-RM'nin %95'i) bir uyarandır. Bu yaklaşım, ağır yüklere karşı maksimal nöral uyarım ve intramüsküler koordinasyon gerektirerek, öncelikle nöromüsküler adaptasyon ve maksimal kuvvetin geliştirilmesine odaklanır.

2. Güncel Kuvvet Antrenmanı Yaklaşımları

Minimum Etkili Doz (MED) Yaklaşımı

Modern egzersiz fizyolojisinin temel prensiplerinden biri, kas adaptasyonlarının, antrenman değişkenlerinin sistematik manipülasyonu ile optimize edilebileceğidir (Kraemer & Ratamess, 2004). Bu değişkenler içerisinde antrenman hacmi genellikle set × tekrar × yük olarak tanımlanır kas hipertrofisi üzerinde kritik bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar kas büyümesi üzerinde belirgin bir hacim-hipertrofi doz-yanıt ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur.
Sürekli Hacim Etkisi: Haftalık set sayısı sürekli bir değişken olarak analiz edildiğinde, kas büyümesi üzerinde anlamlı bir etki saptanmıştır. Her bir ek haftalık setin, tahmini hipertrofik kazançta yaklaşık %0.37'lik bir artışla ilişkili olduğunu göstermiştir.

Kategorik Hacim Kademeleri: Setler düşük, orta ve yüksek kategorilere ayrıldığında, hacim etkisi için bir eğilim gözlenmiştir. Etki faktörüne karşılık gelen yüzde kazançlar, hacim arttıkça kademeli bir artış sergilemiştir. Bu bulgu, optimal hipertrofi için eşik değerin kas grubu başına haftada yaklaşık 10 set civarında olabileceğine işaret etmektedir.
Çalışma-içi Karşılaştırma: Çalışma gruplarında kendi içindeki düşük ve yüksek hacimli gruplar karşılaştırıldığında, yüksek hacim lehine anlamlı bir fark bulunmuştur. Yüksek hacim grubu, düşük hacim grubuna kıyasla yaklaşık %3.9'luk bir hipertrofi avantajına sahip olduğu tanımlanmıştır (Schoenfeld ve ark., 2017).
Moderatör Analizi ve Ölçüm Hassasiyeti: Haftalık set hacmi ile ölçüm tipi arasında anlamlı bir etkileşim olması. Hipertrofi araştırmalarında hassas ve spesifik ölçüm yöntemlerinin kullanılmasının kritik önemini doğrulamıştır (Levine ve ark., 2000; Schoenfeld ve ark., 2017).

Minimum Etkili Doz yaklaşımı, bir antrenman modeli olarak, belirli bir fizyolojik veya performans adaptasyonunu tetiklemek için gereken en düşük antrenman hacmini veya yoğunluğunu sistematik olarak uygulamayı temel alır. Bu paradigma, "daha fazlası her zaman daha iyidir" anlayışının aksine, optimal uyaran-adaptasyon ilişkisini merkeze koyar.

MED, uyaran eşiği kavramına dayanır. Bu eşik, homeostazın bozulması ve süperkompansasyon sürecini başlatacak yeterli fizyolojik stresin üretilmesi için gereken asgari antrenman yüküdür. Bu eşiğin üzerindeki her ek yük, marjinal faydası giderek azalan ve toparlanma maliyeti artan bir ek stres olarak değerlendirilir. Bu nedenle MED, adaptasyonu maksimize etmek yerine, belirlenen hedefe ulaşmak için yeterli olan en verimli dozu belirlemeyi amaçlar (Schoenfeld ve ark., 2017).

- **Performansı Koruma ve Yoğun Dönem Yönetimi:** MED, sezon içi gibi yüksek yükü olan dönemlerde veya diğer stres faktörlerinin (seyahat, akademik/büyük şirket iş yükü vb.) arttığı zamanlarda kritik bir rol oynar. Burada amaç, kazanılmış kuvvet ve hipertrofi seviyelerini korurken, toplam antrenman yükünü ve yorgunluk birikimini minimize etmektir. Bu, performansın sürdürülebilirliğini ve sakatlanma riskinin azaltılmasını sağlar.
- **Başlangıç ve Yeniden Uyum Süreçleri:** Antrenmansız bireylerde veya uzun bir ara sonrası dönüşte, adaptasyon eşiği düşük olduğu için nispeten düşük hacimli antrenmanlar bile etkili bir uyaran oluşturabilir. MED, bu aşamalarda gereksiz aşırı yüklenmeleri önleyerek güvenli ve sürdürülebilir bir ilerleme sağlar.
- **Müsabaka Öncesi Dönem:** Müsabaka öncesi yükün azaltıldığı dönemde, MED prensibiyle uyumlu olarak hacim büyük oranda düşürülürken, yoğunluk korunur veya hafif artırılır. Bu, yorgunluğun dağılmasına izin verirken kuvvet ve güç seviyelerinin korunmasını sağlar.

MED'nin belirlenmesi bireye, antrenman geçmişine, hedeflere ve döneme bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sabit bir reçete değildir. Bu nedenle belirli sınırlılıklara sahiptir. Uzun vadeli maksimal kuvvet veya hipertrofi kazanımları için, zaman zaman MED'nin üzerine çıkan periyotlu yüksek hacim büyüme blokları gerekli olabilir. MED genellikle bir koruma ve optimizasyon aracı olarak görülmelidir. Aynı zamanda MED için "minimum" ile "yetersiz" hacim arasındaki ince çizgi net olarak tanımlamak önemlidir.

Otoregülasyon Yöntemleri

Tekrarlanan maksimum yönteminin sınırlılıklarına yanıt olarak geliştirilen otoregülasyon yaklaşımı, antrenman yükünün sporcunun bireysel adaptasyon hızına göre ayarlanmasını esas alan bir direnç antrenmanı periyotlama modeli olarak tanımlanmaktadır (Zhang ve ark., 2021; Shattock ve Tee, 2022).

Zhang ve ark. (2021)'e göre otoregülasyon temelli kuvvet antrenmanı yaklaşımları, antrenman yükünün sporcunun anlık performans kapasitesine göre ayarlanmasını esas alır ve üç temel program üzerinden sınıflandırılmaktadır.

1. Aşamalı Direnç Egzersizi Programı (ADEP): Aşamalı Direnç Egzersizi Programı (ADEP), antrenman yükünün set içi performansa bağlı olarak ayarlanmasını amaçlayan yapılandırılmış bir otoregülasyon modelidir. Bu programda sporcular, birinci ve ikinci setlerde kullanılacak antrenman ağırlığını önceden belirler. Üçüncü set, performansın değerlendirilmesi açısından kritik bir rol oynar.

Üçüncü sette tamamlanan tekrar sayısı, önceden belirlenmiş hedef tekrar sayısı ile karşılaştırılır. Eğer sporcu hedeflenen tekrar sayısını aşarsa, dördüncü set için yük artırılır. Buna karşılık, tekrar sayısı hedefin altında kalırsa, dördüncü sette kullanılacak ağırlık azaltılır. Bu yaklaşım, yüklenmenin sporcunun o günkü fizyolojik durumuna uyarlanmasını sağlayarak aşırı veya yetersiz yüklenme riskini azaltır.

2. Algılanan Zorluk Düzeyi Programları (AZD): Algılanan Zorluk Düzeyi (AZD) programları, sporcuların egzersiz sırasında hissettikleri subjektif zorlanma düzeyini temel alan otoregülasyon modelleridir. Helms ve ark. (2016) tarafından belirtildiği üzere, bu yaklaşım çeşitli derecelendirme ölçekleri etrafında yapılandırılmıştır.

AZD programlarında en yaygın kullanılan ölçekler Borg CR10 Ölçeği ve OMNI-RES Ölçeğidir. Borg CR10 Ölçeği 10 puanlık, OMNI-RES Ölçeği ise 11 puanlık Likert tipi bir derecelendirme sistemi sunar. Her iki ölçekte de yüksek puanlar, egzersizin daha zor algılandığını ifade eder.

Örneğin, 9 düzeyinde bir algılanan zorluk, yüksek efor gerektiren ancak sınırlı sayıda ek tekrarın hâlâ mümkün olduğu bir durumu temsil

ederken; 10 düzeyi, maksimal çabayı ve herhangi bir ek tekrarın tamamlanamayacağını göstermektedir. Bu sistemler, özellikle antrenman deneyimi yüksek sporcularda yük ayarlaması için etkili bir araç sunar.

3. Hız Temelli Antrenman Programı (HTA): Hız Temelli Antrenman (HTA), otoregülasyonun en nesnel yaklaşımlarından biri olup, antrenman yükünün belirlenmesinde hareket hızını temel bir değişken olarak ele alır. Bu yaklaşımda, kaldırma hızındaki değişimler sporcunun yorgunluk düzeyi ve performans kapasitesi hakkında anlık bilgi sağlar.

HTA uygulamalarında doğrusal konum dönüştürücüler, ivmeölçerler ve çeşitli giyilebilir teknolojiler kullanılarak hareket hızı gerçek zamanlı olarak izlenir. Elde edilen veriler sayesinde antrenörler ve sporcular, kaldırma hızına bağlı olarak antrenman yükünde bilinçli ayarlamalar yapabilir.

Uygulama sırasında sporcunun hareket hızı, önceden belirlenen hedef hız aralığının üzerine çıkarsa yük artırılabilir. Buna karşılık, hız belirlenen eşik değerin altına düşerse yükün azaltılması veya belirli durumlarda antrenman seansının sonlandırılması uygun bir strateji olabilir. HTA'nın etkinliği, antrenmanın amacı ve hedeflenen hız profiline doğrudan bağlıdır.

Dalgalı ve Blok Periyotlama

Dalgalı ve blok periyotlama, kuvvet ve kondisyon antrenmanlarında yüklenme değişkenliğini sistematik biçimde düzenleyerek uzun vadeli adaptasyonun sürdürülmesini amaçlayan çağdaş periyotlama yaklaşımlarıdır. Bu modeller, klasik doğrusal periyotlamanın sınırlılıklarına yanıt olarak geliştirilmiş olup, fizyolojik adaptasyonların sürekliliğini desteklemek için antrenman değişkenlerinin (hacim, yoğunluk, frekans) planlı şekilde manipüle edilmesine dayanır.

Dalgalı periyotlama, kısa zaman dilimleri içerisinde (günlük veya haftalık) yüklenme parametrelerinin değiştirilmesini esas alır. Bu yaklaşım, aynı antrenman döngüsü içinde farklı kuvvet özelliklerinin uyarılmasına olanak tanıyarak adaptasyonun tek bir uyaran tipine karşı körelmesini önler. Yüklenmedeki bu dalgalanma, sinir-kas sistemine uygulanan stresin dağıtılmasını kolaylaştırır ve aşırı yüklenme riskinin azaltılmasına katkı sağlar.

Blok periyotlama ise antrenman sürecini, belirli fizyolojik veya performans özelliklerine odaklanan daha yoğun ve hedefe özgü bloklara ayırır. Her blok, sınırlı sayıda adaptasyon hedefini ön plana çıkararak antrenman uyaranının özgüllüğünü artırır. Bu yapı, özellikle yüksek performans düzeyindeki sporcularda adaptasyon kaynaklarının daha verimli kullanılmasını ve belirli performans çıktılarının sistematik olarak geliştirilmesini amaçlar.

Her iki yaklaşımda da temel amaç, yüklenme değişkenliğini artırarak adaptasyonun sürekliliğini sağlamak ve kronik yorgunluk birikimini kontrol

altında tutmaktır. Planlı yük dalgalanmaları ve blok yapısı, toparlanma süreçlerinin daha etkin yönetilmesine olanak tanırken, performans düşüşleri ve sakatlanma risklerinin azaltılmasına katkı sunar. Bu nedenle dalgalı ve blok periyotlama modelleri, modern kuvvet antrenmanı literatüründe performansın sürdürülebilirliği açısından önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Periyotlama Modellerinin Karşılaştırılması

Kuvvet antrenmanında periyotlama, antrenman uyaranlarının zaman içerisinde planlı ve sistematik biçimde düzenlenmesini ifade eder ve uzun vadeli adaptasyonların sürdürülebilirliği açısından temel bir kavramsal çerçeve sunar (Gençoğlu & Çabuk, 2024). Farklı periyotlama modelleri, yüklenme değişkenlerinin (hacim, yoğunluk ve frekans) organizasyonu bakımından birbirinden ayrılmakta; bu farklılıklar sporcu düzeyi, performans hedefleri ve antrenman dönemi gibi faktörlere bağlı olarak değişen uygulama sonuçları doğurmaktadır.

Periyotlama Modellerinin Karşılaştırılması

Özellik	Klasik Doğrusal Periyotlama	Dalgalı Periyotlama	Blok Periyotlama
Temel İlke	Hacmin kademeli azalması ve yoğunluğun doğrusal artışı	Kısa zaman dilimlerinde (günlük/haftalık) yük değişkenliği	Belirli adaptasyon hedeflerine odaklanan bloklar
Yüklenme Değişkenliği	Düşük	Orta–Yüksek	Orta
Adaptasyon Stratejisi	Genel → spesifik ilerleme	Aynı dönemde çoklu kuvvet özelliklerinin uyarımı	Sınırlı sayıda hedefe yoğun uyaran
Antrenman Yapısı	Uzun süreli, öngörülebilir fazlar	Sık değişen set–tekrar–yük kombinasyonları	Birbirini izleyen yoğun bloklar
Uygulama Süresi	Haftalar–aylar	Günlük veya haftalık	Orta vadeli (blok bazlı)
Toparlanma Yönetimi	Sınırlı esneklik	Esnek ve dinamik	Bloklar arası planlı toparlanma
Aşırı Yüklenme Riski	Orta–Yüksek	Düşük–Orta	Orta
Performans Zirvesi	Genellikle sezon sonu	Daha dengeli performans	Planlı ve hedefe özgü zirve
Sporcu Profili	Başlangıç–orta seviye	Orta–ileri seviye	İleri–elit sporcular
Avantajları	Basit, öngörülebilir, kolay planlanır	Adaptasyon sürekliliği	Yüksek özgüllük, performans optimizasyonu

Bu üç model, antrenman planlamasında bir devamlılık ve metodolojiyi temsil eder. Model seçimi, rastgele veya geleneksel tercihlere dayanmaktan ziyade, kanıta dayalı ve sistematik bir değerlendirme sürecinin sonucu olmalıdır. Bu süreçte, aşağıdaki temel faktörler dikkatle gözden geçirilmelidir.

1. Sporcunun Antrenman Yaşı ve Seviyesi

- **Yeni Başlayanlar:** Nöromüsküler sistem henüz belirgin uyaranlara hızlı adapte olabildiği için, karmaşık modellere gerek yoktur. Klasik Doğrusal Periyotlama, öğrenme eğrisini yönetmek ve temel kuvveti güvenli bir şekilde oluşturmak için ideal bir yapı sunar.
- **Orta Seviye:** Adaptasyon eşiği yükseldikçe, uyaran çeşitliliği daha önemli hale gelir. Bu aşamada, Dalgalı Periyotlama monotonluğu kırarak ve farklı kuvvet özelliklerine dokunarak ilerlemeyi sürdürmek için etkili bir araç olabilir.
- **Elit Seviye:** Performanstaki marjinal kazanımlar için yüksek derecede özgüllük ve yoğunlaşma gereklidir. Blok Periyotlama, belirli fizyolojik veya teknik hedeflere odaklanarak bu marjinal kazanımları sistemli bir şekilde elde etmeyi mümkün kılar.

2. Sezon Yapısı ve Zamanlama

- **Uzun Hazırlık Dönemi:** Klasik doğrusal model, uzun bir genel hazırlık fazından spesifik bir yarışma fazına geçiş için doğal bir çerçeve sağlar.
- **Sık ve Çoklu Müsabakalar:** Dalgalı periyotlama, sezon içi sık yarışan sporcularda performansı sürdürmek ve toparlanmayı yönetmek için daha uygundur.
- **Belirgin Tek Zirve Performansı:** Olimpiyatlar veya dünya şampiyonaları gibi tek, önceden bilinen bir zirve hedefi için, blok periyotlama ile performansın zamanlaması en hassas şekilde ayarlanabilir.

3. Hedeflenen Spesifik Adaptasyonlar

- **Genel Kuvvet Temeli Oluşturma:** Doğrusal ilerleme uygundur.
- **Eş Zamanlı Çoklu Özellik Gelişimi:** Hipertrofi, maksimal kuvvet ve güç gibi özelliklerin aynı dönemde geliştirilmesi hedefleniyorsa, dalgalı model daha verimli olabilir.
- **Maksimal Özgüllük ve Transfer:** Bir sonraki blokta "güce dönüştürülmek üzere" saf maksimal kuvvet geliştirmek gibi ardışık ve yüksek odaklı hedefler için blok modeli tercih edilir.

4. Planlama ve İzleme Kapasitesi

- Dalgalı ve özellikle blok periyotlama, antrenman yükünün düzenli ölçümü (RPE, hacim, yoğunluk), sıkı performans testleri ve esnek plan revizyonları gerektirir. Antrenörün ve sporcunun bu veriye dayalı yönetim kapasitesi, modelin başarısını doğrudan etkiler.

REFERANSLAR

Berger, R. (1962). Effect of varied weight training programs on strength. Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation, 33(2), 168-181.

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. Medicine & Science in Sports & Exercise, 36(4), 674–688.

Kraemer, W. J., Fleck, S. J., & Deschenes, M. R. (2011). Exercise physiology: integrating theory and application. Lippincott Williams & Wilkins.

Lavie CJ, Arena R, Swift DL, Johannsen NM, Sui X, Lee DC, Earnest CP, Church TS, O'Keefe JH, Milani RV, Blair SN. Egzersiz ve kardiyovasküler sistem: klinik bilim ve kardiyovasküler sonuçlar. Circ Res . 2015;117:207–219. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.117.305205

Levine, J. A., Abboud, L., Barry, M., Reed, J. E., Sheedy, P. F., & Jensen, M. D. (2000). Measuring leg muscle and fat mass in humans: Comparison of CT and dual-energy X-ray absorptiometry. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), 88(2), 452–456.

Öntan, M. S. (2020). Geriatrik Olgularda Osteoporoz Ile Sarkopeni ve Düşük Kas Gücü Arasındaki Ilişkinin Incelenmesi (Doctoral dissertation, Dokuz Eylul Universitesi (Turkey)).

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. Journal of sports sciences, 35(11), 1073-1082.

Shattock, K., & Tee, J. C. (2022). Autoregulation in resistance training: a comparison of subjective versus objective methods. The Journal of Strength & Conditioning Research, 36(3), 641-648

W. L. Westcott. (1979). Female response to weight training. J. Phys. Edu. 77:31-33.

W. L. Westcott. (2016). Building Strength and Stamina. Healthy Learning. Monterey

Wisloff U, Lavie CJ. Fiziksel aktiviteyi, egzersizi ve zindeliği daha üst bir seviyeye taşımak. Prog Cardiovasc Dis . 2017;60:1–2. doi: 10.1016/j.pcad.2017.06.002

Zhang, X., Li, H., Bi, S., Luo, Y., Cao, Y., & Zhang, G. (2021). Auto-regulation method vs. fixed-loading method in maximum strength training for athletes: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Physiology, 12, 651112.

Gençoğlu, C., & Çabuk, S. (2024). Sporda fizyolojik adaptasyonların sürdürülebilirliği: dayanıklılık ve kuvvet gelişimi antrenman biliminde sürdürülebilirlik ve nitel araştırmalar. Özgür Yayınları. https://doi. org/10.58830/ozgur. pub487.

Genetik Varyasyonların Kafein Yanıtına Etkisi

Kuzey Eren URGANCI [1]

İnci Banu AYÇA [2]

1- İstanbul Rumeli Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, kuzeyerenurganci@gmail.com ORCID No: 0009-0007-9990-3363

2- Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Sağlık Bilimleri Anabilim Dalı. bayca@marmara.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9683-3813

ÖZET

Kafein, dünya çapında en yaygın tüketilen psikoaktif maddedir ve bireyler üzerinde farklı uyarıcı etkiler göstermektedir. Ancak, kafeinin bu etkilerine verilen bireysel yanıtlar büyük farklılıklar gösterebilir. Kimileri düşük doz kafeinle bile belirgin uyanıklık ve enerji artışı yaşarken, kimileri yüksek miktarlara toleranslı olabilmektedir. Genetik faktörlerin, kafeinin vücuttaki metabolizması ve fizyolojik etkilerindeki bu bireysel farklılıklarda önemli rol oynadığı ortaya konmuştur.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kafein metabolizmasından sorumlu enzimleri kodlayan ve kafeinin merkezi sinir sistemi üzerindeki hedeflerini oluşturan genlerdeki polimorfizmlerin, kafein duyarlılığını ve tüketim alışkanlıklarını etkilediğini göstermektedir. Özellikle CYP1A2 geni (kafeini metabolize eden başlıca enzim) ile ADORA2A geni (adenozin A_2A reseptörü) üzerinde yoğunlaşan araştırmalar, bu genlerdeki varyasyonların kafeinin uyanıklık, anksiyete, uyku bozukluğu, reaksiyon zamanı ve atletik performans üzerindeki etkilerini değiştirebildiğini ortaya koymuştur.

Bu bölümde, kafein yanıtının genetik temellerine ilişkin literatürü derinlemesine inceleyerek genetik polimorfizmlerin kafein farmakokinetiği ve farmakodinamiğine etkilerini tartışacağız. Ayrıca genetik profile göre kafein tüketiminin sağlık sonuçları (örn. kardiyovasküler riskler) ele alınacak ve gelecekte yapılması gereken araştırmalara değinilecektir.

Son olarak, literatürde kafein ve reaksiyon süresi çalışmalarında kullanılan yöntemlere dair özel bir odak noktası olarak, klasik bilgisayar ekranı yerine LED ışıklı duvar panelleriyle uygulanan reaksiyon testlerinin mevcut olup olmadığı incelenecek ve genetik farklılıkların bu alandaki etkisi irdelenecektir. Bölüm, kafeinle ilgili kişisel duyarlılıkları açıklamada genetik varyasyonların önemine ışık tutmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kafein, farmakogenetik, CYP1A2, ADORA2A, reaksiyon zamanı, spor performansı, genetik polimorfizm

1. GIRIŞ

Kafein, kahve ve çay gibi içeceklerin yanı sıra enerji içecekleri, çikolata ve bazı ilaçlar yoluyla yaygın biçimde tüketilen bir metilksantin türevidir. Dünyada yetişkin nüfusun çok büyük bir bölümü düzenli olarak kafein almaktadır; örneğin ABD'de yetişkinlerin neredeyse %90'ının günlük kafein tükettiği bildirilmektedir [1]. Kafeinin popülerliği, onun merkezi sinir sistemi üzerindeki uyarıcı etkilerinden kaynaklanmaktadır. Düşük ve orta dozlarda kafein, uyanıklığı artırır, yorgunluk hissini azaltır ve bilişsel performansı iyileştirebilir [2]. Ancak yüksek dozlarda ya da hassas bireylerde çarpıntı, sinirlilik, ellerde titreme, uykusuzluk ve anksiyete gibi istenmeyen etkiler de ortaya çıkabilir [3]. İlginç biçimde, kafeinin bu etkilerine karşı bireyler arasında belirgin farklılıklar gözlenir. Bazı kişiler bir fincan kahve sonrasında dahi ellerinin titrediğini veya kaygı düzeyinin arttığını bildirirken, bazı kişiler günde birkaç fincan tüketmelerine rağmen belirgin bir olumsuz etki yaşamayabilir. Kimi bireyler akşam saatlerinde kafein tüketse bile rahatlıkla uyuyabilirken, kimileri öğleden sonra içtikleri çayın bile uykularını kaçırdığını belirtmektedir. Bu çeşitlilik, kafein duyarlılığındaki bireysel farklılıklara işaret eder.

Bireylerin kafeine verdiği tepkilerdeki bu değişkenlik, kafeinin farmakokinetiği (vücutta emilim, dağılım, metabolizma ve atılım süreçleri) ve farmakodinamiğindeki (etki mekanizmaları ve fizyolojik sonuçlar) farklılıklardan kaynaklanır. Farmakokinetik açıdan, kafeinin vücutta ne kadar hızlı yıkıldığı ve atıldığı kişiden kişiye değişir; bu da kafeinin plazma yarı ömründe ve etkisinin süresinde farklılıklara yol açar [4][5]. Farmakodinamik açıdan ise, kafeinin ana hedefi olan adenozin reseptörlerinin yapı veya işlevlerindeki genetik varyasyonlar, kafeinin uyarıcı etkilerinin şiddetini ve bireyin bu etkilere hassasiyetini değiştirebilir [6][7]. Yapılan ikiz ve aile çalışmalarında kafein tüketimi ve kafeine bağlı etkilerin orta düzeyde kalıtsallık gösterdiği rapor edilmiştir (kalıtsallık oranı %36–58 arasında) [8]. Bu da genetik mirasımızın, kafein alışkanlıklarımız ve kafeinden aldığımız etkiler üzerinde önemli bir payı olduğuna işaret etmektedir.

Bu bölümde, kafein yanıtındaki genetik farklılıkların altında yatan temel mekanizmalar ayrıntılı şekilde ele alınacaktır. Öncelikle kafeinin vücutta işlenmesinde rol oynayan enzimatik yollar ve bunları etkileyen genetik polimorfizmler açıklanacak, daha sonra kafeinin uyanıklık, uyku, anksiyete, bilişsel performans ve fiziksel performans gibi alanlardaki etkilerinin genetik temelde nasıl değişebileceği incelenecektir. Bu kapsamda literatürde öne çıkan CYP1A2 geni (kafein metabolizmasında kilit enzim) ve ADORA2A geni (adenozin A_2A reseptörü) üzerindeki polimorfizmler başta

olmak üzere, diğer ilgili genler (örn. AHR, DRD2) ile kafein arasındaki ilişkiler tartışılacaktır.

Ek olarak, kafein yanıtının ölçülmesinde kullanılan yöntemlere dair güncel çalışmalara da değinilecektir. Özellikle spor bilimleri ve egzersiz performansı alanında kafeinin reaksiyon zamanı ve koordinasyon üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda, klasik bilgisayar ekranında verilen uyarılara reaksiyon testleri yerine, doğrudan duvara monte edilmiş LED ışık panelleriyle yapılan reaksiyon testlerinin kullanılıp kullanılmadığı da irdelenecektir. Bu konunun önemi, gerçek hayattaki sportif ve bilişsel reaksiyonların daha dinamik ortamlarda ölçülmesi ve kafeinin bu alanlardaki etkilerinin daha ekolojik geçerliliğe sahip yöntemlerle değerlendirilmesidir.

Bu alanda literatürdeki mevcut yaklaşımlar ve boşluklar belirtilecek, genetik farklılıkların bu tip reaksiyon testlerindeki olası rolü tartışılacaktır. Son olarak, genetik varyasyonlar ve kafein etkileşimine dair bilgi birikimimiz ışığında hangi konularda potansiyel gelecek çalışmalar yapılabileceğine dair öneriler sunulacak ve alandaki bilgi boşlukları vurgulanacaktır. Bu sayede, kafein tüketimi ve etkilerinin bireye göre özelleştirilmesi (kişiye özgü beslenme ve ergogenik stratejiler gibi) konusunda yol gösterici bilimsel verilerin artmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. KAFEIN FARMAKOKINETIĞI: METABOLIZMA VE GENETIK VARYASYONLAR

Kafeinin vücutta işlenme hızı ve etkinlik süresi, büyük ölçüde kafein metabolizmasını gerçekleştiren enzimlerin aktivitelerine bağlıdır. Kafein alındıktan sonra karaciğerde metabolize edilir ve ana metabolizma yolu N-3 demetilasyonudur; bu reaksiyon, kafeini paraxantin adı verilen temel metabolite dönüştürür [8]. Bu reaksiyonu katalize eden başlıca enzim, sitokrom P450 ailesinden CYP1A2 enzimidir [8]. Kafeinin toplam klirensinin yaklaşık %95'inden CYP1A2 sorumludur; dolayısıyla bu enzimin aktivitesi, kafeinin kandaki düzeyini ve yarı ömrünü belirleyen kritik bir faktördür. Genel popülasyonda kafeinin yarı ömrü ortalama 5 saat civarında olsa da, bireyler arasında bu sürede çok büyük farklılıklar tespit edilmiştir. Kafein metabolizması; yaş, cinsiyet/hormonal durum, sigara kullanımı, diyet ve bazı ilaç etkileşimleri gibi etmenlerle anlamlı biçimde değişebilmektedir [9]. Literatürde kafein klirensinin kişiler arasında 40 kata varan değişkenlik gösterebildiği rapor edilmiştir [4]. Bu kadar geniş bir varyasyon olması, çevresel faktörlerin (sigara kullanımı, beslenme, ilaçlar vb.) yanı sıra genetik farklılıkların da kuvvetle etkili olduğuna işaret etmektedir.

CYP1A2 geni, insanlarda kafein metabolizmasının genetik belirleyicisi olarak en kapsamlı araştırılmış genlerin başında gelir. CYP1A2 geninde tespit edilmiş birçok tek nükleotit polimorfizmi (SNP) bulunmaktadır ve farklı etnik gruplar arasında bu polimorfizmlerin dağılımı değişiklik gösterebilir [10]. Bu varyantlardan en çok dikkat çekeni, intron 1 bölgesindeki CYP1A2*1F aleli olarak da bilinen rs762551 numaralı polimorfizmdir. Bu polimorfizm, gende bir C>A dönüşümü içerir ve enzimin aktivitesini etkilediği gösterilmiştir. Genel olarak, A aleli taşıyan bireyler (A/A genotipli) "hızlı metabolize edici" olarak bilinir; yani vücutları kafeini daha hızlı yıkar ve kafeinin etkisi daha kısa sürer. C aleli taşıyanlar (A/C veya C/C genotipli), özellikle homozigot C/C olanlar, "yavaş metabolize edici" kabul edilir; kafeinin eliminasyonu daha yavaş gerçekleşir ve aynı doz kafein bu bireylerde kanda daha uzun süre dolaşır [11][12]. Bu genotipe sahip olanların kafeinin etkilerine daha uzun süre maruz kalması söz konusudur.

CYP1A2 genotipinin pratik sonuçlarına dair çarpıcı bir bulgu, yüksek kafein alımı ile kardiyovasküler risk arasındaki ilişkide ortaya çıkmıştır. Cornelis ve arkadaşlarının (2006) yürüttüğü bir vaka-kontrol çalışmasında, günde en az 3-4 fincan kahve tüketen bireyler arasında, CYP1A2*1F yavaş metabolize edici genotipine sahip olanlarda miyokard infarktüsü riskinin, hızlı metabolize edici genotipe sahip akranlarına göre anlamlı düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir [11]. Özellikle günde 4 fincandan fazla kahve içen yavaş metabolize edicilerde kalp krizi riskinin, hızlı metabolize edicilere kıyasla yaklaşık 2 kat arttığı rapor edilmiştir [5]. Bu bulgu, kafeinin kalp üzerindeki olumsuz etkilerinin genetik yatkınlığa bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Muhtemel mekanizma, yavaş metabolize edicilerde kafeinin dolaşımda daha uzun süre kalarak kalp üzerinde daha uzun süre stres yaratması olabilir. Bu çalışma, kafein tüketimi için "kişiye özel" tavsiyelerin önemini vurgulayarak genetik testlerin beslenme ve yaşam tarzı önerilerine dahil olabileceğine işaret etmiştir.

CYP1A2 aktivitesini etkileyen tek gen bu değildir. Aryl Hydrocarbon Receptor (AHR) adlı gen de dolaylı yoldan kafein metabolizmasını etkiler. AHR, çevresel toksinlere yanıt olarak CYP1A enzimlerini indükleyen (üretimini artıran) bir transkripsiyon faktörünü kodlar. Bazı kişilerde AHR genindeki varyasyonlar, CYP1A2'nin indüklenme derecesini değiştirerek kafein metabolizmasını hızlandırabilir veya yavaşlatabilir. Örneğin, AHR geninde sık çalışılan bir polimorfizm olan rs4410790'ın belirli bir varyantı, CYP1A2 enzim düzeylerini artırabilmektedir. Fulton ve arkadaşlarının (2018) sistematik derlemesine göre, CYP1A2 ve AHR genlerindeki SNP'ler, kişilerin alışkanlık haline getirdikleri kafein alım miktarıyla güçlü ilişkiler göstermektedir [13]. Bu, genetik olarak hızlı kafein metabolize eden bireylerin (örn. AHR aktivitesi yüksek, CYP1A2 aktif genotipli) kafein etkilerini daha

kısa yaşadığı için daha fazla kahve içmeye meyilli olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Tersine, kafeini yavaş metabolize edenler, daha uzun süre etki altında kaldıklarından günlük hayatta daha az kahveyle yetinebilir ya da yüksek dozlardan kaçınabilir. Nitekim yakın zamanda yapılan genom çaplı ilişki çalışmaları (GWAS), PDSS2 adlı bir genin varyantlarının da kahve tüketim miktarını etkilediğini ortaya koymuştur. PDSS2 genindeki belirli bir varyasyonun, kafein metabolizmasını dolaylı yoldan yavaşlatarak bireylerin günde tükettikleri kahve sayısını azalttığı rapor edilmiştir. İtalya ve Hollanda popülasyonlarında yürütülen çalışmalarda, PDSS2'nin belirli allellerini taşıyan bireylerin günde bir fincan daha az kahve içme eğiliminde oldukları saptanmıştır. Bu bulgular, genetik farklılıkların yalnız kafein etkilerine değil, kafein tüketim davranışına da yön verebildiğini göstermektedir.

Özetle, kafeinin vücuttaki yolculuğunu belirleyen en önemli etmenlerden biri genetik yapımızdır. CYP1A2 başta olmak üzere ilgili enzim genlerindeki polimorfizmler, kafeinin yarı ömrünü ve bireyin tolere edebileceği miktarı değiştirmektedir. Yavaş metabolize eden genotipe sahip bireyler, kafeinden daha uzun süre etkilendiği için kafeinin bazı olumsuz etkilerine (çarpıntı, uyku bozukluğu vb.) daha açık olabilir. Hızlı metabolize edenler ise kafeinin etkisini çabuk sonlandırıp daha sık kahve tüketme eğilimi gösterebilir. Bu tür genetik bilgiler, bireysel kafein tüketim tavsiyelerinde (özellikle farmakogenetik danışmanlık kapsamında) önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Gelecekte, genetik testlerle belirlenen kafein metabolizma hızına göre kişiselleştirilmiş kafein tüketim önerileri gündeme gelebilecektir.

3. GENETIK POLIMORFIZMLERIN KAFEININ ETKILERINE (FARMAKODINAMIĞINE) YANSIMASI

Kafeinin vücutta yarattığı etkilerin şiddeti ve türü, sadece kafeinin ne kadar süre dolaştığıyla ilgili değil, aynı zamanda hedef reseptörlerin duyarlılığıyla da ilgilidir. Adenozin reseptörleri (özellikle A_2A tipi), kafeinin başlıca etki noktalarındandır ve bu reseptörlerin genlerindeki varyasyonlar, kafeinin yapacağı etkinin düzeyini etkileyebilir. Örneğin ADORA2A genindeki tek bir nükleotit değişimi olan 1976C>T (rs5751876) polimorfizminin, kafein alımına bağlı anksiyete düzeylerini değiştirebildiği gösterilmiştir. T aleli taşıyan bireyler (T/T genotipli) kafein tüketimi sonrasında daha düşük anksiyete bildirme eğilimindeyken, C aleli taşıyanlar (C/C genotipli) kafeine karşı daha hassas olup daha yüksek anksiyete yaşayabilmektedir [6]. Hatta ADORA2A geni 1976C>T polimorfizmi için heterozigot (C/T) bireylerin, kafein tüketiminden sonra farklı koşullara bağlı olarak hem T/T genotiplilere benzer düşük anksiyete hem de C/C genotiplilere benzer yüksek anksiyete yanıtları verebildiği ileri sürülmüştür. Bu da söz konusu polimorfizmin etkilerinin sadece genotip ile açıklanamayabileceğini,

ortam ya da psikolojik durum gibi etkenlerle etkileşebileceğini düşündürmektedir.

ADORA2A genindeki diğer bazı varyasyonların da (örneğin rs5760423) kafeine bağlı etkilerle ilişkisi araştırılmış, ancak tutarlı bulgular elde edilememiştir. Genel olarak ADORA2A genindeki polimorfizmlerin, kafeinin uykusuzluk yapıcı etkileri ve anksiyete tetikleyici etkileri üzerinde rol oynayabileceği, ancak bu etkinin kişiden kişiye değiştiği anlaşılmaktadır.

Öte yandan, dopamin D_2 reseptör genindeki varyasyonların da kafeine verilen davranışsal yanıtlarda etkili olabileceği gösterilmiştir. Childs ve de Wit (2008), ADORA2A rs5751876 ile DRD2 genindeki rs1079597 polimorfizmi arasındaki etkileşimin, kafein alımından sonra anksiyete düzeylerini öngördüğünü bulmuşlardır [17]. Bu çalışmada belirli ADORA2A–DRD2 genotip kombinasyonuna sahip bireylerin kafeine karşı daha yüksek anksiyete tepkisi verdiği, diğer kombinasyonlardakilerin ise daha az etkilendiği gözlenmiştir. Dolayısıyla, birden çok genin birlikte etkisi, kafeine davranışsal yanıtlarımızı şekillendirebilir.

Adenozin reseptörleri ve dopamin reseptörleri arasındaki etkileşimler de kafeinin etkilerinde önemlidir. Adenozin A_2A reseptörünün dopaminerjik sistemle yakın bir ilişkisi vardır; bazal gangliyonda A_2A reseptörleri D_2 dopamin reseptörleriyle aynı nöronlar üzerinde eksprese edilir ve fizyolojik olarak etkileşim halindedir. Bu nedenle, ADORA2A genindeki bir varyasyonun etkisi, dopamin sisteminin durumuna göre değişebilir. Nitekim ADORA2A genindeki 1976C>T polimorfizminin anksiyete üzerindeki etkileri, eşzamanlı DRD2 reseptör genotipine göre farklılık gösterebilmektedir [17]. Yani genetik arka planın bütünü, kafeine yanıtın belirlenmesinde önem taşımaktadır.

Kafeinin farmakodinamik etkilerinde rol oynayan bir diğer gen de PDE4D genidir. Bu gen, kafeinin ikincil habercisi olan cAMP'nin yıkımından sorumlu fosfodiesteraz enzimlerinden birini kodlar. Bazı çalışmalar, PDE4D gen varyasyonlarının kafeine karşı uyanıklık etkisini modüle edebileceğini öne sürmüştür. Ancak bu alandaki veriler sınırlıdır ve henüz netleşmemiştir.

Sonuç olarak, kafeinin vücutta oluşturduğu etkilerin bireysel farklılıklarında genetik polimorfizmler önemli bir rol oynar. Adenozin reseptörlerinin genetik yapısı, dopaminerjik sistemle etkileşim halinde kafeinin anksiyete ve uyarıcı etkilerini etkileyebilir. Yine kafeinin ağrı kesici etkileri veya motor beceriler üzerindeki etkileri de genetik farklılıklardan etkilenebilmektedir. Bu bağlamda, kafein farmakodinamiğini daha iyi anlamak için birden çok geni ve gen–çevre etkileşimlerini birlikte ele alan çalışmalara ihtiyaç vardır.

Ek olarak, nörodejeneratif hastalıklarla ilgili literatürde de kafein ve genetik etkileşimleri dikkat çekmektedir. Özellikle Parkinson hastalığı riski ile kafein tüketimi arasındaki ters ilişki, adenozin reseptör genetiği ile bağlantılı olabilmektedir. Hayvan modellerinde kafeinin A_2A reseptörlerini bloke ederek dopaminerjik nöronları koruduğu gösterilmiştir [21]. İnsan çalışmalarında ise ADORA2A genindeki bazı varyasyonların, düzenli kafein tüketen bireylerde Parkinson hastalığı riskini etkileyebileceğine dair bulgular mevcuttur [21][22]. Bu tür veriler, adenozin reseptör genetiğinin nörodejeneratif hastalık süreçlerinde de rol oynayabileceğini akla getirmektedir.

4. KAFEIN VE FIZIKSEL PERFORMANS: GENETIK ETKILEŞIMLER VE REAKSIYON ZAMANI

Kafeinin merkezi sinir sistemi üzerindeki uyarıcı etkileri, sadece subjektif uyanıklık haliyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda objektif ölçülebilen bilişsel ve motor performans parametrelerini de iyileştirebilir. Örneğin kafein genellikle reaksiyon zamanını kısaltır, yani bir uyarana tepki verme süresini hızlandırır [24]. Bunun yanı sıra dikkat ve konsantrasyonu artırarak sporda beceri performansını olumlu etkileyebilir. Kafein bu nedenle spor müsabakalarında ergojenik bir yardımcı olarak da yaygın biçimde kullanılır ve birçok araştırma kafeinin dayanıklılık egzersizlerinde ve yüksek yoğunluklu kısa süreli egzersizlerde performansı artırabileceğini göstermiştir. Ancak son yıllarda ortaya çıkmıştır ki, kafeinin performans üzerindeki faydası da herkeste aynı değildir; burada da genetik faktörler devreye girebilir.

En çok dikkat çeken bulgulardan biri, CYP1A2 genotipinin kafeinin egzersiz performansı üzerindeki etkisini modüle edebileceğidir. Womack ve arkadaşları (2012), bisiklet sporcularıyla yaptıkları klasik bir çalışmada, 40 km'lik dayanıklılık bisiklet zaman denemesinde kafein takviyesinin etkilerini, sporcuların CYP1A2 genotipine göre incelediler. Sonuçlar çarpıcıydı: CYP1A2 A/A (hızlı metabolize edici) genotipine sahip atletler, 6 mg/kg dozunda kafein aldıktan sonra sürelerini plaseboya kıyasla ortalama %4.9 kısaltırken, C aleli taşıyan sporcularda (A/C veya C/C genotip) kafeinin belirgin bir iyileştirici etkisi gözlenmedi [25]. Başka bir deyişle, kafein desteği hızlı metabolize edici genotipe sahip bisikletçilerin performansını anlamlı derecede artırırken, yavaş metabolize edici genotiptekilerde performansta kayda değer bir değişiklik getirmedi. Hatta bazı çalışmalarda CYP1A2 C/C homozigotları için kafeinin ergogenik etkinin tersine dönebileceği, yani performansta çok hafif de olsa kötüleşme olabileceği ileri sürülmüştür [26]. Guest ve arkadaşlarının (2018) bir araştırmasında da benzer şekilde, 10 km koşu performansı üzerinde kafein etkisi değerlendirilmiş ve A/A genotipindeki koşucular kafeinle en iyi derecelerini yaparken, C/C genotipli

(yavaş metabolize eden) bireylerde kafeinin plaseboya göre koşu süresini bir miktar uzattığı rapor edilmiştir [26]. Bu sonuçlar, genetik yapının kafeinden fayda görüp görmemizde belirleyici olabileceğini gösteriyor.

Bu fenomenin mekanizması tam olarak çözülmüş olmamakla birlikte, olası birkaç açıklama vardır: Hızlı metabolize edici kişilerde kafein, karaciğerde hızla işlenip atılsa bile bu süreçte metabolitlere (paraxantin gibi) dönüşür ve bu metabolitlerin de merkezi sinir sistemine katkı yapabildiği düşünülür. Ayrıca hızlı metabolize edicilerde kafeinin optimum uyarıcı etki penceresi daha iyi tutturulabilir; kafein yarışma esnasında istenen etkiyi verir ve sonra hızla temizlenir. Yavaş metabolize edicilerde ise kafeinin yüksek plazma düzeyi ve uzun süre kalışı bazı ters etkilere yol açabilir (örneğin yarış sırasında aşırı sinirlilik, kalp atım hızında orantısız artış veya gastrointestinal rahatsızlık gibi), bu da performans yararını engelleyebilir. Ayrıca yavaş metabolize edicilerin çoğunlukla düzenli kahve tüketiminde kendilerini sınırlamaları veya daha düşük dozlara alışık olmaları da kafeinin performans etkisini sınırlayabilir. Neticede bu bulgular, sporcuların kafein takviyesi kullanımında genetik testlerden yararlanarak kişiye özel stratejiler geliştirebileceğini gündeme getirmiştir.

Kafeinin bilişsel ve motor performansa etkileri içinde, reaksiyon zamanı (RT) ve benzeri psikomotor hız ölçümleri önemli bir yer tutar. Kafein, uyarıcı etkisi sayesinde hem basit reaksiyon süresi (tek bir uyarana mümkün olduğunca çabuk tepki verme) hem de seçmeli reaksiyon süresi (birden fazla uyarandan belirli olana tepki verme) testlerinde genellikle iyileşme sağlar. Bu durum, sürücülerde, askeri personelde, sporcunun sahada karar verme hızında veya e-spor oyuncularının tepki sürelerinde pratik anlamlar taşır. Yine de, genetik faktörler burada da devrededir; örneğin ADORA2A genotipinin kafeinin bilişsel test performansına etkileri tutarsız sonuçlar vermiştir. Bazı çalışmalar, ADORA2A T/T genotipinin kafeinle bilişsel görevlerde daha iyi performansa izin verdiğini, C aleli taşıyanların ise anksiyete nedeniyle performansının görece düşebileceğini öne sürer. Ancak bu konuda sonuçlar henüz net değildir ve örneklem büyüklükleri sınırlıdır. Genel olarak, CYP1A2 genotipi performans alanında en somut etkiye sahip değişken olarak karşımıza çıkmaktadır; ADORA2A ve diğerleri ise daha ziyade yan etki profillerini (anksiyete, titreme) etkilemek suretiyle dolaylı rol oynayabilir.

Reaksiyon zamanı özelinde, son dönemde araştırmacılar kafeinin etkilerini gerçek hayata daha yakın dinamik reaksiyon testleriyle incelemeye başlamışlardır. Geleneksel olarak laboratuvar ortamında reaksiyon süresi ölçümü, bir bilgisayar ekranında beliren görsel bir uyarana olabildiğince hızlı bir tuşa basma şeklinde yapılır. Bu yöntem kafeinin tepki hızını ölçmek için uzun yıllar kullanılmış ve kafeinin genellikle plaseboya kıyasla milisaniyeler

düzeyinde dahi olsa tepki sürelerini kısalttığı gösterilmiştir [24]. Bununla birlikte, spor ve pratik performans bağlamında tek bir parmakla klavyeye basma testi sınırlı kalabilir. Özellikle sporda, sporcuların çoklu uyaranlara, geniş bir görsel alanda, el ve kollarını hareket ettirerek tepki vermesi gerekir. Bu ihtiyacı karşılamak üzere geliştirilen cihazlar vardır. Bunlardan biri Dynavision D2 adı verilen ve duvara monteli bir büyük tahta üzerinde dairesel dizilimde yerleştirilmiş 64 adet LED ışıklı butondan oluşan bir reaksiyon eğitimi ve ölçüm cihazıdır [27]. Bu cihaz, kullanıcının çevresel ve merkezi görsel alanını kullanarak ışıkları mümkün olduğunca çabuk elle söndürmesi prensibine dayanır ve böylece el-göz koordinasyonu ve reaksiyon hızı ölçülür [27][28]. Dynavision gibi cihazlarla yapılan testlerde, sporcunun merkezi ve periferik görsel uyarılara aynı anda tepki verebilme becerisi değerlendirilebilir. Laboratuvar ortamındaki basit tepki süresi testlerine göre bu tip saha benzeri testler, sporcuların gerçek performansına daha yakın veriler sunabilir.

Nitekim bazı çalışmalar, Dynavision cihazıyla ölçülen el-göz reaksiyon hızı ile sportif performans arasında ilişkiler bulmuştur. Örneğin bir araştırmada, boksör ve tekvandocu gibi dövüş sporu sporcularının Dynavision testi skorları ile maç esnasındaki performansları arasında anlamlı korelasyonlar tespit edilmiştir [33]. Bu da LED ışıklarla yapılan saha benzeri testlerin, laboratuvar testleri kadar güvenilir olabileceğini ve sporcuların gerçek performansını yansıtmada etkili olduğunu gösterir.

Peki kafein araştırmalarında bu tür LED'li reaksiyon duvarları ne kadar kullanılıyor? Geleneksel yaklaşımların dışına çıkarak kafeinin reaksiyonel çeviklik üzerindeki etkisini ölçmek isteyen bazı yeni çalışmalar mevcuttur. Örneğin, basketbol oyuncularında kafeinin "anı yakalama" refleksleri ve çeviklik üzerine etkisini inceleyen bir çalışmada, sporculara kablosuz LED ışık sensörlerinden oluşan bir sistem ile çeşitli görsel uyarılar verilmiş ve hem kafein hem de plasebo aldıkları durumlarda performansları karşılaştırılmıştır [34]. Bu tip çalışmalar henüz sınırlı olsa da, ilk bulgular kafeinin bu kompleks reaksiyon ve çeviklik görevlerinde de faydalı olabileceğine işaret ediyor. Örneğin kafein alımının, futbolcuların saha içi çeviklik ve reaksiyon testlerinde performansını artırabildiğini gösteren bulgular yayınlanmıştır [24][35]. Yine de, bireysel farklılıklar bu alanda da kendini göstermektedir; kafeinden yüksek fayda gören sporcuların yanında, anlamlı bir etki görmeyenler de bulunmaktadır. Gelecekte yapılacak daha hedefli çalışmalarla (örneğin sadece belirli bir genotip grubunda kafein etkisini inceleyen deneyler veya geniş kohortlarda gen–diyet etkileşimi analizleri), kafeinin risk-fayda dengesi hakkında daha hassas ve bireyselleştirilmiş bilgilere ulaşılabilecektir.

5. GENETIK VARYASYONLAR, KAFEIN TÜKETIMI VE SAĞLIK SONUÇLARI

Kafein alımının sağlık üzerine uzun vadeli etkileri, genetik farklılıklar açısından önemli bir araştırma alanıdır. Yukarıda bahsedilen Cornelis ve ark. (2006) çalışması, genetik yatkınlığın kafeinin kardiyovasküler etkilerini değiştirebileceğini göstermişti. Benzer şekilde, hipertansiyon, aritmi veya kemik sağlığı gibi konularda da kafein tüketimi ile ilgili genetik etkileşimler incelenmektedir. Örneğin bazı çalışmalar, yavaş kafein metabolize eden genotipe sahip bireylerde aşırı kafein alımının hipertansiyon riskini artırabileceğini öne sürmüştür. Buna karşılık, hızlı metabolize edicilerde aynı düzeyde kafein alımının belirgin bir etki yaratmadığı bildirilmiştir. Bu tarz bulgular, gene bağlı risk profillerinin önemini vurgulamaktadır.

Ayrıca, kafein tüketimi ile tip 2 diyabet riski arasındaki ilişki de genetik perspektiften incelenmiştir. Bir kısım araştırma, belirli genetik profillerde (örneğin hızlı metabolize edicilerde) düzenli kahve tüketiminin diyabet riskini azaltabileceğini, ancak yavaş metabolize edicilerde aynı etkinin görülmeyebileceğini ima etmektedir. Burada da yine gen–çevre etkileşimi söz konusudur; diyet ve genetik birlikte etki göstermektedir. Ancak konu henüz tam olarak aydınlatılmış değildir.

Bunların yanı sıra, kafein bağımlılığı veya kafein kullanım bozukluğu gibi konular da genetik yaklaşımla ele alınmıştır. Kafein kullanımı üzerinde dopaminerjik ve adenozinerjik sistem genlerinin etkisi olabileceği, bireyin kafeinden alabileceği hazzın ve kafeine karşı tolerans gelişiminin genetik faktörlere bağlı olarak değişebileceği öne sürülmektedir. Örneğin DRD2 ve ADORA2A genlerindeki belirli varyasyon kombinasyonlarının, kişilerin kafein tüketim miktarlarını ve kafeine karşı geliştirdikleri toleransı etkileyebileceği raporlar arasındadır. Bu alandaki araştırmalar, kafein kullanım alışkanlıklarının da genetik olarak kısmen programlandığını göstermektedir.

Sonuç olarak, genetik varyasyonlar kafein tüketiminin uzun vadeli sağlık sonuçlarında da rol oynar. Kalp-damar hastalıkları, nörodejeneratif hastalıklar, metabolik hastalıklar ve bağımlılık gibi geniş bir yelpazede gen–kafein etkileşimleri araştırılmaya devam edilmektedir. İleride bireyin genetik profiline dayalı olarak "kafein duyarlılık kartları" hazırlanması ve bu kartlar sayesinde kişiye özgü kafein tüketim önerileri verilmesi mümkün olabilir. Özellikle farmakogenetik ve beslenme genomiği alanlarındaki gelişmeler, kafein gibi yaygın bir maddenin kişiye özel kullanım stratejilerini belirlememize yardımcı olacaktır.

6. GELECEK PERSPEKTIFLERI VE SONUÇ

Kafein ve genetik etkileşimleri alanında henüz cevaplanmamış birçok soru bulunmaktadır. İleriye dönük olarak, daha kapsamlı genom çaplı çalışmalarla kafein metabolizması ve etkilerinde rol oynayan yeni genetik varyantların keşfedilmesi beklenmektedir. Özellikle nadir görülen veya küçük etkiye sahip olabilecek poligenik faktörler, ancak büyük örneklemli çalışmalarla ortaya konabilecektir.

6.1. Poligenik Risk Skorları ve Kafein:

Şu ana dek çalışmalar çoğunlukla tek tek genlerin (ör. "hızlı metabolize edici gen" veya "hassas reseptör genotipi") etkisine odaklanmıştır. Oysa her bireyin kafein yanıtı, muhtemelen onlarca genin küçük katkılarının bir araya gelmesiyle belirlenir. İleride, genom çapında poligenik risk skorları kullanarak bir bireyin "kafein duyarlılık skoru" hesaplanabilir. Örneğin bir kişinin genomuna bakılarak kafein kaynaklı anksiyete risk skoru veya kafein ile performans artışı skoru tahmin eden modeller üretilebilir. Bu modeller, çok sayıda SNP'yi ve bunların etkileşimlerini hesaba katarak bireysel düzeyde daha isabetli öngörüler sağlayabilir. Büyük veri setleri ve makine öğrenmesi teknikleri, bu alanda umut vaat etmektedir.

6.2. Epigenetik ve Gen Ekspresyonu Çalışmaları:

Genetik varyasyonlar dışında, epigenetik modifikasyonlar (DNA metilasyonu, histon modifikasyonları vb.) da enzim düzeylerini ve reseptör duyarlılıklarını etkileyebilir. Örneğin, yaşam boyu yüksek kafein tüketimi, CYP1A2 gen ekspresyonunu epigenetik yollarla artırabilir veya azaltabilir. Bu durum, aynı genotipe sahip bireylerin bile kafeine farklı yanıtlar vermesini kısmen açıklayabilir. Gelecekte epigenetik profillerin de dahil edildiği bütüncül yaklaşımlar, kafein duyarlılığını anlamamıza yardımcı olacaktır.

6.3. Kafein ile İlaç ve Diyet Etkileşimleri:

Gerçek hayat kullanımında kafein genellikle tek başına alınmaz; diğer diyet unsurları veya ilaçlarla birlikte tüketilir. Örneğin doğum kontrol hapı kullanan bireylerde kafein metabolizması yavaşlayabilir. Benzer şekilde, sigara içenlerde kafein metabolizması hızlanır. Bu gibi etkileşimlerde genetik faktörlerin de devreye girip girmediği henüz tam bilinmemektedir. İleride farmakogenetik çalışmalar, kafeinin diğer maddelerle etkileşimlerinde genetik modifikasyonları da değerlendirmelidir.

6.4. Kafein Toleransı ve Bağımlılık:

Uzun süreli kafein kullanımıyla gelişen tolerans mekanizmaları kişiden kişiye farklılık gösterir. Bazıları her gün kafein almasına rağmen etkilenmeye devam ederken, bazıları hızla tolerans geliştirir. Bu süreçte de genetik farklılıkların rolü incelenmelidir. Belki de belirli genotipler tolerans gelişimine karşı koruyucu ya da yatkın olabilir.

6.5. LED'li Reaksiyon Testleri ve Genetik:

Bölümde özel olarak ele aldığımız konulardan biri olan LED ışıklarla yapılan reaksiyon testleri, ileride kafein ve genetik etkileşimlerini incelemede yenilikçi bir araç sağlayabilir. Örneğin, bir çalışma hipotezi olarak: "ADORA2A C/C genotipine sahip bireyler, kafein alımından sonra LED'li çeviklik testlerinde diğer genotiplere göre daha büyük performans artışı gösterir" şeklinde bir varsayım test edilebilir. Böyle bir çalışma, farklı genotiplerin kafeine verdiği motor yanıtların dinamik ortamlarda nasıl değiştiğini ortaya koyabilir. Ya da tam tersi, belki de ADORA2A hassas genotip, kafeinle aşırı uyarılarak karmaşık görevde hata yapmaya yatkın hale gelir – bunu test etmek mümkün olacaktır. Aynı şekilde CYP1A2 genotipi için de benzer hipotezler kurulabilir.

SONUÇ

Kafeinin insanlar üzerindeki etkileri, genetik mirasımızın bir yansıması olarak herkeste aynı değildir. Genetik varyasyonlar, kafeinin metabolik hızından başlayarak uyarıcı etkilerinin şiddetine, yan etki profiline ve uzun vadeli sağlık sonuçlarına kadar geniş bir yelpazede rol oynar. Son yıllarda yapılan araştırmalar, "hızlı" ve "yavaş" kafein metabolize edici genotipler arasındaki farkların, kafeinin egzersiz performansına etkilerinden kardiyovasküler risklerine kadar pek çok alanda belirleyici olabileceğini göstermiştir. Ancak her bir gen tek başına tüm hikayeyi anlatmamaktadır; poligenik ve çevresel etkileşimler, kafein yanıtlarımızın şekillenmesinde kritik öneme sahiptir.

Bu alanda elde edilen bilgiler, kişiye özgü tıp ve beslenme alanında da uygulama potansiyeline sahiptir. Örneğin, bir bireyin genetik profiline bakılarak kafein tüketimine dair önerilerde bulunmak ileride rutin hale gelebilir. Kafeinin ergogenik faydalarından maksimum düzeyde yararlanmak isteyen sporcular için genetik testler yol gösterici olabilir. Aynı şekilde, kafeine karşı hassasiyeti yüksek bireylerin (örneğin kafein kaynaklı anksiyeteye yatkın genotip taşıyanların) kafein alımını sınırlaması önerilebilir.

Elbette, kafein-genetik etkileşimleri alanında yapılacak daha çok çalışma vardır. Büyük ölçekli insan çalışmalarından elde edilecek veriler, kafein tüketiminin genetik boyutunu daha net aydınlatacaktır. Gelecekte, kahve kültürünün bu denli yaygın olduğu dünyamızda, "kişisel kafein profili" kavramı günlük yaşamın bir parçası haline gelebilir. Bu sayede herkes kendi genetik yapısına en uygun kafein kullanım şeklini belirleyerek hem kafeinin keyif veren yönlerinden faydalanabilir hem de olası risklerinden korunabilir. Bilim dünyası, kafeinin genetik şifrelerini çözmeye devam ettikçe, bu sıradan görünen maddenin aslında ne kadar kişisel olduğunu daha iyi anlayacağız.

KAYNAKLAR

[1] Yang, A., Palmer, A. A., & de Wit, H. (2010). Genetics of caffeine consumption and responses to caffeine. Psychopharmacology (Berl.), 211(3), 245–257. https://doi.org/10.1007/s00213-010-1900-1

[2] Fulton, J. L., Dinas, P. C., Carrillo, A. E., Edsall, J. R., Ryan, E. J., & Ryan, E. J. (2018). Impact of genetic variability on physiological responses to caffeine in humans: a systematic review. Nutrients, 10(10), 1373. https://doi.org/10.3390/nu10101373

[3] Cornelis, M. C., El-Sohemy, A., Kabagambe, E. K., & Campos, H. (2006). Coffee, CYP1A2 genotype, and risk of myocardial infarction. JAMA, 295(10), 1135–1141. https://doi.org/10.1001/jama.295.10.1135

[4] Sachse, C., Brockmöller, J., Bauer, S., & Roots, I. (1999). Polymorphisms in the CYP1A2 gene and their effect on caffeine metabolism. British Journal of Clinical Pharmacology, 47(4), 445–449. https://doi.org/10.1046/j.1365-2125.1999.00898.x

[5] Alsene, K., Deckert, J., Sand, P., & de Wit, H. (2003). Association between A2A receptor gene polymorphisms and caffeine-induced anxiety. Neuropsychopharmacology, 28(9), 1694–1702. https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300203

[6] Rétey, J. V., Adam, M., Khatami, R., Luhmann, U. F., Jung, H. H., Berger, W., & Landolt, H. P. (2007). A genetic variation in the adenosine A2A receptor gene (ADORA2A) contributes to individual sensitivity to caffeine's effects on sleep. Clinical Pharmacology & Therapeutics, 81(5), 692–698. https://doi.org/10.1038/sj.clpt.6100102

[7] Childs, E., & de Wit, H. (2008). Genetic and environmental influences on behavioral habituation to a novel environment. Biological Psychiatry, 63(10), 1038–1045.

[8] Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, J. R., Luden, N. D., & Hancock, M. (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 9(1), 7. https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-7

[9] Nehlig, A. (2018). Interindividual differences in caffeine metabolism and factors driving caffeine consumption. Pharmacological Reviews, 70(2), 384–411. https://doi.org/10.1124/pr.117.014407
[10] Santos, V. G. F., Santos, V. R. F., Felippe, L. J. C., Almeida, J. W., Bertuzzi, R., Kiss, M. A. P. D. M., & Lima-Silva, A. E. (2014). Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated contest of taekwondo. Nutrients, 6(2), 637–649. https://doi.org/10.3390/nu6020637
[11] Puente, C., Abián-Vicén, J., Salinero, J. J., Lara, B., Areces, F., & Del Coso, J. (2017). Caffeine improves basketball performance in experienced players. Nutrients, 9(9), 1033. https://doi.org/10.3390/nu9091033
[12] Duncan, M. J., Oxford, S. W., & Chow, J. (2014). The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. Journal of Strength and Conditioning Research, 28(2), 511–515.
[13] Duvnjak-Zaknich, D. M., Dawson, B. T., Wallman, K. E., & Henry, G. (2011). Effect of caffeine on reactive agility time when fresh and fatigued. Medicine & Science in Sports & Exercise, 43(8), 1523–1530. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821048ab
[14] Kalow, W., & Tang, B. K. (1991). Use of caffeine metabolite ratios to explore CYP1A2 and xanthine oxidase activities. Clinical Pharmacology & Therapeutics, 50(5), 508–519.
[15] Yang, A., & de Wit, H. (2018). A perspective on the genetics of caffeine consumption, coffee consumption and cardiovascular disease risk. Pharmacological Research, 128, 49–55.
[16] Nehlig, A. (2016). Interindividual differences in caffeine metabolism and factors driving caffeine consumption. Pharmacological Reviews, 68(3), 825–884. https://doi.org/10.1124/pr.115.011288
[17] Southward, K., Rutherfurd-Markwick, K. J., Badenhorst, C. E., & Ali, A. (2018). The role of genetics in moderating the inter-individual differences in the ergogenicity of caffeine. Nutrients, 10(10), 1352. https://doi.org/10.3390/nu10101352
[18] Grgic, J., & Pickering, C. (2019). Delineating the dosage of caffeine necessary to enhance muscular endurance: a systematic review and meta-analysis. Journal of Science and Medicine in Sport, 22(2), 232–237.
[19] Beaumont, J., Cornelius, C., & McCaffery, J. (2021). The impact of genetics on caffeine consumption and cardiovascular health. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 24(5), 452–458.
[20] Pickering, C., & Kiely, J. (2018). Are the current guidelines on caffeine use in sport optimal for everyone? Inter-individual variation in caffeine ergogenicity, and a move towards personalized sports nutrition. Sports Medicine, 48(1), 7–16. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0776-1
[21] Chen, J. F., Xu, K., Petzer, J. P., Staal, R., Xu, Y. H., Beilstein, M. A., Sonsalla, P. K., Castagnoli, K., Castagnoli, N. Jr., & Schwarzschild, M. A. (2001). Neuroprotection by caffeine and adenosine A_2A receptor inactivation in a model of Parkinson's disease. Journal of Neuroscience, 21(10), RC143. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-10-j0001.2001
[22] Popat, R. A., Van Den Eeden, S. K., Tanner, C. M., Kamel, F., Umbach, D. M., Marder, K., Mayeux, R., Ritz, B., Ross, G. W., Petrovitch, H., Topol, B., McGuire, V., Costello, S., Manthripragada, A. D., Southwick, A., Myers, R. M., & Nelson,

L. M. (2011). Coffee, ADORA2A, and CYP1A2: the caffeine connection in Parkinson's disease. European Journal of Neurology, 18(5), 756–765. https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2011.03353.x

[23] Bujak, Z., & Gierczuk, D. (2016). The criteria of assessing quick reaction in taekwondo athletes aged 12–25. Archives of Budo Science of Martial Arts and Extreme Sports, 12, 61–70.

[24] Robinson, E. H., McCormack, W. P., Fragala, M. S., & Stout, J. R. (2014). Reliability of the Dynavision™ D2 for assessing reaction time performance. Journal of Sports Science and Medicine, 13(1), 145–150.

[25] Ezhov, A., Zakharova, A., & Kachalov, D. (2021). Modern light sport training systems: critical analysis of their construction and performance features. In Proceedings of the 9th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2021) (pp. 123–129). SCITEPRESS. https://doi.org/10.5220/0010677900003059

[26] Yıldırım, S., Bulgay, C., Ergun, M. A., Eken, Ö., Ceylan, H. İ., Nobari, H., & Cerit, M. (2023). The association of gene polymorphisms linked to caffeine use with athletic performance. Gazi Medical Journal, 34(4), 478–483. https://doi.org/10.12996/gmj.2023.95