

SAĞLIK HİZMETLERİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

VE
ETİK YAKLAŞIMLAR



Editör

Dr. Hanife Gül BOZKURT



DUJRA

**SAĞLIK HİZMETLERİNDE
YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI VE
ETİK YAKLAŞIMLAR**

Editör

Dr. Hanife Gül BOZKURT*

* ORCID:0009-0006-6146-8629



Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları ve Etik Yaklaşımlar

Editör: Dr. Hanife Gül BOZKURT

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar DESIGN

Basım Tarihi: Mayıs 2026

Yayıncı Sertifika No: 49837

E-ISBN: 978-625-8756-47-0

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

ÖNSÖZ

Günümüz dünyası, sağlık hizmetlerinin yalnızca tedavi odaklı bir yapıdan çıkarak, teknoloji ile bütünleşen, veri temelli ve çok boyutlu bir sisteme dönüştüğü bir süreci deneyimlemektedir. Bu dönüşümün merkezinde yer alan yapay zekâ teknolojileri; sağlık hizmetlerinin sunum biçimini, karar alma süreçlerini ve bakım kalitesini köklü bir şekilde yeniden şekillendirmektedir. Artık sağlık sistemleri, yalnızca mevcut sorunlara çözüm üretmekle kalmayıp, aynı zamanda gelecekte ortaya çıkabilecek riskleri öngörebilen, önleyici ve sürdürülebilir yaklaşımlar geliştirmeye yönelmektedir.

Bu bağlamda yapay zekâ; büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve dijital sağlık uygulamaları aracılığıyla sağlık profesyonellerine güçlü bir karar destek mekanizması sunarken, hasta bakımında bireyselleştirilmiş ve daha güvenli hizmetlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak bu hızlı dönüşüm, beraberinde yalnızca teknik yenilikleri değil; etik, hukuki ve mesleki sorumlulukları da gündeme getirmektedir. Özellikle hasta mahremiyeti, veri güvenliği, algoritmik önyargı ve insan merkezli bakım anlayışının korunması gibi konular, yapay zekânın sağlık alanındaki kullanımında dikkatle ele alınması gereken temel başlıklar arasında yer almaktadır.

“Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları ve Etik Yaklaşımlar” başlıklı bu eser, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımını çok boyutlu bir perspektiften ele almayı amaçlamaktadır. Alanında uzman akademisyenlerin katkılarıyla hazırlanan bu kitap; yapay zekâ uygulamalarının farklı sağlık disiplinlerindeki kullanım alanlarını, sağladığı fırsatları ve beraberinde getirdiği etik tartışmaları kapsamlı bir şekilde değerlendirmektedir.

Kitap kapsamında; sağlık eğitiminden klinik uygulamalara, hasta izleme sistemlerinden rehabilitasyon süreçlerine kadar geniş bir yelpazede yapay zekâ destekli yaklaşımlar ele alınmakta; her bölümde teorik çerçevenin yanı sıra uygulamaya yönelik güncel bilgiler sunulmaktadır. Bu yönüyle eser, yalnızca akademik bir kaynak olmanın ötesinde, sağlık profesyonelleri, araştırmacılar ve öğrenciler için yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmanın, sağlık alanında dijital dönüşümü anlamak ve yönlendirmek isteyen tüm okuyucular için faydalı olmasını temenni ederiz.

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm.....	1
Tıbbi Görüntülemede Algoritmik Karar Verme, Güvenilirlik ve Etik Sorunlar Halit KIZILET	
2. Bölüm.....	9
Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ, Dijital Dönüşüm ve Etik İlkeler Nesrin OĞURLU	
3. Bölüm.....	24
Fizyoterapi Eğitiminde Yapay Zekâ Destekli Öğrenme Yaklaşımları Müge DERELİ	
4. Bölüm.....	38
Sağlık Alanında Yapay Zekâ Etiği: Mesleki Sorumluluklar ve İnsan Odaklı Yaklaşımlar Hayriye ÇAKMAK	
5. Bölüm.....	51
Çevre Sağlığında Dijital İzleme Sistemleri, Yapay Zekâ Uygulamaları ve Etik Boyut Hayriye Nurcan SÖBÜTAY	
6. Bölüm.....	64
Hareket Analizi, Giyilebilir Teknolojiler, Sporcu Sağlığı ve Etik Sorumluluklar Ebru DERECELİ	

7. Bölüm 84

Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Okuryazarlığı, Etik Farkındalık ve Gelecek Perspektifi

Nejla BİÇER

8. Bölüm 97

Acil Sağlık Hizmetlerinde Dijital Sistemler, Risk Yönetimi ve Etik İlkeler

Hayriye ÇAKMAK

9. Bölüm 108

Çevre Sağlığında Yapay Zekâ Uygulamaları: İzleme, Risk Değerlendirme ve Etik Yaklaşımlar

Hayriye Nurcan SÖBÜTAY

10. Bölüm 117

Histoloji Eğitiminde Dijitalleşme Süreci ve Yapay Zekâ Entegrasyonu

Şengül ŞENTÜRK

11. Bölüm 135

Sağlık Yönetiminde Yapay Zekâ: Stratejik Karar Alma ve Liderlik Perspektifi

Ali ALU

12. Bölüm 147

Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Yapay Zekâ Uygulamaları

Fatma Nur ALTIN

13. Bölüm 162

Diyaliz Hizmetlerinde Yapay Zekâ Destekli Hasta İzleme, Bakım Kalitesi ve Etik

Nejla BİÇER

1. Bölüm

Tıbbi Görüntülemede Algoritmik Karar Verme, Güvenilirlik ve Etik Sorunlar

Halit KIZILET*

Özet

Son yıllarda evrişimli sinir ağları ve U-Net gibi mimariler sayesinde radyolojik görüntülerin otomatik olarak segmentasyonu, sınıflandırılması ve lezyon tespiti alanlarında kaydedilen ilerlemeler, tanısal doğruluk ve iş akışı verimliliğinde önemli artışlar sağlamıştır. Bu teknik başarılarla karşın, algoritmik önyargı, kara kutu (açıklanamazlık) problemi, veri mahremiyetine yönelik yeni tehditler ve yasal sorumluluğun dağılımı gibi kritik etik zorluklar giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu çalışma, modern radyoloji pratiğinde derin öğrenme tabanlı yapay zekâ sistemlerinin kullanımını, görüntü analizi süreçlerini ve bu teknolojilerin beraberinde getirdiği etik sınırlar ile güvenilirlik sorunlarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Çalışmada, uluslararası kılavuzlar ve güncel düzenlemeler ışığında, güvenilir ve sorumlu yapay zekâ entegrasyonu için “açıklanabilir yapay zekâ” (XAI) yöntemleri, sürekli denetim mekanizmaları ve insan denetimli karar alma modellerinin zorunluluğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi görüntüleme, yapay zekâ, derin öğrenme, etik, radyoloji, algoritmik önyargı, kara kutu sorunu, yasal sorumluluk, güvenilirlik

1. Giriş

Radyolojik görüntüleme, günümüz tıbbında hastalıkların erken tanısı, evrenmesi ve tedavi takibinde vazgeçilmez bir araçtır. Dijitalleşme ile birlikte bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), mamografi ve ultrason gibi modalitelerden elde edilen veri hacmi giderek artmakta, bu durum yorumlama süreçlerini hem zaman alıcı hem de hata olasılığı açısından riskli hale getirmektedir (Topol, 2019). Bu noktada yapay zekâ (YZ), özellikle derin öğrenme (DL) yöntemleri, büyük veri kümelerindeki karmaşık kalıpları otomatik olarak tanıyarak radyologlara karar destek sistemleri sunma potansiyeli taşımaktadır (Hosny vd., 2018).

Evrişimli sinir ağları (CNN) ve U-Net tabanlı modeller, görüntülerin segmentasyonu, lezyon tespiti ve sınıflandırılmasında yüksek başarı oranları

* ORCID:0000-0002-7289-4635

göstermiştir (Nur, 2025). Yapılan çok merkezli çalışmalar, bu modellerin çoğunlukla akciğer nodülü, meme kanseri ve pulmoner emboli gibi patolojilerin tespitinde radyologlarla benzer veya üstün performans sergileyebildiğini ortaya koymaktadır (Cheikh vd., 2022).

Ancak bu hızlı teknolojik dönüşüm, beraberinde derin etik ve yasal sorunları da getirmektedir. YZ sistemlerinin eğitim verilerindeki dengesizlikler nedeniyle bazı hasta gruplarında sistematik olarak daha düşük tanı doğruluğu göstermesi (algoritmik önyargı), karar mekanizmalarının insan tarafından anlaşılabilmesi (kara kutu sorunu), üç boyutlu görüntülerden hasta kimliğinin yeniden inşa edilebilmesi gibi mahremiyet riskleri ve olası bir tıbbi hatada sorumluluğun kime ait olacağı sorunu bu çalışmanın temel tartışma noktalarını oluşturmaktadır (Pesapane vd., 2018).

Bu çalışma, ilgili literatürü ve güncel düzenlemeleri inceleyerek, tıbbi görüntüleme YZ kullanımının etik sınırlarını, güvenilirlik sorunlarını ve çözüm önerilerini tartışmayı amaçlamaktadır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Tıbbi Görüntüleme Tekniklerinde YZ ve Görüntü Analizi

YZ alanındaki gelişmeler, sağlık hizmetleri uygulamalarında yeni olanaklar elde etmemizi sağladı. Erken ve doğru tanıdan kişiselleştirilmiş tedavi ve rehabilitasyon planlamasına iyileştirilmiş hasta sonuçlarının analizine kadar YZ, bilhassa DL algoritmaları, tıbbi görüntülerden değerli bilgiler çıkarma konusunda dikkat çekici yetenekler sergilemiştir (Ghaffar Nia vd., 2023). Bir uzmanın eğitiminde görebileceğinden daha fazla görüntü içeren veri kümeleri üzerinde eğitilmiş DL modelleri, insan gözünün fark edemeyeceği değişimleri ayırabilir (Kumar vd., 2023), teşhisi desteklemek için hangi görüntünün değerli olması gerektiği konusunda yeni bir bakış açısı bile sağlayabilir (Waldstein vd., 2020). Radyolojide derin öğrenme, YZ tabanlı hesaplama modellerinin (sinir ağlarının) tıbbi görüntüleri (Röntgen, BT, MR, Ultrason) analiz ederek tanı koyma, lezyon tespiti ve segmentasyon işlemlerini insan müdahalesine gerek kalmadan veya radyoloğa destek olarak gerçekleştirdiği bir alandır. Temel olarak hayvanların görme sisteminin biyolojik işleyişinden esinlenen CNN'ler (evrimsel sinir ağları), görüntü işleme görevlerinde en yüksek performansı gösteren temel mimari olarak öne çıkmaktadır (Montagnon vd., 2020). YZ uygulamaları, tüm temel görüntüleme modalitelerinde kendine yer bulmuştur. DL algoritmaları, akciğer grafilerinde pnömoni, pnömotoraks ve kırık tespitinde yüksek doğruluk göstermiştir (Rajpurkar vd., 2017). Bilgisayarlı Tomografi (BT)'de YZ, çoğunlukla pulmoner emboli ve akciğer nodüllerinin tespitinde önceliklendirme (triage) ve tanı süreçlerini hızlandırmaktadır. Güncel çalışmalar, dikkat

mekanizmalı derin ağların BT anjiyografide pulmoner emboli tespitinde 0,95 AUC değerine ulaştığını ve raporlama süresini 40 dakikadan 1,32 saniyeye düşürdüğünü göstermiştir (Cheikh vd., 2022). BT, MRG ve hibrit sistemler (PET/CT, PET/MR), YZ'nin en yoğun uygulama alanlarından. DL modelleri, MRG'de beyin tümörü segmentasyonu, BT'de karaciğer lezyonu sınıflandırması ve PET'te düşük doz görüntülerin kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Hosny et al., 2018). Kanser görüntülemesinde, YZ ile yapılan otomatik segmentasyon sayesinde hedef hacimlerin ve risk altındaki organların konturlanması daha hızlı ve tekrarlanabilir hale gelmiştir (Nur, 2025). U-Net, DenseNet ve dikkat mekanizmalı CNN'ler, radyolojik görüntü analizinde en çok tercih edilen mimarilerdir. Yapılan bir çalışmada, çok parametrelili MRG kullanılarak oluşturulan bir "Liver Imaging Feature Transformer" modeli, karaciğer lezyonlarının sınıflandırılmasında kıdemli radyologların performansını iyileştirmiş, genç radyologların tanı doğruluğunu ortalama %5,3 oranında artırmıştır (Zhen vd., 2020).

2.2. Etik Sınırlar ve Güvenilirlik Sorunları

2.2.1. Algoritmik Önyargı ve Sağlıkta Eşitsizlik

Algoritmik önyargı, yapay zekânın "tarafsız" olduğu varsayımını sarsan en önemli etik sorundur. Algoritmik önyargı, makine öğrenimi modellerinin eğitim verilerindeki tarihsel, sosyal veya ırksal eşitsizlikleri öğrenerek, belirli gruplara karşı ayrımcı veya adaletsiz sonuçlar üretmesi durumudur. Sağlık sektöründe YZ kullanımı arttıkça, bu önyargılar mevcut sağlık eşitsizliklerini derinleştirme ve hayati riskler oluşturma potansiyeline sahiptir (Chen vd., 2023). YZ modelleri, eğitim veri setlerindeki temsiliyetsizlikler veya yapısal eşitsizlikler nedeniyle belirli hasta popülasyonlarında sistematik hatalar yapabilmektedir (Pesapane et al., 2018).

Seyyed-Kalantari ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, YZ modellerinin özellikle kadın hastalarda, siyahi ve Hispanik hastalarda ve düşük gelirli popülasyonlarda daha yüksek oranda "eksik tanı" (underdiagnosis) yaptığı tespit edilmiştir. En yüksek hata oranı, Hispanik kadınlar grubunda görülmüştür. Obermeyer ve arkadaşları (2019), ABD'de yaygın kullanılan bir sağlık yönetimi algoritmasının, "sağlık ihtiyacı" yerine "geçmiş sağlık harcamalarını" vekil değişken olarak kullandığı için siyahi hastaları sistematik olarak dezavantajlı konuma soktuğunu göstermiştir.

Bu önyargı türleri, "kısayol öğrenme" (shortcut learning) ile daha da karmaşık hale gelmektedir. Modeller, gerçek patolojiyi öğrenmek yerine, görüntülerdeki hastane etiketleri, yara izleri veya cihaz işaretleri gibi ilgisiz özellikleri

kullanarak tahmin yapabilmekte ve bu durum azınlık grupları için hatalı sonuçlar doğurabilmektedir (Pesapane et al., 2018).

2.2.2.Kara Kutu Problemi (Black Box) ve Açıklanabilirlik (XAI)

Kara Kutu (Black Box) problemi, DL modellerinin girdileri çıktılara dönüştürürken izlediği iç süreçlerin insanlar tarafından anlaşılabilmesi veya şeffaf olmaması durumunu ifade eder. Tıbbi görüntüleme girdiler görüntüleri, çıktılar ise radyolog görüntü raporlarını ifade eder. Bu modellerde tanı doğruluk oranları yüksektir ancak, kararı neden verdiğini açıklayamamaları klinik güveni ve entegrasyonu kısıtlamaktadır (Borys vd., 2023; Özçelik ve Saribekiroğlu, 2025).

DL modellerinin milyarlarca parametre içeren yapıları, bir görüntüyü neden “malign” olarak sınıflandırdıklarının insan mantığıyla açıklanamamasına yol açmaktadır. Bu “opaklık”, tıbbin temel ilkelerinden olan “açıklanabilirlik ve şeffaflık” ile doğrudan çelişmekte ve hastanın bilgilendirilmiş onam sürecini zedelemektedir (Pesapane vd., 2018). Hekim, YZ'nin bir önerisini “makine öyle dedi” şeklinde açıklayamaz. Bu durum, onun klinik karar alma sürecini sorgulamasını engelleyebileceği gibi (otomasyon önyargısı), aynı zamanda olası bir hatanın kaynağının tespitini de neredeyse imkânsız kılar (Topol, 2019). Açıklanabilir YZ (XAI) Çözümleri bu sorunu aşmak için Grad-CAM, LIME ve SHAP gibi sonradan açıklama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, algoritmanın karar verirken görüntü üzerinde odaklandığı bölgeleri ısı haritaları (heatmap) şeklinde gösterir. Ancak araştırmalar, bu haritaların çoğu zaman anatomik olarak hizalı olmadığını ve parçalı görüntüler sunduğunu ortaya koymuştur (Karaman, 2020).

2.2.3.Veri Mahremiyeti: Anonimleştirmenin Ötesinde Risk

YZ modellerinin eğitilmesi için büyük miktarda hasta verisine ihtiyaç duyulması, ciddi mahremiyet risklerini gündeme getirmektedir. Sağlık alanında dijitalleşme ile birlikte hasta verilerinin korunması, sadece teknik bir konu değil, etik ve hukuki boyutları olan ciddi bir risk alanı haline gelmiştir. Anonimleştirme (verilerin kimlikle ilişkisini kesme), verileri korumak için sıkça kullanılır fakat yeni ve karmaşık riskler bulunmaktadır. Geleneksel anonimleştirme yöntemleri, günümüz teknolojisi karşısında yetersiz kalabilmektedir. Tıbbi görüntüleme eldeki verilerden yeniden kimliklendirme (Re-identification) günümüzde rahatlıkla yapılabilmektedir. YZ kesitsel anatomik görüntüler elde edilen MRG veya BT görüntülerini rekonstrüksiyonel olarak birleştirebilmektedir. Güncel araştırmalar, kafa bölgesi çekimlerinden elde edilen görüntülerle hastanın yüzünü üç boyutlu olarak yeniden inşa edebildiğini ve bu görüntüleri kamuya açık

kaynaklarla eşleştirerek kimlik tespiti yapabildiğini göstermiştir (Pesapane vd., 2018). Bu riske karşı AB’de GDPR ve ABD’de HIPAA gibi düzenlemeler bulunsa da YZ’nin getirdiği yeni tehditler bu düzenlemelerin sürekli olarak güncellenmesini zorunlu kılmaktadır.

2.2.4.Yasal Sorumluluk (Liability) ve Hesap Verebilirlik

Bir YZ sistemi yanlış teşhis koyduğunda veya bir tedavi planını yanlış yönlendirdiğinde, ortaya çıkan zarardan kim sorumlu tutulmalıdır? Bu soru üç ana modelde incelenmelidir:

1. Araç Olarak YZ: YZ, bir stetoskop gibi basit bir tıbbi araç olarak kabul edilir. Hata durumunda tüm sorumluluk, onu kullanan hekimdedir.
2. Ürün Sorumluluğu: YZ bir yazılım ürünü olarak görülür ve eğer hatanın temel nedeni yazılımsal bir kusur (tasarlanma, kodlanma veya eğitime hatası) ise sorumluluk geliştirici firmaya aittir.
3. Dağıtılmış Sorumluluk: Bu daha karmaşık modelde sorumluluk,
4. Kaynağına göre hekim, hastane ve geliştirici arasında paylaşılır (Pesapane vd., 2018).

YZ cihazların yazılım geliştiricilerine karşı açılan ürün sorumluluğu davaları, ürün kusurları nedeniyle üreticileri sorumlu tutmaktadır. Genel görüş, teşhis kararını desteklemeli, nihai kararın ve sorumluluğun insan hekimde olması gerektiği (human-in-the-loop ilkesi) yönündedir (Topol, 2019). Ancak sorumluluk açığının (responsibility gap) ortaya çıkabileceği kara kutu sistemlerin kullanıldığında, yasal boşluklara yol açabilecektir.

2.3.Güvenilirlik İçin Güncel Yönelimler ve Düzenleyici Çerçevesel

YZ’nin radyolojide güvenilir ve etik bir şekilde kullanılması için uluslararası rehberler ve yasal düzenlemeler hızla şekillenmektedir.

- Güvenilir YZ (Trustworthy AI) İlkeleri: FUTURE-AI rehberi, adalet, evrensellik, izlenebilirlik, kullanılabilirlik, sağlık ve açıklanabilirlik olmak üzere altı temel ilkeyi tanımlamıştır (Lekadir vd., 2021).
- Amerikan Radyoloji Koleji (ACR): Yönetişim, klinik validasyon, önyargı azaltma, entegrasyon stratejileri ve sürekli kalite güvencesini içeren kapsamlı bir çerçeve sunmuştur (Allen vd., 2021).
- FDA Onayları ve Düzenlemeleri: Radyoloji alanı, FDA onaylı yüzlerce AI cihazı ile öncü konumdadır. 2026 yılı itibarıyla yeni kılavuzlar, büyük dil modelleri (LLM) için düzenleyici yolları netleştirmeye başlamıştır (FDA, 2026).

3. Sonuç ve Öneriler

Tıbbi görüntüleme yapay zekâ, tanısal doğruluk ve verimlilik açısından devrim niteliğinde bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin gerçekleşmesi, yalnızca teknik başarı metriklerine (AUC, doğruluk, duyarlılık) değil, aynı zamanda etik sınırların korunması ve yasal sorumluluk çerçevelerinin netleşmesine bağlıdır.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. Açıklanabilir YZ (XAI): Klinik entegrasyon öncesinde, üretilen açıklamaların (ısı haritaları vb.) anatomik doğruluğu ve klinik tutarlılığı mutlaka kalite kontrol (QA) süreçleriyle değerlendirilmelidir.
2. Önyargı testleri ve değerlendirme: Tüm YZ modelleri, farklı demografik gruplar üzerinde (cinsiyet, yaş, etnik köken, sosyoekonomik düzey) mutlaka test edilmeli ve sonuçlar standart bir formatta raporlanmalıdır (Obermeyer vd., 2019; Seyyed-Kalantari vd., 2021).
3. Human-in-the-loop zorunluluğu: YZ sistemleri hiçbir zaman otonom karar verici olarak değil, yalnızca hekimin kararını destekleyen bir araç olarak konumlandırılmalıdır. Nihai tanı ve tedavi kararı hekim tarafından imzalanmalıdır.
4. Hasta Aydınlatılmış Onamı: Hastalara, teşhis veya tedavi süreçlerinde YZ kullanıldığı (örneğin önceliklendirme) bilgisi açık ve anlaşılır bir şekilde verilmeli, isterlerse bu desteği reddetme hakları olduğu belirtilmelidir.
5. Sürekli Denetim ve Güncelleme: Yetkilendirilmiş ve onaylanmış YZ algoritmaları, klinik kullanımda oldukları süre boyunca performans sapmaları (önceden görülmemiş hasta profilleri, teknik değişiklikler vb.) açısından düzenli olarak izlenmeli ve gerektiğinde güncellenmelidir.

KAYNAKLAR

- Allen, B., Agarwal, S., Coombs, L., Wald, C., & Dreyer, K. (2021). 2020 ACR Data Science Institute artificial intelligence survey. *Journal of the American College of Radiology*, 18(8), 1153–1159.
- Borys, K., Schmitt, Y. A., Nauta, M., Seifert, C., Krämer, N., Friedrich, C. M., & Nensa, F. (2023). Explainable AI in medical imaging: An overview for clinical practitioners—Beyond saliency-based XAI approaches. *European Journal of Radiology*, 162, 110786.
- Cheikh, A. Ben, Gorincour, G., Nivet, H., May, J., Seux, M., Calame, P., Thomson, V., Delabrousse, E., & Crombé, A. (2022). How artificial intelligence improves radiological interpretation in suspected pulmonary embolism. *European Radiology*, 32(9), 5831–5842.
- Chen, Y., Clayton, E. W., Novak, L. L., Anders, S., & Malin, B. (2023). Human-centered design to address biases in artificial intelligence. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e43251.
- FDA. (2026). <https://www.fda.gov/science-research/science-and-research-special-topics/artificial-intelligence-and-medical-products>.
- Ghaffar Nia, N., Kaplanoglu, E., & Nasab, A. (2023). Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *Discover Artificial Intelligence*, 3(1), 5.
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500–510.
- Karaman, O. (n.d.). Manyetik Rezonans Görüntüleme Makine Öğrenimi Uygulamaları. *Sağlık Bilimlerinde Multidisipliner Araştırmalar*, 533.
- Kumar, Y., Koul, A., Singla, R., & Ijaz, M. F. (2023). RETRACTED ARTICLE: Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(7), 8459–8486.
- Lekadir, K., Osuala, R., Gallin, C., Lazrak, N., Kushibar, K., Tsakou, G., Aussó, S., Alberich, L. C., Marias, K., & Tsiknakis, M. (2021). FUTURE-AI: guiding principles and consensus recommendations for trustworthy artificial intelligence in medical imaging. *ArXiv Preprint ArXiv:2109.09658*.
- Montagnon, E., Cerny, M., Cadrin-Chênevert, A., Hamilton, V., Derennes, T., Ilinca, A., Vandenbroucke-Menu, F., Turcotte, S., Kadoury, S., & Tang, A. (2020). Deep learning workflow in radiology: a primer. *Insights into Imaging*, 11(1), 22.

- Nur, S. (2025). Medikal Görüntüleme ve Yapay Zekâ. *Tıbbi Radyasyon Cihazları: Klinik Uygulamalar ve Yapay Zekâ Tabanlı Yaklaşımlar*, 1.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447–453.
- Özçelik, S., & Saribekiroğlu, M. (2025). Türkiye Sağlık Sisteminde Yapay Zeka Tabanlı Klinik Karar Destek Sistemlerinin Entegrasyonu İçin Bir Sosyo-Teknik Çerçeve Modeli. *Uluslararası Toplumsal Bilimler Dergisi*, 9(2), 271–294.
- Pesapane, F., Volonté, C., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States. *Insights into Imaging*, 9(5), 745–753.
- Rajpurkar, P., Irvin, J., Zhu, K., Yang, B., Mehta, H., Duan, T., Ding, D., Bagul, A., Langlotz, C., & Shpanskaya, K. (2017). CheXnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning. *ArXiv Preprint ArXiv:1711.05225*.
- Seyyed-Kalantari, L., Zhang, H., McDermott, M. B. A., Chen, I. Y., & Ghassemi, M. (2021). Underdiagnosis bias of artificial intelligence algorithms applied to chest radiographs in under-served patient populations. *Nature Medicine*, 27(12), 2176–2182.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56.
- Waldstein, S. M., Seeböck, P., Donner, R., Sadeghipour, A., Bogunović, H., Osborne, A., & Schmidt-Erfurth, U. (2020). Unbiased identification of novel subclinical imaging biomarkers using unsupervised deep learning. *Scientific Reports*, 10(1), 12954.
- Zhen, S., Cheng, M., Tao, Y., Wang, Y., Juengpanich, S., Jiang, Z., Jiang, Y., Yan, Y., Lu, W., & Lue, J. (2020). Deep learning for accurate diagnosis of liver tumor based on magnetic resonance imaging and clinical data. *Frontiers in Oncology*, 10, 680.

2. Bölüm

Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ, Dijital Dönüşüm ve Etik İlkeler

Nesrin OĞURLU*

1. Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda köklü değişimlere yol açmış ve sağlık sistemlerinde dijital dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Elektronik sağlık kayıtları, tele-tıp uygulamaları, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT), bulut bilişim sistemleri ve yapay zekâ (YZ) teknolojileri; sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir, hızlı, verimli ve hasta merkezli bir yapıya dönüşmesine katkı sağlamaktadır (Topol, 2019). Özellikle son yıllarda sağlık alanında yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, tanı ve tedavi süreçlerinden hasta izlemine, klinik karar destek sistemlerinden sağlık yönetimine kadar birçok alanda önemli değişimlere neden olmuştur (Bajwa ve ark., 2021).

Dijital dönüşüm, yalnızca teknolojik araçların sağlık sistemlerine entegrasyonunu ifade etmemekte; aynı zamanda sağlık hizmetlerinin organizasyon yapısının, klinik karar süreçlerinin, sağlık profesyonellerinin rollerinin ve hasta-hekim ilişkilerinin yeniden şekillenmesini de kapsamaktadır.

COVID-19 pandemisi, sağlık hizmetlerinde dijital dönüşümün önemini daha görünür hâle getirmiştir. Pandemi sürecinde tele-sağlık uygulamaları, uzaktan hasta izlemi, dijital triyaj sistemleri ve yapay zekâ destekli epidemiyolojik analizler sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik rol oynamıştır (Keesara ve ark., 2020). Bu gelişmeler, dijital sağlık teknolojilerinin gelecekte sağlık hizmetlerinin temel bileşenlerinden biri olacağını göstermektedir.

Bununla birlikte yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde yaygınlaşması çeşitli etik, hukuksal ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. (Morley ve ark., 2020). Yapay zekâ sistemlerinin karar verme süreçlerinde “kara kutu” niteliği taşıması, klinik kararların şeffaflığı ve güvenilirliği konusunda çeşitli endişelere neden olmaktadır. Ayrıca yapay zekâ algoritmalarının eğitildiği veri setlerindeki dengesizlikler, belirli hasta gruplarına yönelik ayrımcı sonuçların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (Leslie, 2019).

Sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm ve yapay zekâ teknolojileri, geleceğin sağlık sistemlerini şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Ancak bu

* ORCID: 0000-0002-8057-4711

dönüşüm sürecinin yalnızca teknolojik gelişmeler açısından değil; etik, hukuksal ve toplumsal boyutlarıyla birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu bağlamda hazırlanan bu bölümde sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm kavramı, yapay zekâ uygulamalarının sağlık alanındaki kullanım alanları, sağladığı avantajlar, etik sorunlar ve geleceğe yönelik yaklaşımlar güncel bilimsel literatür doğrultusunda incelenecektir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Sağlık Hizmetlerinde Dijital Dönüşüm

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli yapısal değişimlere neden olmuş ve sağlık sistemlerinde dijital dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Dijital dönüşüm; yalnızca teknolojik araçların sağlık sistemine entegrasyonunu değil, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin organizasyon yapısının, klinik süreçlerin, yönetim modellerinin ve hasta-profesyonel etkileşimlerinin yeniden yapılandırılmasını ifade etmektedir. Günümüzde elektronik sağlık kayıtları, tele-tıp sistemleri, büyük veri analitiği, bulut bilişim, mobil sağlık uygulamaları ve yapay zekâ destekli sistemler sağlık hizmetlerinin temel bileşenleri hâline gelmiştir (Mauro ve ark., 2024).

Sağlık sistemlerinde dijital dönüşümün temel amacı; hizmet kalitesini artırmak, hasta güvenliğini geliştirmek, sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmak, klinik karar süreçlerini desteklemek ve sağlık maliyetlerini azaltmaktır (Bates ve ark., 2014). Özellikle kronik hastalık yükünün artması, yaşlanan nüfus, sağlık profesyoneli yetersizliği ve artan sağlık harcamaları gibi küresel sorunlar, sağlık sistemlerinin dijitalleşmesini zorunlu hâle getirmiştir. Bu süreçte yapay zekâ, makine öğrenmesi ve büyük veri teknolojileri sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik araçlar olarak değerlendirilmektedir (Jiang ve ark., 2017).

Dijital dönüşüm kavramı çoğu zaman dijitalleşme ile karıştırılmaktadır. Dijitalleşme; mevcut süreçlerin dijital ortama aktarılmasını ifade ederken, dijital dönüşüm sağlık hizmetlerinin işleyiş mantığının teknoloji odaklı biçimde yeniden tasarlanmasını kapsamaktadır. Örneğin hasta kayıtlarının elektronik sisteme geçirilmesi dijitalleşme örneği olarak değerlendirilebilirken; yapay zekâ destekli klinik karar sistemlerinin tanı, tedavi ve yönetim süreçlerine entegre edilmesi dijital dönüşüm kapsamında ele alınmaktadır (Agarwal ve ark., 2010).

Sağlık sistemlerinde dijital dönüşümün önemli bileşenlerinden biri elektronik sağlık kayıtlarıdır (Electronic Health Records, EHR). Elektronik sağlık kayıt sistemleri sayesinde hasta bilgileri dijital ortamda saklanabilmekte, sağlık profesyonelleri arasında veri paylaşımı kolaylaşmakta ve bakım sürekliliği desteklenmektedir. Ayrıca bu sistemler büyük veri analitiği ve yapay zekâ

uygulamaları için önemli veri kaynakları oluşturmaktadır. Elektronik sağlık kayıtlarının yaygınlaşması klinik hata oranlarının azaltılması, ilaç etkileşimlerinin kontrol edilmesi ve hasta güvenliğinin artırılması açısından önemli katkılar sağlamaktadır (Bates ve ark., 2014).

Tele-tıp ve tele-sağlık uygulamaları da dijital dönüşümün önemli unsurlarından biridir. Özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında uzaktan sağlık hizmetlerine olan ihtiyaç belirgin şekilde artmıştır. Tele-sağlık uygulamaları sayesinde hastalar sağlık kuruluşlarına fiziksel olarak başvurmadan sağlık profesyonellerine ulaşabilmekte, kronik hastalık takibi yapılabilmekte ve sağlık hizmetlerine erişim kolaylaşmaktadır (Keesara ve ark., 2020). Bunun yanı sıra kırsal bölgelerde yaşayan bireylerin sağlık hizmetlerine erişiminin artırılmasında tele-sağlık sistemleri önemli rol oynamaktadır (Wahl ve ark., 2018).

Mobil sağlık (mHealth) uygulamaları ve giyilebilir teknolojiler de dijital sağlık ekosisteminin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Akıllı saatler, biyosensörler ve mobil sağlık uygulamaları sayesinde bireylerin fizyolojik verileri sürekli izlenebilmekte ve gerçek zamanlı sağlık verileri elde edilebilmektedir. Bu sistemler özellikle hipertansiyon, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıkların yönetiminde önemli avantajlar sunmaktadır (Steinhuyl ve ark., 2015). Yapay zekâ destekli analiz sistemleri sayesinde bu veriler değerlendirilerek bireyselleştirilmiş sağlık önerileri geliştirilebilmektedir.

Büyük veri (Big Data) sistemleri ve bulut bilişim teknolojileri, dijital dönüşümün sağlık sistemlerine kazandırdığı en önemli yeniliklerden biridir. Sağlık kurumlarında üretilen büyük miktardaki verilerin depolanması, analiz edilmesi ve yorumlanması yapay zekâ sistemleri aracılığıyla mümkün hâle gelmiştir. Büyük veri analitiği sayesinde hastalık eğilimleri analiz edilebilmekte, epidemiyolojik tahmin modelleri oluşturulabilmekte ve sağlık hizmetlerinin planlanmasında daha etkili stratejiler geliştirilebilmektedir (Raghupathi ve Raghupathi, 2014).

Sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm sürecinde yapay zekâ teknolojileri kritik bir role sahiptir. Yapay zekâ sistemleri; görüntü analizi, klinik karar destek mekanizmaları, erken tanı sistemleri, hasta risk değerlendirmesi ve kişiselleştirilmiş tedavi planlaması gibi alanlarda kullanılmaktadır (Topol, 2019). Özellikle radyoloji, dermatoloji ve patoloji gibi görüntü yoğun branşlarda yapay zekâ algoritmalarının yüksek doğruluk oranlarına ulaşabildiği bildirilmektedir (Esteva ve ark., 2017). Ayrıca yoğun bakım ünitelerinde hasta monitorizasyonu ve erken uyarı sistemleri açısından da yapay zekâ uygulamalarının etkinliği giderek artmaktadır (Jiang ve ark., 2017).

Dijital dönüşüm sağlık hizmetlerinde yalnızca klinik süreçleri değil, yönetimsel süreçleri de değiştirmektedir. Hastane bilgi yönetim sistemleri, akıllı randevu sistemleri, dijital triyaj uygulamaları ve yapay zekâ destekli kaynak planlama sistemleri sağlık kurumlarının operasyonel verimliliğini artırmaktadır. Özellikle sağlık çalışanlarının idari iş yükünün azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi açısından dijital sistemlerin önemli avantajlar sunduğu belirtilmektedir (Davenport ve Kalakota, 2019).

2.2. Yapay Zekâ Kavramı ve Temel Bileşenleri

Yapay zekâ (YZ), insan zekâsına özgü öğrenme, problem çözme, karar verme, dil anlama ve örüntü tanıma gibi bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri tarafından taklit edilmesini sağlayan teknolojiler bütünü olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde yapay zekâ; sağlık, eğitim, finans, mühendislik ve savunma sanayi gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Özellikle sağlık hizmetlerinde büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte yapay zekâ uygulamalarının önemi giderek artmıştır (Russell & Norvig, 2021).

Yapay zekâ kavramı ilk kez 1956 yılında Dartmouth Konferansı sırasında John McCarthy tarafından kullanılmıştır. Başlangıçta sınırlı işlem gücü ve veri yetersizliği nedeniyle yapay zekâ uygulamaları istenilen gelişim düzeyine ulaşamamış olsa da bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemeler, internetin yaygınlaşması ve büyük veri sistemlerinin gelişmesiyle birlikte yapay zekâ alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Haenlein & Kaplan, 2019). Özellikle son yıllarda derin öğrenme algoritmalarının gelişmesi, yapay zekânın sağlık hizmetleri başta olmak üzere birçok alanda etkin kullanımını mümkün hâle getirmiştir.

2.2.1. Yapay Zekânın Temel Bileşenleri

Yapay zekâ sistemleri farklı teknolojik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler, sağlık hizmetlerinde yapay zekânın etkin biçimde kullanılabilmesini sağlamaktadır.

- **Makine Öğrenmesi (Machine Learning)**

Makine öğrenmesi, bilgisayar sistemlerinin açık biçimde programlanmadan verilerden öğrenebilmesini sağlayan algoritmaları ifade etmektedir. Sağlık alanında makine öğrenmesi; hastalık tahmini, risk analizi, ilaç geliştirme süreçleri ve klinik karar destek sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Obermeyer & Emanuel, 2016).

- **Derin Öğrenme (Deep Learning)**

Derin öğrenme, yapay sinir ağlarına dayalı gelişmiş bir makine öğrenmesi yöntemidir. İnsan beynindeki nöronal yapıyı taklit eden çok katmanlı sinir ağları kullanılarak büyük veri kümeleri analiz edilmektedir (LeCun, Bengio & Hinton, 2015). Sağlık hizmetlerinde derin öğrenme algoritmaları özellikle radyoloji, patoloji ve dermatoloji alanlarında etkili sonuçlar vermektedir. Meme kanseri taramaları, akciğer nodülü tespiti ve retina görüntü analizleri gibi uygulamalarda derin öğrenme sistemlerinin uzman hekimlerle benzer doğruluk düzeylerine ulaşabildiği bildirilmektedir (Esteva ve ark., 2017).

- **Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP)**

Doğal dil işleme, bilgisayarların insan dilini anlayabilmesini, yorumlayabilmesini ve üretebilmesini sağlayan yapay zekâ alanıdır. Sağlık hizmetlerinde NLP teknolojileri; elektronik sağlık kayıtlarının analiz edilmesi, klinik notların değerlendirilmesi, hasta geri bildirimlerinin incelenmesi ve chatbot sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Kalyan, Sangeetha & Monteiro, 2021).

Bilgisayarlı Görü (Computer Vision)

Bilgisayarlı görü, görüntülerin bilgisayar sistemleri tarafından analiz edilmesini sağlayan yapay zekâ alanıdır. Tıbbi görüntüleme sistemlerinde bilgisayarlı görü algoritmaları; MR, BT, mamografi ve histopatolojik görüntülerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. (Litjens ve ark., 2017).

- **Büyük Veri ve Bulut Bilişim**

Yapay zekâ sistemlerinin etkin çalışabilmesi için büyük miktarda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık sistemlerinde üretilen laboratuvar sonuçları, görüntüleme verileri, elektronik sağlık kayıtları ve genetik veriler büyük veri kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu verilerin depolanması ve işlenmesinde bulut bilişim teknolojileri önemli rol oynamaktadır. (Raghupathi & Raghupathi, 2014).

- **Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronların çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilen algoritmalarıdır. Bu sistemler giriş verilerini işleyerek öğrenme gerçekleştirilmektedir.

- **Üretken Yapay Zekâ (Generative AI)**

Üretken yapay zekâ, yeni içerik oluşturabilen yapay zekâ sistemlerini ifade etmektedir. Metin, görüntü, ses ve video üretebilen bu sistemler son yıllarda sağlık alanında dikkat çekici gelişmelere neden olmuştur. Üretken yapay zekâ sistemleri; klinik rapor oluşturma, hasta eğitimi materyalleri hazırlama ve tıbbi dokümantasyon süreçlerinde kullanılabilir (Mesko, 2023).

2.3. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli değişimlere neden olmuş ve sağlık sistemlerinde dijital dönüşüm sürecini hızlandırmıştır. Günümüzde yapay zekâ sistemleri; klinik karar destek mekanizmalarından tıbbi görüntüleme analizlerine, robotik cerrahiden uzaktan hasta takibine kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Topol, 2019).

2.3.1. Klinik Karar Destek Sistemleri

Klinik karar destek sistemleri (Clinical Decision Support Systems, CDSS), sağlık profesyonellerine tanı, tedavi ve hasta yönetimi süreçlerinde yardımcı olmak amacıyla geliştirilen yapay zekâ destekli sistemlerdir (Davenport ve Kalakota, 2019). Bu sistemler hastanın laboratuvar verileri, görüntüleme sonuçları, vital bulguları ve klinik öyküsünü analiz ederek sağlık profesyonellerine öneriler sunabilmektedir. Özellikle yoğun bakım ünitelerinde sepsis erken uyarı sistemleri, kardiyovasküler risk analizleri ve ilaç etkileşimlerinin değerlendirilmesi gibi alanlarda klinik karar destek sistemlerinin etkin kullanıldığı bildirilmektedir (Kelly ve ark., 2019). Makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde klinik karar destek sistemleri zaman içerisinde öğrenebilmekte ve doğruluk oranlarını artırabilmektedir. Özellikle erken tanı süreçlerinde yapay zekâ sistemlerinin insan gözünden kaçabilecek örüntüleri tespit edebilmesi sağlık hizmetlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır. (Obermeyer ve Emanuel, 2016).

2.3.2. Tıbbi Görüntüleme ve Tanı Sistemleri

Yapay zekânın sağlık hizmetlerinde en yaygın kullanıldığı alanlardan biri tıbbi görüntüleme sistemleridir. Derin öğrenme algoritmaları özellikle radyoloji, dermatoloji, oftalmoloji ve patoloji gibi görüntü yoğun branşlarda yüksek doğruluk oranlarıyla kullanılmaktadır. Manyetik rezonans görüntüleme (MR), bilgisayarlı tomografi (BT), mamografi ve histopatolojik görüntüler yapay zekâ sistemleri tarafından analiz edilerek hastalıkların erken tanınmasına katkı sağlanmaktadır (Litjens ve ark., 2017). Yapay zekâ destekli görüntüleme sistemleri sağlık profesyonellerinin iş yükünü azaltırken, tanısal doğruluğun artırılmasına da katkı sağlamaktadır (Esteva ve ark., 2017).

2.3.3. Kişiselleştirilmiş Tıp ve Tedavi Planlaması

Kişiselleştirilmiş tıp yaklaşımı, bireylerin genetik yapıları, yaşam tarzları, biyolojik özellikleri ve klinik verileri doğrultusunda özelleştirilmiş tedavi planlarının geliştirilmesini ifade etmektedir. Yapay zekâ sistemleri büyük

miktardaki genetik ve klinik verileri analiz ederek bireye özgü tedavi seçeneklerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle onkoloji alanında tümör genetiğinin analiz edilmesi ve hedefe yönelik tedavi planlarının oluşturulması açısından yapay zekâ teknolojilerinin önemli katkılar sunduğu belirtilmektedir (Topol, 2019).

Bunun yanı sıra yapay zekâ algoritmaları ilaç geliştirme süreçlerinde de kullanılmaktadır. Geleneksel ilaç geliştirme süreçlerinin uzun ve maliyetli olması nedeniyle yapay zekâ destekli sistemler yeni ilaç moleküllerinin belirlenmesi ve klinik etkinlik analizlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu durum özellikle nadir hastalıklar ve kanser tedavileri açısından dikkat çekmektedir (Benjamins, Dhunoo ve Meskó, 2020).

2.3.4. Robotik Cerrahi ve Akıllı Cerrahi Sistemleri

Robotik cerrahi sistemleri, yapay zekâ destekli teknolojilerin sağlık hizmetlerinde kullanıldığı önemli alanlardan biridir. Robot destekli cerrahi uygulamaları sayesinde cerrahların daha hassas ve kontrollü işlemler gerçekleştirebildiği bildirilmektedir. Özellikle minimal invaziv cerrahi uygulamalarında robotik sistemlerin komplikasyon riskini azalttığı, operasyon süresini kısalttığı ve hasta iyileşme sürecini hızlandırdığı belirtilmektedir (Bohr ve Memarzadeh, 2020).

Yapay zekâ destekli robotik sistemler ameliyat sırasında görüntü analizi yapabilmekte, cerraha gerçek zamanlı öneriler sunabilmekte ve operasyon süreçlerini optimize edebilmektedir. (Morley ve ark., 2020).

2.3.5. Hemşirelik Hizmetlerinde Yapay Zekâ

Yapay zekâ uygulamaları hemşirelik hizmetlerinde de giderek daha yaygın kullanılmaktadır. Özellikle hasta monitorizasyon sistemleri, düşme riski analizleri, bası yarısı tahmini ve iş akışı yönetimi gibi alanlarda yapay zekâ destekli sistemlerin etkili olduğu bildirilmektedir. Yapay zekâ sistemleri sayesinde hemşirelerin iş yükünün azaltılması, hasta güvenliğinin artırılması ve bakım süreçlerinin optimize edilmesi hedeflenmektedir (Secinaro ve ark., 2021).

2.3.6. Acil Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ

Acil sağlık hizmetleri, hızlı karar verme gerektiren dinamik süreçler içermektedir. Bu nedenle yapay zekâ teknolojileri acil sağlık sistemlerinde önemli kullanım alanlarına sahiptir. Yapay zekâ destekli triyaj sistemleri sayesinde hastaların öncelik düzeyleri daha hızlı belirlenebilmekte ve acil servis yoğunluğu daha etkin yönetilebilmektedir (Jiang ve ark., 2017).

Ayrıca ambulans yönlendirme sistemleri, trafik yoğunluğu analizleri ve kritik hasta tahmin modelleri acil sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamalarının kullanım alanları arasında yer almaktadır. Özellikle kardiyak arrest, travma ve sepsis gibi kritik durumların erken öngörülmesinde yapay zekâ sistemlerinin önemli katkılar sunduğu belirtilmektedir (Kelly ve ark., 2019).

2.3.7. Tele-Tıp ve Uzaktan Hasta Takibi

Tele-tıp uygulamaları ve uzaktan hasta takip sistemleri, sağlık hizmetlerinde dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında uzaktan sağlık hizmetlerine olan ilgi belirgin şekilde artmıştır. Yapay zekâ destekli tele-sağlık sistemleri sayesinde kronik hastalıkların izlenmesi, hasta danışmanlığı ve uzaktan klinik değerlendirme süreçleri daha etkin yürütülebilmektedir (Keesara, Jonas ve Schulman, 2020).

Mobil sağlık uygulamaları ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla elde edilen fizyolojik veriler yapay zekâ algoritmaları tarafından analiz edilmekte ve bireyselleştirilmiş sağlık önerileri geliştirilmektedir. (Steinhubl, Muse ve Topol, 2015).

2.3.8. Tıp Eğitimi ve Simülasyonda Yapay Zekâ

Yapay zekâ uygulamaları tıp ve sağlık bilimleri eğitiminde de giderek yaygınlaşmaktadır. Sanal hasta sistemleri, yapay zekâ destekli öğrenme platformları ve simülasyon teknolojileri öğrencilere bireyselleştirilmiş eğitim olanakları sunmaktadır. Özellikle Objective Structured Clinical Examination (OSCE) süreçlerinde yapay zekâ destekli değerlendirme sistemlerinin kullanılmaya başlandığı bildirilmektedir (Meskó, 2023).

Doğal dil işleme teknolojileri sayesinde öğrenci performansları analiz edilebilmekte, kişiselleştirilmiş geri bildirimler oluşturulabilmekte ve eğitim süreçleri optimize edilebilmektedir. Bununla birlikte sağlık profesyonellerinin yapay zekâ okuryazarlığı düzeylerinin geliştirilmesi, geleceğin dijital sağlık sistemlerine uyum açısından büyük önem taşımaktadır (Kalyan, Sangeetha ve Monteiro, 2021).

2.4. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekânın Avantajları

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımının temel avantajları arasında tanısal doğruluğun artırılması, klinik karar süreçlerinin desteklenmesi, hasta güvenliğinin geliştirilmesi, iş yükünün azaltılması, sağlık hizmetlerine erişimin kolaylaştırılması ve maliyet etkinliğinin sağlanması yer almaktadır. Özellikle veri yoğun branşlarda yapay zekâ sistemlerinin insan kapasitesinin ötesinde veri

analizi yapılabilmesi sağlık sistemlerine önemli katkılar sunmaktadır (Jiang ve ark., 2017).

2.5. Yapay Zekâ ve Etik Sorunlar

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde giderek yaygınlaşması, klinik süreçlerin daha hızlı, doğru ve verimli biçimde yürütülmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Topol, 2019). Bununla birlikte yapay zekâ sistemlerinin sağlık alanında kullanımı yalnızca teknolojik ve klinik avantajlar sunmamakta; aynı zamanda etik, hukuksal ve toplumsal açıdan önemli tartışmaları da beraberinde getirmektedir (Morley ve ark., 2020).

Sağlık etiği geleneksel olarak yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet ilkeleri temelinde şekillenmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu ise bu klasik etik ilkelerin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Char, Shah ve Magnus, 2018). Çünkü yapay zekâ destekli sistemler insan karar verme süreçlerine doğrudan etki etmekte ve hasta bakımının niteliğini değiştirebilmektedir. Bu nedenle dijital sağlık sistemlerinin yalnızca teknik performans açısından değil, etik güvenilirlik açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir (Goodman, Miller ve Etherton, 2020).

2.5.1. Veri Mahremiyeti ve Gizlilik

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ sistemlerinin etkin çalışabilmesi için büyük miktarda hasta verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektronik sağlık kayıtları, görüntüleme sonuçları, laboratuvar verileri, genetik bilgiler ve giyilebilir teknolojilerden elde edilen biyometrik veriler yapay zekâ algoritmalarının temel veri kaynaklarını oluşturmaktadır (Raghupathi ve Raghupathi, 2014). Ancak sağlık verileri bireyin en hassas kişisel bilgileri arasında yer almakta olup, bu verilerin korunması etik açıdan büyük önem taşımaktadır (Price ve Cohen, 2019).

Hasta verilerinin izinsiz paylaşılması, veri ihlalleri ve siber saldırılar bireylerin mahremiyetini tehdit edebilmektedir. Özellikle bulut bilişim sistemleri ve büyük veri altyapılarının yaygınlaşmasıyla birlikte sağlık verilerinin güvenliği önemli bir sorun hâline gelmiştir. Yapay zekâ sistemlerinin eğitilmesinde kullanılan veri setlerinin anonimleştirilmesi ve veri güvenliği standartlarının sağlanması etik sorumluluklar arasında yer almaktadır (Morley ve ark., 2020). Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ve Türkiye’de Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) gibi düzenlemeler sağlık verilerinin korunmasına yönelik önemli hukuksal çerçeveler sunmaktadır. Veri güvenliği sorunları yalnızca teknik boyutta değerlendirilmemelidir. Hastaların kişisel sağlık verilerinin hangi amaçlarla kullanıldığını bilmesi ve veri paylaşımı konusunda bilinçli onam verebilmesi hasta özerkliğinin korunması açısından önem

taşımaktadır. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarında şeffaf veri yönetimi politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir (WHO, 2021).

2.5.2. Algoritmik Önyargı ve Ayrımcılık

Yapay zekâ sistemleri, eğitildikleri veri setleri üzerinden öğrenme gerçekleştirmektedir. Ancak veri setlerinin yetersiz, dengesiz veya belirli grupları yeterince temsil etmeyen yapıda olması algoritmik önyargıların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Algoritmik önyargılar, belirli hasta gruplarının yanlış değerlendirilmesine veya sağlık hizmetlerine erişimde eşitsizliklerin artmasına yol açabilmektedir (Char ve ark., 2018). Örneğin bazı yapay zekâ sistemlerinin siyahi bireyler, kadınlar veya düşük sosyoekonomik düzeydeki bireyler açısından daha düşük doğruluk oranlarıyla çalıştığı bildirilmektedir. Bu durum sağlık hizmetlerinde ayrımcılık riskini artırabilmektedir. Özellikle genetik veri tabanlarının belirli popülasyonlarda yoğunlaşması, farklı etnik gruplar açısından yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Obermeyer ve Emanuel, 2016). Algoritmik önyargıların önlenmesi için veri setlerinin kapsayıcı biçimde oluşturulması, algoritmaların düzenli olarak denetlenmesi ve yapay zekâ sistemlerinin farklı popülasyonlarda test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca sağlık hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ sistemlerinin adalet ilkesi doğrultusunda geliştirilmesi etik açıdan büyük önem taşımaktadır (Morley ve ark., 2020).

2.5.3. Şeffaflık ve Açıklanabilirlik Sorunu

Yapay zekâ sistemlerine yönelik en önemli etik eleştirilerden biri “kara kutu” (black box) problemi olarak tanımlanan açıklanabilirlik sorunudur. Özellikle derin öğrenme algoritmaları yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmekte; ancak sistemlerin nasıl karar verdiği çoğu zaman tam olarak açıklanamamaktadır. Sağlık hizmetlerinde alınan klinik kararların gerekçelerinin anlaşılabilir olması hasta güvenliği ve etik sorumluluk açısından büyük önem taşımaktadır (LeCun, Bengio ve Hinton, 2015).

Bir yapay zekâ sisteminin hastaya belirli bir tanıyı neden koyduğunun veya hangi veriler doğrultusunda tedavi önerdiğinin açıklanamaması sağlık profesyonelleri açısından güven sorunu yaratabilmektedir. Bu nedenle “açıklanabilir yapay zekâ” (Explainable AI, XAI) yaklaşımları son yıllarda önem kazanmıştır. Açıklanabilir yapay zekâ sistemleri, algoritmanın karar süreçlerini kullanıcıya anlaşılır biçimde sunmayı amaçlamaktadır (London, 2019).

Şeffaflık yalnızca teknik bir gereklilik değil, aynı zamanda etik bir zorunluluktur. Hastaların sağlık süreçlerinde kullanılan teknolojiler hakkında bilgilendirilmesi ve sağlık profesyonellerinin yapay zekâ sistemlerinin çalışma

prensiplerini anlayabilmesi güvenilir sağlık hizmetlerinin sŸrdŸrŸlebilmesi açısından önem taşıtmaktadır (WHO, 2021).

2.5.4. Hesap Verebilirlik ve Hukuksal Sorumluluk

Yapay zekâ destekli sistemlerin yanlış karar vermesi durumunda sorumluluğun kimde olduğu önemli etik ve hukuksal tartişmalardan biridir. Yapay zekâ sistemlerinin önerdiği yanlış bir tanı veya tedavi sonucunda oluşabilecek zararların sorumluluğu sağlık profesyonelleri, yazılım geliştiricileri, sağlık kurumları veya teknoloji şirketleri arasında belirsiz kalabilmektedir (Goodman ve ark., 2020). Özellikle otonom karar verme kapasitesine sahip sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte mevcut hukuksal dŸzenlemelerin yetersiz kalabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle sağlık alanında kullanılan yapay zekâ sistemlerinin dŸzenli olarak denetlenmesi, klinik validasyon sŸrelerinden geçirilmesi ve uluslararası standartlara uygun biçimde geliştirilmesi gerekmektedir. DŸnya Sağlık rgŸtŸ (WHO), sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımına ilişkin yayımladığı etik rehberde hesap verebilirlik ilkesine dikkat çekmekte ve yapay zekâ sistemlerinin insan denetimi altında kullanılmasını önermektedir.

2.5.5. İnsan zerkliği ve Hasta-Hekim İlişkisi

Sağlık hizmetleri yalnızca teknik sŸrelerden oluşmamakta; aynı zamanda empati, iletişim ve gŸven temelli insan ilişkilerini içermektedir. Yapay zekâ sistemlerinin yaygınlaşması, hasta-hekim ilişkisinin insani boyutunun zayıflayabileceği ynŸnde çeşitli etik tartişmaları gŸndeme getirmektedir. Özellikle sağlık hizmetlerinde karar verme sŸrelerinin aşırı biçimde algoritmalara bağımlı hâle gelmesi, insan özerkliği açısından risk oluşturabilmektedir (Topol, 2019). Hastaların yalnızca algoritmalar tarafından değerlendirilmesi, bireysel farklılıkların göz ardı edilmesine ve sağlık hizmetlerinin mekanikleşmesine yol açabilir. Ayrıca sağlık profesyonellerinin klinik deneyim ve sezgilerinin ikinci plana itilmesi mesleki özerklik açısından da tartişma yaratmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ sistemlerinin sağlık profesyonellerinin yerini alan değil, onların karar sŸrelerini destekleyen yardımcı araçlar olarak kullanılması önerilmektedir (Yu, Beam ve Kohane, 2018).

2.5.6. Dijital Eşişsizlik ve Eşişim Sorunları

Dijital sağlık teknolojilerinin yaygınlaşması sağlık hizmetlerine eşişim açısından önemli avantajlar sağlamakla birlikte, dijital eşişsizlik sorunlarını da beraberinde getirebilmektedir. İnternet eşişimi, dijital okuryazarlık dŸzeyi ve teknolojik altyapı farklılıkları bazı bireylerin dijital sağlık hizmetlerinden

yeterince yararlanamamasına neden olabilmektedir (Wahl ve ark., 2018). Özellikle yaşlı bireyler, düşük gelir düzeyine sahip gruplar ve kırsal bölgelerde yaşayan kişiler dijital sağlık teknolojilerine erişimde dezavantaj yaşayabilmektedir. Bu durum sağlık hizmetlerinde eşitsizliklerin artmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle dijital sağlık politikalarının kapsayıcı biçimde geliştirilmesi ve toplumun tüm kesimlerinin dijital sağlık sistemlerinden yararlanabilmesinin sağlanması gerekmektedir (WHO, 2021).

2.5.7. Yapay Zekâ Etiğinde Uluslararası Yaklaşımlar

Uluslararası kuruluşlar sağlık alanında yapay zekâ kullanımına yönelik etik rehberler geliştirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan “Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health” rehberi; insan özerkliğinin korunması, güvenlik, şeffaflık, hesap verebilirlik, kapsayıcılık ve sürdürülebilirlik ilkelerini temel etik prensipler olarak tanımlamaktadır (WHO, 2021). Benzer şekilde UNESCO tarafından yayımlanan yapay zekâ etik ilkeleri, insan haklarının korunması ve teknolojilerin toplum yararına geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (UNESCO, 2021). Avrupa Birliği tarafından geliştirilen AI Act düzenlemesi ise sağlık alanında kullanılan yüksek riskli yapay zekâ sistemlerine yönelik hukuksal standartlar oluşturmaktadır.

3. Sonuç

Yapay zekâ ve dijital dönüşüm, sağlık hizmetlerinde önemli fırsatlar sunmaktadır. Tanısal doğruluğun artması, hasta güvenliğinin geliştirilmesi, maliyetlerin azaltılması ve kişiselleştirilmiş sağlık hizmetlerinin yaygınlaşması bu teknolojilerin temel avantajları arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte veri güvenliği, algoritmik önyargı, açıklanabilirlik ve hesap verebilirlik gibi etik sorunlar dikkatle ele alınmalıdır. Sağlık alanında yapay zekâ kullanımının etik ilkeler doğrultusunda geliştirilmesi; hasta haklarının korunması, güvenilir sağlık hizmetlerinin sürdürülmesi ve toplum yararının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte yapay zekâ destekli sağlık sistemlerinin daha yaygın hâle geleceği öngörülmektedir. Ancak bu süreçte teknolojik gelişmelerin insan merkezli, etik ve sürdürülebilir bir anlayışla yönetilmesi gerekmektedir.

Kaynakça

- Agarwal R, Gao G, DesRoches C, Jha AK. Research commentary—The digital transformation of healthcare: Current status and the road ahead. *Information Systems Research*. 2010;21(4):796-809.
- Bajwa, J., Munir, U., Nori, A., & Williams, B. (2021). Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. *Future healthcare journal*, 8(2), e188–e194. <https://doi.org/10.7861/fhj.2021-0095>
- Bates, D. W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A., & Escobar, G. (2014). Big data in health care: Using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Affairs*, 33(7), 1123–1131. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2014.0041>
- Benjamens, S., Dhunnoo, P., & Meskó, B. (2020). The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: An online database. *NPJ Digital Medicine*, 3, 118. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00324-0>
- Bohr, A., & Memarzadeh, K. (2020). The rise of artificial intelligence in healthcare applications. In *Artificial Intelligence in Healthcare* (pp. 25–60). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818438-7.00002-2>
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. Oxford University Press.
- Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2018). Implementing machine learning in health care—Addressing ethical challenges. *New England Journal of Medicine*, 378(11), 981–983. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1714229>
- Davenport, T., & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal*, 6(2), 94–98. <https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94>
- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., Cui, C., Corrado, G., Thrun, S., & Dean, J. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*, 25(1), 24–29. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>
- Goodman, K. W., Miller, R. A., & Etherton, J. S. (2020). Ethical and policy issues in artificial intelligence and medicine. *Academic Medicine*, 95(3), 334–339. <https://doi.org/10.1097/ACM.00000000000003161>
- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5–14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>

- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H., & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4), 230–243. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>
- Kalyan, K. S., Sangeetha, S., & Monteiro, J. M. (2021). Clinical natural language processing in healthcare: A review. *Journal of Biomedical Informatics*, 117, 103746. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2021.103746>
- Keesara, S., Jonas, A., & Schulman, K. (2020). Covid-19 and Health Care's Digital Revolution. *The New England journal of medicine*, 382(23), e82. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2005835>
- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17(1), 195. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1426-2>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Leslie D. Understanding artificial intelligence ethics and safety. The Alan Turing Institute. 2019.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., van der Laak, J. A. W. M., van Ginneken, B., & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
- London, A. J. (2019). Artificial intelligence and black-box medical decisions: Accuracy versus explainability. *Hastings Center Report*, 49(1), 15–21. <https://doi.org/10.1002/hast.973>
- Meskó, B. (2023). The role of generative artificial intelligence in healthcare. *NPJ Digital Medicine*, 6(1), 112. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00881-0>
- Morley, J., Machado, C. C. V., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: A mapping review. *Social science & medicine* (1982), 260, 113172. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113172>
- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). Predicting the future—Big data, machine learning, and clinical medicine. *New England Journal of Medicine*, 375(13), 1216–1219. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181>
- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). Predicting the future—Big data, machine learning, and clinical medicine. *New England Journal of Medicine*, 375(13), 1216–1219. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181>
- Price, W. N., & Cohen, I. G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature Medicine*, 25(1), 37–43. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0272-7>

- Raghupathi, W., & Raghupathi, V. (2014). Big data analytics in healthcare: Promise and potential. *Health Information Science and Systems*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2047-2501-2-3>
- Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, et al. CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning. arXiv. 2018.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Secinaro, S., Calandra, D., Secinaro, A., Muthurangu, V., & Biancone, P. (2021). The role of artificial intelligence in healthcare: A structured literature review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01488-9>
- Steinhubl, S. R., Muse, E. D., & Topol, E. J. (2015). The emerging field of mobile health. *Science Translational Medicine*, 7(283), 283rv3. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaa3487>
- Topol E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO Publishing.
- Wahl, B., Cossy-Gantner, A., Germann, S., & Schwalbe, N. R. (2018). Artificial intelligence (AI) and global health: How can AI contribute to health in resource-poor settings? *BMJ Global Health*, 3(4), e000798. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000798>
- World Health Organization. (2021). *Ethics and governance of artificial intelligence for health*. World Health Organization.
- Yu, K. H., Beam, A. L., & Kohane, I. S. (2018). Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, 2(10), 719–731. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0305-z>

3. Bölüm

Fizyoterapi Eğitiminde Yapay Zekâ Destekli Öğrenme Yaklaşımları

Müge DERELİ*

1. Giriş

Günümüzde yapay zekâ teknolojileri; tıp, hemşirelik ve sağlık bilimleri eğitiminde öğrencilerin öğrenme süreçlerini zenginleştiren yenilikçi öğrenme yaklaşımları sunmaktadır. Fizyoterapi eğitiminde yapay zekâ, öğrencilerin teorik bilgi birikimini klinik yetkinliğe dönüştürme sürecinde stratejik bir rol üstlenir. Büyük dil modelleri, sanal gerçeklik ve simülasyon tabanlı sistemler gibi yapay zekâ araçlarını geleneksel eğitim yöntemlerini ile birleştiren bu yaklaşımlar, öğrencilerin değişen sağlık hizmeti dinamiklerine uyumunu kolaylaştırırken, güvenli bir ortamda klinik muhakeme becerilerini geliştirmelerine ve hata oranını düşürmelerine olanak tanır. Bu bölümde, fizyoterapi eğitiminde yapay zekâ destekli öğrenme yaklaşımları kapsamlı biçimde ele alınmakta; üretken yapay zekâ, makine öğrenimi, derin öğrenme, doğal dil işleme ve sanal gerçeklik uygulamalarının eğitim çıktıları üzerindeki etkileri incelenmektedir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Sağlık Eğitiminde Yapay Zekânın Gelişimi

Bilgisayar biliminin bir dalı olan yapay zekâ; makinelerin öğrenme, problem çözme ve muhakeme gibi insana özgü bilişsel süreçleri simüle etmesini sağlayan teknolojilerin geliştirilmesidir (Can vd., 2021; Faccia vd., 2024). Sağlık eğitimindeki temelleri 1970’li yıllara dayanan bu teknolojiler, 21. yüzyılda veri işleme kapasitesindeki artışla birlikte klinik durumlarda hızla yaygınlaşmıştır (Hanafi vd., 2025). 2010’lu yıllardan itibaren yapay zekâ sistemleri yalnızca veri analizi yapan araçlar olmaktan çıkarak, klinik akıl yürütmeyi simüle edebilen ve öğrenci performansına göre geri bildirim sağlayabilen sistemlere dönüşmüştür (Rowe, 2019). 2022 yılı sonrası ise büyük dil modellerine dayalı üretken yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşması, sağlık eğitiminde önemli bir dönüşüm sürecini başlatmıştır (Lindbäck vd., 2025a; Naqvi vd., 2024).

Fizyoterapi eğitiminde kullanılan geleneksel yöntemler, öğrencilerin teorik bilgilerini klinik becerilere dönüştürme sürecinde bazı sınırlılıklar gösterebilmektedir (Rowe, 2019; Veras vd., 2024). Özellikle yeterli klinik pratik

* ORCID:0000-0002-9494-5034

olanaklarının kısıtlı olması, bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimlerinin sınırlı kalması ve klinik akıl yürütme becerilerinin geliştirilmesinde yaşanan güçlükler, eğitim süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli teknolojiler; etkileşimli simülasyonlar, anlık geri bildirim mekanizmaları ve bireyselleştirilmiş öğrenme ortamları sunarak fizyoterapi eğitimindeki mevcut boşlukları gidermeye yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır (Kennedy vd., 2023; Naqvi vd., 2024; Sahin vd., 2025). Bunun yanı sıra, dijital yeterlilik ve yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi ile etik ve güvenlik boyutlarının eğitim süreçlerine entegre edilmesi de giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Abuzaid vd., 2022; Thompson ve Fecher, 2024; Lindbäck vd., 2025b). Ancak mevcut literatür incelendiğinde, tıp eğitimine kıyasla fizyoterapi eğitiminde yapay zekâ uygulamalarına yönelik çalışmaların sınırlı olduğu ve bu alanda daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Veras vd., 2024).

2.2. Yapay Zekâ Sistemleri ve Fizyoterapi Eğitiminde Kullanım Alanları

Fizyoterapi eğitiminde teorik bilgilerin klinik yetkinliğe dönüştürülmesi sürecinde yapay zekâ araçları önemli bir rol üstlenmektedir. Yapay zekânın eğitimde öğretim elemanının yerini alan bir unsurdan ziyade, öğrenme sürecini destekleyen bir araç olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu bağlamda, geleneksel eğitime entegre edilen yapay zekâ uygulamaları eğitim materyallerini zenginleştirmekte ve öğrencilere daha kişiselleştirilmiş geri bildirim sunmaktadır (Sahin vd., 2025). Fizyoterapi müfredatındaki temel gereksinimler ile bu gereksinimlere yanıt veren yapay zekâ teknolojileri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Fizyoterapi Eğitiminde Yapay Zekâ Tabanlı Yaklaşımlar ve Beceri Odakları	
Yapay Zekâ Aracı	Geliştirilen Beceriler
Üretken Yapay Zekâ (Sudo vd., 2025)	Klinik Muhakeme, Vaka Analizi, Kişiselleştirilmiş Geri Bildirim
Sanal ve Artırılmış Gerçeklik (Tjorven vd., 2026)	Klinik Beceri, Güvenli Pratik, Hata Analizi
Etkileşimli Simülasyonlar (García-Robles vd., 2025)	Anatomi ve Fizyoloji Bilgisinin Görselleştirilmesi

Eğitimde kullanılan yapay zekâ sistemleri genel olarak makine öğrenimi, derin öğrenme, üretken yapay zekâ ve doğal dil işleme yaklaşımlarını içermektedir (Öksüz Gül, 2024). Makine öğrenimi algoritmaları, veri temelli tahmin ve sınıflandırma süreçlerinde kullanılırken; derin öğrenme modelleri, çok

katmanlı yapay sinir ağıları aracılığıyla daha karmaşık veri yapılarının analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede öğrenciler, klinik karar verme süreçlerinde daha kapsamlı analizler yapabilmektedir (Keleş, 2022). Üretken yapay zekâ, bu mimariler üzerine inşa edilerek sadece analiz yapmakla kalmayıp, fizyoterapi öğrencileri için özgün vaka senaryoları, tedavi planları ve etkileşimli öğrenme içerikleri üretme kapasitesiyle öne çıkmaktadır (Akalin ve Demirbaş, 2022). Doğal dil işleme tabanlı büyük dil modelleri ise öğrencilerin vaka temelli analizler gerçekleştirmesine ve bireyselleştirilmiş geri bildirim almasına olanak tanıyarak teorik bilginin klinik yetkinliğe dönüşümünde önemli bir rol üstlenmektedir (Abd-Alrazaq vd., 2023).

Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin eğitimde kullanımı bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Özellikle etik kaygılar, veri güvenliği sorunları ve üretken modellerin zaman zaman hatalı veya eksik bilgi üretme potansiyeli, bu teknolojilerin fizyoterapi eğitimine entegrasyonunda dikkatli ve eleştirel bir yaklaşım benimsenmesini gerekli kılmaktadır (Lindbäck vd., 2025a; Severin ve Gagnon, 2024; Ziab vd, 2025).

2.3. Makine Öğrenimi Temelli Yaklaşımlar

Makine öğrenimi, büyük veri kümelerinden öğrenerek tahmin ve sınıflandırma yapabilen algoritmalar geliştirmeye odaklanır (Başaran ve Elbasan, 2023). Fizyoterapi eğitiminde bu modeller, öğrencilerin klinik akıl yürütme, tedavi planlama ve tedavi sonuçlarını öngörme becerilerini geliştirmek amacıyla kullanılır (Sahin vd., 2025).

Makine öğrenimi tabanlı sistemler, öğrenci tarafından girilen hasta verileri üzerinden olası tanımlar ve tedavi seçenekleri sunarak bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimi sağlar (Karahana vd, 2026). Ayrıca, simülasyon ortamlarında farklı senaryoların analiz edilmesiyle öğrencilerin karar verme süreçleri güçlendirilir (Akalin ve Demirbaş, 2022; Rowe, 2019). Bunun yanı sıra, elektroterapi, mobilizasyon ve terapötik egzersiz gibi çeşitli müdahalelerin olası etkilerini öğrenciler için daha anlaşılır kılmakta, en uygun müdahale stratejisinin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır (Kaplan vd., 2024).

2.4. Derin Öğrenme Temelli Yaklaşımlar

Derin öğrenme, yapay sinir ağlarını kullanarak büyük ve karmaşık veri yapılarından anlamlı örüntüler çıkarır (Başaran ve Elbasan, 2023; Keleş, 2022). Fizyoterapi eğitiminde özellikle görüntü analizi, hareket değerlendirmesi ve tanı süreçlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Radyolojik görüntülerin yorumlanması ve hareket analizi gibi karmaşık görevlerde yüksek doğruluk düzeyi sunarak öğrencilerin klinik değerlendirme becerilerini geliştirir (Kaplan

vd., 2024). Örneğin, kas-iskelet sistemi problemleri, kronik ağrı, kardiyak ve nörokognitif durumlarda geniş hasta verilerini işleyerek kişiselleştirilmiş rehabilitasyon programları oluşturmayı kolaylaştırır (Attoh-Mensah vd., 2025).

Eğitim kapsamında vaka senaryosu üretme, anlık geri bildirim verme ve simüle hasta desteği sunma gibi işlevleriyle öğrencilerin teorik ve pratik bilgi düzeyini yükseltirken (Lowe, 2024), video ve görüntü tabanlı analizler aracılığıyla postür ve hareket bozukluklarının daha objektif değerlendirilmesine olanak tanır (Nogales vd., 2024).

2.5. Doğal Dil İşleme Temelli Yaklaşımlar

Doğal dil işleme, metin ve konuşma verilerini analiz ederek insan dilini anlama ve üretme kapasitesi sunan algoritma ve modelleri kapsayan bir yapay zekâ alt alanıdır (Aramaki vd., 2022). Günümüzde büyük dil modellerine dayalı sohbet robotları (*ChatGPT*, *Gemini*, *DeepSeek vb.*), sağlık eğitiminde giderek daha yaygın kullanılmaktadır (Sağlam ve Şahin, 2025).

Bu sistemler, fizyoterapi eğitiminde senaryo temelli öğrenme yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak tanıyarak öğrencilerin problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerini desteklemektedir (Okuno vd., 2025). Öğrenciler, bu araçlar aracılığıyla klinik vaka senaryoları oluşturabilmekte, hasta öykülerini analiz edebilmekte ve tedavi planlarına yönelik geri bildirim alabilmektedir. Bu durum, teorik bilginin klinik uygulamaya aktarılmasını kolaylaştırmaktadır (Lindbäck vd., 2025a; Severin ve Gagnon, 2024).

Büyük dil modelleri ile desteklenen hikâye temelli öğrenme yaklaşımları, öğrencilerin aktif katılımını artırmakta ve klinik muhakeme süreçlerini güçlendirmektedir. Bu yaklaşımlar, öğrencilerin simüle edilmiş senaryolar içerisinde karar verme süreçlerini deneyimlemelerine olanak tanıyarak öğrenmenin derinleşmesini sağlamaktadır (Okuno vd., 2025). Ayrıca, bu modellerle oluşturulan vaka senaryolarının geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkileşimli ve sürükleyici olduğu, bu durumun da akademik performansı olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmektedir (Okuno vd., 2025).

Sohbet robotlarının fizyoterapi eğitimindeki kullanımına yönelik yapılan çalışmalar, bu araçların öğrencilerin öğrenme süreçlerini destekleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir. Örneğin, büyük dil modellerinin klinik sorulara verdiği yanıtları fizyoterapi öğrencilerinin verdiği yanıtlar ile karşılaştıran bir çalışmada, büyük dil modellerinin kavramsal doğruluk, bütünlük ve klinik rehberlerle uyum açısından tatmin edici performans sergilediği bildirilmektedir (Michou vd., 2026). Randomize kontrollü bir çalışmada ise yapay zekâ destekli problem temelli öğrenmenin, öğrencilerin klinik muhakeme becerilerini ve yapay zekâ özyeterliliğini artırdığı gösterilmiştir (Sahin vd., 2025).

Fizyoterapi öğrencilerinde sohbet robotlarına yönelik tutumları inceleyen çok merkezli bir çalışma, öğrencilerin temkinli iyimserlik sergilediğini, algılanan fayda ve kullanım kolaylığının yüksek olduğunu ve üst düzey teknoloji meraklısı öğrencilerde kabulün daha fazla bulunduğunu ortaya koymuştur (Güler vd., 2026). Ayrıca, bu araçların müfredat geliştirme, öğrenme materyali oluşturma ve değerlendirme süreçlerinin tasarlanmasında önemli avantajlar sunduğu belirtilmektedir (Naqvi vd., 2024).

2.6. Sanal Gerçeklik ve Robotik Teknoloji Temelli Yaklaşımlar

Sanal gerçeklik ve robotik teknoloji destekli yaklaşımlar, fizyoterapi eğitiminde uygulama temelli öğrenmeyi destekleyen önemli araçlar arasında yer almaktadır. Bu teknolojiler, öğrencilerin gerçek klinik senaryoları güvenli ve kontrollü bir ortamda deneyimlemelerine olanak tanıyarak motor becerilerini ve klinik karar verme süreçlerini geliştirmektedir (Hartstein vd., 2022).

Sanal gerçeklik, bilgisayar tarafından oluşturulan üç boyutlu ortamlar aracılığıyla kullanıcıların gerçek zamanlı etkileşim kurmasını sağlayan bir teknolojidir (Mehraeen vd., 2023). Bu sistemler sayesinde öğrenciler, teorik bilgilerini görselleştirilmiş ve etkileşimli ortamlar içerisinde uygulama fırsatı bulmaktadır. Robotik teknolojiler ise rehabilitasyon süreçlerinde hareketleri destekleyen veya yönlendiren programlanabilir sistemler olarak tanımlanmakta olup, özellikle tekrarlayıcı egzersizlerin hassas ve kontrollü bir şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır (Andrade vd., 2014). Bu teknolojilerin geleneksel yöntemleri tamamlayıcı bir unsur olarak fizyoterapi müfredatına entegre edilmesi önerilmektedir (Lucena-Antón vd., 2022).

Sanal gerçeklik uygulamaları, öğrencilere hata yapma riski olmadan pratik yapma imkânı sunarak öğrenme sürecini desteklemektedir. Öğrenciler bu ortamda klinik kararlarını test edebilmekte ve hatalarından öğrenme fırsatı elde etmektedir (El-Sobkey vd., 2026). Ayrıca sanal hastalarla etkileşim kurarak iletişim becerilerini geliştirmekte ve farklı hasta profillerine yönelik empati becerilerini artırabilmektedirler (Sahin vd., 2025). Özellikle nadir veya karmaşık vakaların simülasyonu, öğrencilerin klinik deneyimlerini çeşitlendirmekte ve öğrenme süreçlerini zenginleştirmektedir (Ferrer-Peña vd., 2025).

Bu teknolojiler, anatomi ve klinik becerilerin öğrenilmesini de kolaylaştırmaktadır. Üç boyutlu görselleştirme imkânı sayesinde karmaşık anatomik yapılar ve palpasyon noktaları daha anlaşılır hale gelmekte; bu durum öğrencilerin klinik beceri gelişimini desteklemektedir (Lindbäck vd., 2025b; Lucena-Antón vd., 2022). Ayrıca, hareket takibi ve analizine olanak tanıyan sistemler, özellikle inme rehabilitasyonu ve ağrı yönetimi gibi alanlarda motor öğrenme süreçlerinin daha etkin biçimde gözlemlenmesini sağlamaktadır (Ghrouz vd., 2025). Oyunlaştırma

unsurları içeren uygulamalar ise öğrencilerin motivasyonunu artırarak aktif öğrenmeyi teşvik etmektedir (Lucena-Antón vd., 2022).

Robotik sistemler, fizyoterapi eğitiminde hem öğrenme aracı hem de ölçüm sistemi olarak önemli bir rol üstlenir. Bu sistemler, öğrencilere motor kontrol ve biyomekanik süreçleri uygulamalı olarak öğretirken, aynı zamanda terapötik müdahalelerin etkinliğini objektif olarak değerlendirme imkânı sunar (Ghrouz vd., 2025). Robotik sensörler, bir terapist elinin algılayamayacağı kadar hassas değişimleri ölçülebilir ve uygulama sırasında anlık geri bildirim sağlayabilir. Bu özellikler sayesinde öğrenciler, uygulama performanslarını nesnel verilerle değerlendirme ve geliştirme fırsatı bulmaktadır (Hartstein vd., 2022). Ayrıca robotik sistemler, uygulama süresi, yoğunluğu ve doğruluğu gibi parametreler hakkında anlık geri bildirim sunarak öğrenme sürecini daha ölçülebilir ve sistematik hale getirmektedir (Lucena-Antón vd., 2022).

2.7. Yapay Zekâ Destekli Öğrenmenin Avantajları ve Sınırlılıkları

Yapay zekâ teknolojilerinin fizyoterapi eğitimine entegrasyonu, öğrenme çıktılarının iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin kullanımı bazı teknik, pedagojik ve etik sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli öğrenme yaklaşımlarının avantaj ve sınırlılıklarının bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapay zekâ destekli öğrenmenin öne çıkan avantajları aşağıda özetlenmiştir:

- **Bireyselleştirilmiş ve adaptif öğrenme:** Yapay zekâ sistemleri, her bir öğrencinin öğrenme hızını ve bilgi eksikliklerini analiz ederek eğitim içeriklerini kişiye özel uyarlayabilmektedir (Faccia vd., 2024). Bu durum, öğrencilerin öğrenme süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirir (Can vd., 2021).
- **Klinik akıl yürütme ve güvenli öğrenme deneyimi:** Yapay zekâ destekli simülasyonlar, öğrencilerin gerçek hastalar üzerinde risk oluşturmadan klinik karar verme becerilerini geliştirmelerine olanak tanır (Sahin vd., 2025).
- **Anlık ve objektif geri bildirim:** Robotik sistemler ve sensör tabanlı araçlar, yapılan hataları tespit ederek öğrencilere uygulama anında geri bildirim sunar (Lucena-Antón vd., 2022).
- **Sürekli erişilebilir öğrenme desteği:** Büyük dil modelleri (sohbet robotları) öğrencilerin ders dışı öğrenme süreçlerini destekleyerek bilgiye kesintisiz erişim sağlar (El-Sobkey vd., 2025).
- **Motivasyon:** Özellikle sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları, öğrenme sürecini daha etkileşimli hale getirerek öğrencilerin derse olan ilgisini ve katılımını artırır (Lucena-Antón vd., 2022).

Fizyoterapi eğitiminde kullanılan yapay zekâ araçlarının uygulama alanları ve sağladıkları kazanımlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Fizyoterapi eğitiminde kullanılan Yapay zekâ araçlarının uygulama alanları ve kazanımları

Uygulama Alanı	Kullanılan Araçlar	Kazanımlar	Kaynaklar
Anatomi ve fizyoloji öğretimi	Sanal gerçeklik Artırılmış gerçeklik 3D projeksiyonlar	<ul style="list-style-type: none">• Karmaşık anatomik yapıları (omurga, vb.) üç boyutlu görselleştirir.• Öğrencilerin materyal ile etkileşimini ve motivasyonunu artırır.	(Lucena-Antón vd., 2022)
Klinik beceri gelişimi	Yapay zekâ temelli klinik akıl yürütme simülasyonları Sosyal robotlar Sanal hastalar	<ul style="list-style-type: none">• Güvenli bir ortamda hata yapma imkanıyla klinik karar verme becerisini geliştirir.• Problem çözme ve ince el becerisinin gelişimini sağlar.	(López-Caudana vd., 2021; Lucena-Antón vd., 2022; Sahin vd., 2025)
Tanı ve değerlendirme süreçleri	Makine öğrenimi algoritmaları Sensör tabanlı hareket analizi sEMG sistemleri	<ul style="list-style-type: none">• İnsan gözünün fark edemeyeceği sapmaları objektif şekilde ölçer.• Veriye dayalı değerlendirme yapar.• Anlık geri bildirim mekanizması sunar.	(Hanafi vd., 2025; Merletti, 2024)
Tedavi planlaması ve uygulaması	Üretken yapay zekâ Robot destekli rehabilitasyon sistemleri Adaptif öğrenme platformları	<ul style="list-style-type: none">• Kişiselleştirilmiş tedavi protokolleri hazırlar.• Vaka temelli analizlerde "tam zamanında" bilgiye erişim ve uygulama hassasiyeti sunar.	(Lindbäck vd., 2025a; Molle vd., 2025; Naqvi vd., 2024)

Yapay zekâ destekli öğrenmenin sunduğu fırsatlara rağmen, bu teknolojilerin kullanımı çeşitli sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Bu sınırlılıklar aşağıda özetlenmiştir:

- **Akademik dürüstlük ve kötüye kullanım:** Üretken yapay zekâ araçlarının yaygınlaşması, öğrencilerin değerlendirme süreçlerinde bu araçları etik dışı kullanma riskini artırır (Lindbäck vd., 2025a).
- **Dijital bölünme ve erişim eşitsizliği:** Yapay zekâ temelli araçların ve robotik teknolojilerin yüksek maliyeti, eğitimde fırsat eşitsizliklerine yol açabilir (Veras vd., 2024).
- **Bilgi doğruluğu ve halüsinasyon riski:** Büyük dil modelleri, bazı durumlarda hatalı veya doğrulanmamış bilgiler (halüsinasyon) üretebilir. Bu durum, özellikle klinik karar verme süreçlerinde dikkatli olunmasını gerektirir (Naqvi vd., 2024).
- **İnsan etkileşiminin azalması:** Fizyoterapi, yüksek düzeyde dokunsal iletişim ve empati gerektiren bir alan olduğundan, eğitimin aşırı teknoloji odaklı hale gelmesi kişilerarası becerilerin gelişimini olumsuz etkileyebilir (Rowe, 2019).
- **Eğitimcilerin teknoloji yetersizliği:** Mevcut çalışmalar, eğitimcilerin yapay zekâya yönelik ilgisinin yüksek olmasına rağmen bu teknolojileri etkin şekilde kullanma konusunda bilgi ve beceri eksiklikleri olduğunu göstermektedir (Abuzaid vd., 2022).

Yapay zekâ teknolojilerinin sunduğu avantajlardan en üst düzeyde yararlanabilmek için bu sistemlerin geleneksel eğitim yöntemlerinin yerine geçmesi yerine, onları tamamlayıcı bir unsur olarak hibrit modeller içinde kullanılması önerilmektedir. Bu süreçte etik rehberlerin oluşturulması, veri güvenliğinin sağlanması ve öğrencilerin yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi kritik öneme sahiptir (Lindbäck vd., 2025a; Rowe, 2019).

Öğrencilerin yapay zekâya yönelik algı ve deneyimlerinin dikkate alınması, bu teknolojilerin eğitim süreçlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesini desteklemektedir (Reoli vd., 2025). Bu doğrultuda, fizyoterapi eğitiminde yapay zekâ kullanımının sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde yaygınlaştırılabilmesi için pedagojik, etik ve teknolojik boyutların birlikte ele alınması gerekmektedir.

3. Sonuç ve Öneriler

Yapay zekâ, fizyoterapi eğitiminde öğrencilerin daha donanımlı, analitik düşünebilen ve veriye dayalı karar verebilen sağlık profesyonelleri olarak yetiştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu bölümde ele alınan yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar, özellikle bireyselleştirilmiş öğrenme, güvenli simülasyon

ortamları, anlık geri bildirim ve sürekli erişilebilirlik gibi olanaklar aracılığıyla eğitim süreçlerini dönüştürme potansiyeline sahiptir.

Yapay zekâ teknolojilerinin eğitimde kullanımı bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Etik sorunlar, dijital eşitsizlik, bilgi doğruluğu riski ve insan etkileşiminin azalması gibi faktörler, bu teknolojilerin dikkatli ve dengeli bir şekilde uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, fizyoterapi eğitiminde yapay zekâ destekli yaklaşımlar, geleneksel yöntemlerin yerine geçen bir yapıdan ziyade, onları tamamlayan hibrit modeller içerisinde değerlendirilmelidir.

Fizyoterapi öğrencileri ve eğitimcilerinin yapay zekâyâ yönelik ilgisi yüksek olmakla birlikte, bu teknolojilerin etkin kullanımı için gerekli teknik bilgi ve becerilerin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, “Yapay Zekâ Okuryazarlığı” ve “Dijital Sağlık Etiği” gibi derslerin müfredata entegre edilmesi, üretken yapay zekâ araçlarının bilinçli ve etik kullanımını destekleyecektir. Ayrıca, veri güvenliği ve gizlilik konularını kapsayan, fizyoterapi alanına özgü etik rehberlerin ve standart değerlendirme kriterlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Gelecekteki çalışmalar kapsamında, kısa süreli etkilere odaklanan mevcut araştırmaların ötesinde, yapay zekânın mezuniyet sonrası klinik beceriler ve hasta sonuçları üzerindeki uzun süreli etkilerini inceleyen boylamsal çalışmalar yürütülmelidir. Fizyoterapi mesleğinin empati, dokunma ve insan etkileşimi gibi insani unsurlarını koruyan hibrit modeller geliştirilmeli; ayrıca dijital eşitsizliği gidermek için kolay erişilebilir, açık kaynaklı araçlar tasarlanmalıdır.

Kaynakça

- Abd-Alrazaq, A., AlSaad, R., Alhuwail, D., Ahmed, A., Healy, M., Latifi, S., Aziz, S., Damseh, R., Alrazak, S. A., & Sheikh, J. I. (2023). Large Language Models in Medical Education: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *JMIR Medical Education*, 9. <https://doi.org/10.2196/48291>
- Abuzaid, M., Elshami, W., Hegazy, F. A., Aboelnasr, E. A., & Tekin, H. O. (2022). The Impact of Artificial Intelligence (AI) in Physiotherapy Practice: A Study of Physiotherapist Willingness and Readiness. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(3), 196. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.3.21>
- Akalm, B., & Demirbaş, M. B. (2022). Rehabilitasyon Hizmetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları. *Acta Infologica*, 6(2), 141-161. <https://doi.org/10.26650/acin.1068576>
- Andrade, A. de O., Pereira, A. A., Walter, S., Almeida, L. M. de, Loureiro, R., Compagna, D., & Kyberd, P. (2014). Bridging the gap between robotic technology and health care. *Biomedical Signal Processing and Control*, 10, 65. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2013.12.009>
- Aramaki, E., Wakamiya, S., Yada, S., & Nakamura, Y. (2022). Natural Language Processing: from Bedside to Everywhere. *Yearbook of Medical Informatics*, 31(1), 243. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742510>
- Attoh-Mensah, E., Boujut, A., Desmons, M., & Perrochon, A. (2025). Artificial intelligence in personalized rehabilitation: current applications and a SWOT analysis. *Frontiers in Digital Health*, 7, 1606088. <https://doi.org/10.3389/fgth.2025.1606088>
- Başaran, Z., & Elbasan, B. (2023). Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Güncel Yazılım Teknolojisi: Görüntü İşleme Tekniği. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(2), 79-88. <https://doi.org/10.52881/gsbdergi.1265642>
- Can, B., Bařer, A., Altuntař, S. B., Özceylan, G., & Kolcu, G. (2021). Artificial Intelligence in Health Education. *SDÜ Tıp Fakóltesi Dergisi*, 28(2), 355-359. <https://doi.org/10.17343/sdutfd.876439>
- El-Sobkey, S. B., ElKholly, M., Abdallah, M., Mohamed, D., & Abdeldayem, T. S. (2026). Use of ChatGPT in physical therapy education: Comparative study of usefulness to students and ease of use perceptions, and descriptions of usage patterns. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 21(1), 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2026.01.006>
- El-Sobkey, S. B., Mohamed, D., ElKholly, M., Abdeldayem, T. S., Fawzy, A., Ahmed, Y. F., Khatib, A. E., Khalid, H., Alharbi, M. D., Fathy, K., Ahmed, K. T., & Abdallah, M. S. (2025). Utilization patterns of AI chatbots among

- physical therapy students: A multicountry cross-sectional study. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 20(5), 663. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2025.08.005>
- Faccia, A., Ridon, M., & Cavaliere, L. P. L. (2024). The Artificial Intelligence (AI) Application for an Automated Education System. In *Corporate Governance, Digitalization, and Energy Transition* (pp. 143-174). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003425809-12>
- Ferrer-Peña, R., Di-Bonaventura, S., Gonzalez, A., & Lerín-Calvo, A. (2025). Feasibility of a Randomized Controlled Trial of Large AI-Based Linguistic Models for Clinical Reasoning Training of Physical Therapy Students: Pilot Randomized Parallel-Group Study. *JMIR Formative Research*, 9. <https://doi.org/10.2196/66126>
- García-Robles, P., Obrero-Gaitán, E., Cortés-Pérez, I., Ibancos-Losada, M. del R., Díaz-Fernández, Á., & Osuna-Pérez, M. C. (2025). The effectiveness of immersive virtual reality as a student-centered tool for learning neuroanatomy: A single-blind randomized controlled trial with physiotherapy students. *Anatomical Sciences Education*, 18(10), 1083. <https://doi.org/10.1002/ase.70068>
- Ghrouz, A., Herbawi, F., Abualkhair, D., Jaber, R. A., Dhaidel, H., Salah, H., Anabtawi, A., Alsharif, A., Alqub, M., Ghanim, M., & Nijmeh, H. A. (2025). Awareness and perceptions of virtual reality in physiotherapy: a cross-sectional study among students and clinicians in Palestine. *BMC Medical Education*, 25(1), 1524. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-08117-3>
- Öksüz Gül, F. (2024). Eğitimde Yapay Zekâ: Eğitim Fakültesi Akademisyenleri İçin Fırsatlar ve Riskler. *Medeniyet Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 71-97. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mead/issue/89232/1609516>
- Güler, M. A., Dag, S., Kayal, S., Can, M., & Şimşekkaya, S. N. (2026). Physiotherapy students' acceptance of AI-based chatbots (including ChatGPT) in education: a multi-institutional study from Turkey. *BMC Medical Education*, 26(1), 174. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.8286700.v1>
- Hanafi, B., Hasan, A. F., Ahmad, A., & Ali, M. (2025). Advancing public health through artificial intelligence in physiotherapy: a bibliometric analysis. *Informatics and Health*, 2(2), 99. <https://doi.org/10.1016/j.infoh.2025.05.001>
- Hartstein, A., Verkuyl, M., Zimney, K., Yockey, J., & Berg-Poppe, P. (2022). Virtual Reality Instructional Design in Orthopedic Physical Therapy

- Education: A Mixed-Methods Usability Test. *Simulation & Gaming*, 53(2), 111. <https://doi.org/10.1177/10468781211073646>
- Kaplan, M., Çakar, F., & Bingöl, H. (2024). Sağlık Alanında Yapay zekânın Kullanımı: Derleme. *Muş Alparslan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(3), 75-85. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/maunsbd/issue/89058/1576690>
- Karahan, A., Duran, B., Yüceel, E., Erol, Y. D., Khaselouei, L. A., Acar, G., ... & Çolak, T. K. (2026). Omurga Rehabilitasyonunda Fizyoterapistlerin Yapay Zekâ ve Teknoloji Kullanımı. *Journal of Health Sciences and Management*, 6(1), 18-24.
- Keleş, H. (2022). Tıpta Yapay Zeka Uygulamaları. *The Journal of Kırıkkale University Faculty of Medicine*, 24(3), 604-613. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kutfd/issue/74639/1214512>
- Kennedy, G. A. L., Pedram, S., & Sanzone, S. (2023). Improving safety outcomes through medical error reduction via virtual reality-based clinical skills training. *Safety Science*, 165, 106200. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106200>
- Lindbäck, Y., Valeskog, K., Schröder, K., & Sonesson, S. (2025a). Structured Development of Learning and Assessment Tasks to Prevent Generative AI Misuse and Enhance AI Literacy in the Faculty in Physiotherapy Education. *Journal of Medical Education and Curricular Development*, 12. <https://doi.org/10.1177/23821205251378794>
- Lindbäck, Y., Schröder, K., Engström, T., Valeskog, K., & Sonesson, S. (2025b). Generative artificial intelligence in physiotherapy education: great potential amidst challenges- a qualitative interview study. *BMC Medical Education*, 25(1), 603. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07106-w>
- López-Caudana, E. O., López-Orozco, C. F., Bárbara, C. M., Reyes, G. E. B., Ponce, P., & Chong-Quero, J. E. (2021). Physical therapy using robotics: A project-based learning experience for undergraduate students. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(5), 32. <https://doi.org/10.14742/ajet.7139>
- Lowe, S. W. (2024). The role of artificial intelligence in Physical Therapy education. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s43161-024-00177-8>
- Lucena-Antón, D., Fernández-López, J. C., Pacheco-Serrano, A. I., García-Muñoz, C., & Moral-Muñoz, J. A. (2022). Virtual and Augmented Reality versus Traditional Methods for Teaching Physiotherapy: A Systematic Review. *European Journal of Investigation in Health Psychology and Education*, 12(12), 1780. <https://doi.org/10.3390/ejihpe12120125>

- Mehraeen, E., Dashti, M., Ghasemzadeh, A., Afsahi, A. M., Shahidi, R., Mirzapour, P., Karimi, K., Rouzi, M. D., Bagheri, A. B., Mohammadi, S., & SeyedAlinaghi, S. (2023). Virtual Reality in Medical Education during the COVID-19 Pandemic; A Systematic Review. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2551708/v1>
- Merletti, R. (2024). Metrology in sEMG and movement analysis: the need for training new figures in clinical rehabilitation. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 5. <https://doi.org/10.3389/fresc.2024.1353374>
- Michou, I., Fouras, A., Chrysanthakopoulou, D., Theodoritsi, M., Mariettou, S., Stelatou, S., & Koutsojannis, C. (2026). AI-Powered Physiotherapy: Evaluating LLMs Against Students in Clinical Rehabilitation Scenarios. *Applied Sciences*, 16(3), 1165. <https://doi.org/10.3390/app16031165>
- Molle, R., Tamantini, C., & Zollo, L. (2025). Artificial Intelligence in Upper Limb Robot-Aided Physical Rehabilitation: A Systematic Review. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 15(2), 1. <https://doi.org/10.1145/3779302>
- Naqvi, W. M., Shaikh, S. Z., & Mishra, G. (2024). Large language models in physical therapy: time to adapt and adept. *Frontiers in Public Health*, 12, 1364660. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1364660>
- Nogales, A., Rodríguez-Aragón, M., & García-Tejedor, Á. J. (2024). A systematic review of the application of deep learning techniques in the physiotherapeutic therapy of musculoskeletal pathologies. *Computers in Biology and Medicine*, 172, 108082. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2024.108082>
- Okuno, S., Kawamitsu, K., & Yamaguchi, T. (2025). Implementation and Educational Impact of a Story-Centered Curriculum Using a Large Language Model: A Class on Internal Disorders for Physiotherapy Students. *Cureus*, 17(10). <https://doi.org/10.7759/cureus.94390>
- Reoli, R., Marchese, V., Duggal, A., & Kaplan, K. (2025). Student perceptions of artificial intelligence in Doctor of Physical Therapy Education. *Physiotherapy Theory and Practice*, 41(10), 2112. <https://doi.org/10.1080/09593985.2025.2496978>
- Rowe, M. (2019). Artificial intelligence in clinical practice: Implications for physiotherapy education. *OpenPhysio Journal*, 1-6 <https://doi.org/10.14426/art/528>
- Sağlam, G., & Şahin, H. B. (2025). Performance Comparison of Gemini, DeepSeek, and ChatGPT-4o on American Board of Physical Medicine and Rehabilitation Board Exam Practice Questions. *Turkish Journal of Osteoporosis*. <https://doi.org/10.4274/tod.galenos.2025.04875>

- Sahin, G. E., Bayram, G. A., Sierra, A., Akdemir, S., Kurc, D., Tarakçı, D., & Tunali, A. N. (2025). Effects of artificial intelligence based physiotherapy educational approach in developing clinical reasoning skills: a randomized controlled trial. *BMC Medical Education*, 25(1), 1378. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07926-w>
- Severin, R., & Gagnon, K. (2024). An Early Snapshot of Attitudes Toward Generative Artificial Intelligence in Physical Therapy Education. *Journal of Physical Therapy Education*, 39(3), 214. <https://doi.org/10.1097/jte.0000000000000381>
- Sudo, H., Noborimoto, Y., & Takahashi, J. (2025). Evaluation of Few-Shot AI-Generated Feedback on Case Reports in Physical Therapy Education: Mixed Methods Study. *JMIR Medical Education*, 11. <https://doi.org/10.2196/85614>
- Thompson, S. H., & Fecher, P. L. (2024). Using Adult Learning Theory to Guide Instruction in Training Physical Therapy Students on the Use of AI in Didactic Education. *Medical Science Educator*, 34(5), 971. <https://doi.org/10.1007/s40670-024-02066-0>
- Tjorven, S., Nora, M., Jost, S., Mathilde, G., & Kristina, F. (2026). The role of digital teaching methods in supporting practical skills training in the academic training of health professions – a scoping review. *BMC Medical Education*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-026-08785-9>
- Veras, M., Dyer, J.-O., & Kairy, D. (2024). Artificial Intelligence and Digital Divide in Physiotherapy Education. *Cureus*, 16(1). <https://doi.org/10.7759/cureus.52617>
- Ziab, H., Mazbouh, R., Sibli, F., & Nashwan, A. J. (2025). Transforming Pediatric Physiotherapy: The Role of ChatGPT in Therapy, Limitations, and Ethical Considerations. *Cureus*, 17(9). <https://doi.org/10.7759/cureus.91571>

4. Bölüm

Sağlık Alanında Yapay Zekâ Etiği: Mesleki Sorumluluklar ve İnsan Odaklı Yaklaşımlar

Hayriye ÇAKMAK*

1. Giriş

Son yıllarda yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında giderek artan kullanımı, sağlık hizmetlerinin sunum biçimini köklü bir şekilde dönüştürmektedir (Karaca ve Küçük, 2025). Tanı ve tedavi süreçlerinin hızlanması, klinik karar destek sistemlerinin gelişmesi ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının yaygınlaşması, yapay zekânın sağlık hizmetlerine sunduğu önemli katkılar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojik dönüşüm yalnızca teknik ve klinik boyutlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda etik, hukuki ve mesleki sorumluluklara ilişkin yeni tartışma alanlarını da beraberinde getirmektedir (Jiang vd., 2017).

Yapay zekâ sistemlerinin sağlık alanındaki uygulamaları, hasta verilerinin yoğun biçimde kullanılması nedeniyle özellikle mahremiyet ve veri güvenliği konularını ön plana çıkarmaktadır (Asıl, 2025). Büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla elde edilen sağlık verilerinin işlenmesi, bireylerin özel yaşamına ilişkin hassas bilgilerin korunmasını kritik bir etik mesele hâline getirmektedir (Price ve Cohen, 2019). Bunun yanı sıra, algoritmik önyargı ve veri setlerinin temsil gücündeki sınırlılıklar, sağlık hizmetlerinde eşitsizlikleri derinleştirme potansiyeline sahip riskler olarak değerlendirilmektedir (Obermeyer vd., 2019).

Sağlık alanında yapay zekâ etiği tartışmaları, büyük ölçüde klasik biyomedikal etik ilkeleri çerçevesinde şekillenmektedir (Köroğlu, 2025). Beauchamp ve Childress (1994) tarafından ortaya konulan yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet ilkeleri, yapay zekâ temelli sağlık uygulamalarının etik değerlendirilmesinde temel referans noktaları olarak kabul edilmektedir. Ancak yapay zekâ sistemlerinin karar verme süreçlerinde giderek daha fazla yer alması, bu ilkelerin yeniden yorumlanmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle kara kutu olarak nitelendirilen algoritmaların karar mekanizmalarının

* ORCID:0009-0009-3079-3957

şeffaf olmaması, klinik kararların açıklanabilirliği ve hesap verebilirliği açısından önemli sorunlar doğurmaktadır (Floridi vd., 2018).

Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, sağlık profesyonellerinin rol ve sorumluluklarında da önemli değişimlere yol açmaktadır (Ertaş vd., 2024). Geleneksel olarak klinik kararların merkezinde yer alan hekimlerin, yapay zekâ destekli sistemlerle birlikte karar süreçlerini yeniden yapılandırmaları gerekmektedir. Bu durum, “nihai sorumluluk kime aittir?” sorusunu gündeme getirerek etik ve mesleki sınırların yeniden tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır (Morley vd., 2020).

Öte yandan, uluslararası kuruluşlar ve düzenleyici kurumlar, sağlık alanında yapay zekânın etik kullanımına yönelik çeşitli rehberler ve ilke setleri geliştirmiştir (Önder, 2025). Özellikle Dünya Sağlık Örgütü’nün (WHO, 2024) yayımladığı yapay zekâ etik rehberi, insan odaklılık, şeffaflık, hesap verebilirlik ve kapsayıcılık gibi temel ilkeleri vurgulamaktadır. Bu ilkeler, yapay zekâ sistemlerinin yalnızca teknik açıdan etkili değil, aynı zamanda toplumsal değerlerle uyumlu ve etik açıdan sürdürülebilir olmasını amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, sağlık alanında yapay zekâ uygulamaları, sunduğu önemli fırsatların yanı sıra çok boyutlu etik sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması süreçlerinde insan onurunu, hasta haklarını ve mesleki etik ilkeleri merkeze alan bir yaklaşımın benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Yapay Zekâ Kavramı ve Temel Bileşenleri

Yapay Zekâ, son zamanlarda büyük ilgi gören gelişmekte olan bir teknolojidir (Gevarter, 1983). Güvenilirlik, açıklanabilirlik ve etik gibi birçok ilgili konu hakkındaki tartışmalar, insan merkezli ve insan biçimli kavramlarla karakterize edilir ve örneğin, yapay zekâ için altın standart olarak insan benzeri zekânın peşinde koşulmaktadır (Korteling vd., 2021).

Yapay zekâ, insan zekâsına özgü öğrenme, problem çözme, karar verme ve örüntü tanıma gibi bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmesini ifade eden disiplinler arası bir alan olarak tanımlanmaktadır (Russell ve Norvig, 2021). İlk olarak 1950’li yıllarda ortaya çıkan yapay zekâ kavramı, günümüzde özellikle hesaplama gücündeki artış, büyük veri kaynaklarının genişlemesi ve algoritmik gelişmeler sayesinde sağlık, eğitim, finans ve mühendislik gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Haenlein ve Kaplan, 2019).

Yapay zekâ, genel olarak dar yapay zekâ ve genel yapay zekâ olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır (Yılmaz, 2021). Dar yapay zekâ, belirli bir görevi

yerine getirmek üzere tasarlanmış sistemleri ifade ederken, genel yapay zekâ insan zekâsına benzer biçimde çok yönlü bilişsel yeteneklere sahip sistemleri tanımlamaktadır (Topol, 2019). Günümüzde sağlık alanında kullanılan yapay zekâ uygulamaları büyük ölçüde dar yapay zekâ kapsamında yer almakta olup, belirli klinik görevlerde yüksek doğruluk oranlarıyla dikkat çekmektedir.

Yapay zekânın temel bileşenleri arasında makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme ve bilgisayarla görme öne çıkmaktadır (Şeker vd., 2017). Makine öğrenmesi, sistemlerin açıkça programlanmadan verilerden öğrenmesini sağlayan algoritmalar bütünüdür (Mitchell, 1997). Bu yaklaşım, özellikle sağlık alanında hastalık tahmini, risk analizi ve klinik karar destek sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme ise çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla karmaşık veri örüntülerini analiz edebilme kapasitesine sahiptir ve özellikle görüntüleme verilerinin yorumlanmasında önemli avantajlar sunmaktadır (LeCun vd., 2015).

Doğal dil işleme (NLP), bilgisayarların insan dilini anlamasını, yorumlamasını ve üretmesini sağlayan bir yapay zekâ alanıdır (Jurafsky & Martin, 2009). Sağlık sektöründe elektronik sağlık kayıtlarının analiz edilmesi, klinik notların değerlendirilmesi ve hasta-hekim iletişiminin desteklenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Jiang vd., 2017). Bilgisayarla görme ise görüntü ve video verilerinin analiz edilmesini sağlayarak radyolojik görüntülerin değerlendirilmesi, patoloji örneklerinin incelenmesi ve erken teşhis süreçlerinde önemli katkılar sağlamaktadır (Litjens vd., 2017).

Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin etkin bir şekilde çalışabilmesi için büyük veri altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır (Gül ve Yazkan, 2025). Sağlık alanında üretilen yüksek hacimli ve çeşitlilik gösteren veriler, yapay zekâ algoritmalarının eğitilmesi ve doğruluğunun artırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır (Raghupathi ve Raghupathi, 2014). Ancak bu durum, veri kalitesi, veri güvenliği ve etik kullanım gibi konuları da beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak, yapay zekâ; çok disiplinli yapısı, gelişmiş algoritmik sistemleri ve veri temelli yaklaşımı ile sağlık alanında önemli bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır.

2.2. Sağlık Alanında Yapay Zekâ Uygulamaları

Sağlık hizmetleri, küresel ölçekte değerlendirildiğinde ekonomik yapının temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bilim ve teknolojiye yaşanan ilerlemeler, yalnızca üretim ve sanayi alanlarını değil, aynı zamanda hizmet sektörünün önemli bir parçası olan sağlık alanını da dönüştürmüş; bu dönüşüm sağlık hizmetlerinin sunum biçimlerinden organizasyon yapısına kadar pek çok boyutta değişimi beraberinde getirmiştir (Akalın ve Veranyurt, 2020).

Sağlık alanında yapay zekânın en yaygın kullanım alanlarından biri tanı ve teşhis süreçleridir (Tarcan vd., 2024). Özellikle görüntüleme teknolojileri ile entegre edilen derin öğrenme algoritmaları, radyoloji, patoloji ve dermatoloji gibi alanlarda yüksek doğruluk oranlarıyla hastalık tespiti yapabilmektedir. Örneğin, derin öğrenme temelli sistemlerin akciğer nodüllerinin tespitinde ve meme kanseri taramalarında uzman hekimlere yakın hatta bazı durumlarda daha yüksek performans gösterdiği bildirilmektedir (Esteva vd., 2017; Litjens vd., 2017). Bu durum, erken teşhis ve tedavi süreçlerinin iyileştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Robotik cerrahi uygulamaları da yapay zekânın sağlık alanındaki önemli kullanım alanlarından biridir (Kazıcı ve Erol, 2023). Gelişmiş robotik sistemler, cerrahlara daha hassas ve kontrollü müdahale imkânı sunarak operasyonların başarı oranını artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır (Hashimoto vd., 2018).

Yapay zekâ aynı zamanda kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarında da önemli bir rol oynamaktadır (Manavgat, 2026). Genetik veriler, yaşam tarzı faktörleri ve klinik bulguların birlikte analiz edilmesi sayesinde, bireye özgü tedavi planları geliştirilebilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle onkoloji alanında hedefe yönelik tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde etkili olmaktadır (Topol, 2019). Yapay zekâ algoritmaları, büyük veri setlerini analiz ederek hastalıkların seyrini öngörebilmekte ve tedaviye verilen yanıtları tahmin edebilmektedir. Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojileri sağlık hizmetlerinin etkinliğini artıran, hata oranlarını azaltan ve hasta odaklı yaklaşımları güçlendiren önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır.

2.3. Yapay Zekâ ve Sağlık Hizmetlerinde Dönüşüm

Yapay zekâ, insanlara özgü bilişsel süreçleri taklit edebilen ve bu doğrultuda çeşitli görevleri yerine getirebilen teknolojik sistemlerin bütünüdür. Sağlık hizmetleri ise yalnızca bir hizmet alanı olmanın ötesinde; farklı sektörlerle etkileşim içinde olan, disiplinler arası iş birliğini gerektiren ve geniş toplum kesimlerine ulaşma kapasitesine sahip dinamik bir yapı sergilemektedir (Çetin, 2023).

Yapay zekânın sağlık hizmetlerinde yarattığı en önemli dönüşümlerden bir tanesi de, karar verme süreçlerinde ortaya çıkmaktadır (Aşkun, 2024). Geleneksel olarak klinik kararlar, büyük ölçüde hekim deneyimi ve klinik gözlemlere dayanırken, yapay zekâ destekli sistemler bu süreci veri temelli bir yapıya dönüştürmektedir. Büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde, hastaya ait çok boyutlu veriler kısa sürede analiz edilerek tanı ve tedavi süreçlerinde daha isabetli kararlar alınabilmektedir (Jiang vd., 2017). Bu

durum, klinik hata oranlarının azaltılmasına ve sağlık hizmetlerinin kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojileri sağlık hizmetlerinin sunum biçiminde de önemli değişimlere yol açmaktadır. Tele tıp uygulamaları, uzaktan hasta izleme sistemleri ve dijital sağlık platformları, sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta ve coğrafi engelleri önemli ölçüde azaltmaktadır (Davenport ve Kalakota, 2019). Özellikle kronik hastalıkların yönetiminde kullanılan yapay zekâ destekli sistemler, hastaların sürekli izlenmesine olanak tanıyarak erken müdahale imkânı sunmaktadır (Azizoğlu, 2025). Bu durum, sağlık hizmetlerinin reaktif bir yapıdan proaktif ve önleyici bir modele doğru dönüşmesini desteklemektedir.

Sağlık sistemleri açısından değerlendirildiğinde, yapay zekâ uygulamaları maliyet etkinliği ve kaynak yönetimi açısından da önemli avantajlar sunmaktadır (Manavgat, 2026). Hastalıkların erken teşhisi, gereksiz tetkiklerin azaltılması ve sağlık hizmetlerinin daha verimli planlanması, sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır (Uslu ve Demirtaş, 2025). Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması yüksek maliyetler gerektirebilmekte ve bu durum sağlık sistemleri arasında dijital uçurumun derinleşmesine yol açabilmektedir.

Yapay zekâ temelli dönüşüm süreci, beraberinde bazı etik ve mesleki tartışmaları da getirmektedir (Zan ve Zan, 2025). Özellikle algoritmaların karar süreçlerindeki rolü, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi konular sağlık hizmetlerinde güven kavramını yeniden şekillendirmektedir. Sağlık profesyonellerinin yapay zekâ sistemlerine ne ölçüde güveneceği ve bu sistemlerin hatalı kararlarından kimin sorumlu olacağı gibi sorular, bu dönüşüm sürecinin en kritik tartışma alanları arasında yer almaktadır (Morley vd., 2020). Neticede, yapay zekâ teknolojileri sağlık hizmetlerinde çok boyutlu bir dönüşüm yaratmakta; hizmet sunumundan karar verme süreçlerine, hasta deneyiminden sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğine kadar geniş bir alanda etkisini göstermektedir.

2.4. Sağlık Alanında Etik Kavramı ve Temel Yaklaşımlar

Etik, insan davranışlarını doğru yanlış, iyi kötü ve haklı haksız gibi değerler çerçevesinde inceleyen felsefi bir disiplindir (Yılmaz ve Özdemir, 2025). Sağlık alanında etik ise, bireyin yaşamı, sağlığı ve onuru gibi temel değerlere doğrudan temas eden uygulamalar nedeniyle daha özel ve hassas bir konuma sahiptir. Tıp etiği veya biyomedikal etik olarak da adlandırılan bu alan, sağlık hizmetlerinin sunumunda ortaya çıkan ahlaki sorunları analiz etmeyi ve bu sorunlara yönelik normatif çözüm yolları geliştirmeyi amaçlamaktadır (Beauchamp ve Childress,

2019). Sağlık etiği, yalnızca sağlık hizmetlerinin sunumuna odaklanmakla sınırlı kalmayıp, bireylerin hizmet alma sürecinde karşı karşıya kaldıkları etik sorunları da kapsamaktadır. Tıbbi karar verme süreçlerinden sağlık politikalarının oluşturulmasına ve hasta haklarının güvence altına alınmasına kadar uzanan geniş bir alanda, ahlaki ilke ve değerlerin gözetilmesi sağlık etiğinin temel dayanağını oluşturmaktadır (Demirhan, 2017).

Sağlık alanında etik yaklaşımlar, tarihsel süreç içerisinde farklı kuramsal temeller üzerine inşa edilmiştir (Yıldız vd., 2021). Bu yaklaşımlar arasında en yaygın kabul gören çerçeve, Beauchamp ve Childress (2019) tarafından sistematik hale getirilen dört temel etik ilkeye dayanmaktadır: özerklik, yararlılık, zarar vermeme ve adalet. Bu ilkeler, sağlık profesyonellerinin karar verme süreçlerinde rehberlik eden temel normatif yapı taşları olarak kabul edilmektedir (Akman Dömbekci ve Karabulut Meral, 2025).

Özerklik ilkesi, bireyin kendi sağlık kararlarını özgür iradesi doğrultusunda verebilme hakkını ifade etmektedir (Çobanoğlu, 2009). Bu ilke, hastaların bilgilendirilmiş onam sürecine aktif katılımını ve kendi tedavi süreçleri üzerinde söz sahibi olmalarını gerektirmektedir. Modern tıp pratiğinde hasta merkezli yaklaşımın temelini oluşturan özerklik ilkesi, sağlık hizmetlerinde paternalist anlayışın yerini birey odaklı bir modele bırakmasına katkı sağlamıştır (Entwistle vd., 2010).

Yararlılık ilkesi, sağlık profesyonellerinin hastanın yararını gözeterek en uygun tedavi ve bakım hizmetini sunmasını ifade etmektedir (Varkey, 2021). Bu ilke, sağlık hizmetlerinin temel amacının bireyin iyilik hâlini artırmak olduğunu vurgulamaktadır. Bununla yakından ilişkili olan zarar vermeme ilkesi ise, sağlık uygulamalarında hastaya zarar verebilecek her türlü müdahaleden kaçınılması gerektiğini belirtmektedir. Bu iki ilke birlikte değerlendirildiğinde, sağlık profesyonellerinin müdahalelerinin risk yarar dengesi çerçevesinde şekillenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır (Gillon, 1994).

Adalet ilkesi ise sağlık hizmetlerinin eşit, adil ve hakkaniyetli bir şekilde dağıtılmasını ifade etmektedir (Rawls, 2023). Bu ilke, sınırlı sağlık kaynaklarının toplum içerisinde nasıl paylaşılacağına ilişkin etik tartışmaların temelini oluşturmaktadır. Özellikle sağlık hizmetlerine erişimde sosyoekonomik eşitsizliklerin giderilmesi ve dezavantajlı grupların korunması, adalet ilkesinin önemli yansımaları arasında yer almaktadır (Daniels, 2007).

Günümüzde sağlık alanında etik tartışmalar, teknolojik gelişmelerin etkisiyle daha da karmaşık bir hâl almıştır (Önder, 2025). Özellikle yapay zekâ, genetik mühendisliği ve dijital sağlık uygulamaları gibi alanlar, klasik etik yaklaşımların yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, sağlık etiği yalnızca bireysel hasta-hekim ilişkisini değil, aynı zamanda veri yönetimi,

teknolojik sorumluluk ve toplumsal etkiler gibi daha geniş bir çerçeveyi kapsamaktadır (Floridi vd., 2018; Papagiannidis vd., 2025). Sonuç olarak, sağlık alanında etik kavramı ve temel yaklaşımlar, sağlık hizmetlerinin insan onuruna saygılı, adil ve güvenilir bir şekilde sunulmasının temelini oluşturmaktadır.

2.5. Sağlıkta Yapay Zekâ Kullanımında Etik Sorunlar

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında giderek yaygınlaşması, sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırırken aynı zamanda çok boyutlu etik sorunları da beraberinde getirmektedir (Özdemir vd., 2025). Bu sorunlar, yalnızca teknolojinin kendisinden değil, aynı zamanda bu teknolojilerin geliştirilme, uygulanma ve denetlenme süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle veri temelli çalışan yapay zekâ sistemlerinin sağlık alanında kullanımı; mahremiyet, adalet, şeffaflık ve sorumluluk gibi temel etik ilkelerin yeniden tartışılmasına neden olmaktadır (Morley vd., 2020).

Sağlıkta yapay zekâ kullanımına ilişkin en önemli etik sorunlardan biri veri gizliliği ve mahremiyet konusudur (Par, 2024). Yapay zekâ sistemleri, büyük miktarda kişisel sağlık verisini işleyerek öğrenme süreçlerini sürdürmektedir (Çelik ve Tüfekci, 2024). Ancak bu verilerin toplanması, saklanması ve işlenmesi sürecinde bireylerin özel hayatına ilişkin hassas bilgilerin korunması kritik bir etik sorumluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Sağlık verilerinin izinsiz kullanımı veya veri ihlalleri, bireylerin güven duygusunu zedeleyebileceği gibi sağlık sistemlerine olan inancı da olumsuz etkileyebilmektedir (Price ve Cohen, 2019).

Yapay zekâ sistemleri, eğitildikleri veri setlerinin özelliklerini yansıttığı için, veri setlerindeki eşitsizlikler veya temsil eksiklikleri algoritmik kararları doğrudan etkileyebilmektedir. Özellikle belirli etnik gruplar, cinsiyetler veya sosyoekonomik kesimlere ait verilerin yetersiz temsil edilmesi, sağlık hizmetlerinde adaletsiz sonuçlara yol açabilmektedir (Obermeyer vd., 2019).

Şeffaflık ve açıklanabilirlik sorunu da sağlıkta yapay zekâ kullanımında önemli bir etik tartışma alanıdır. Bu durum, sağlık profesyonellerinin ve hastaların alınan kararları sorgulamasını zorlaştırmakta ve klinik süreçlerde güven sorunlarına yol açabilmektedir (Floridi vd., 2018). Hesap verebilirlik sorunu da yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte öne çıkan bir diğer etik meseledir. Yapay zekâ destekli bir sistemin hatalı bir teşhis koyması veya yanlış bir tedavi önerisinde bulunması durumunda sorumluluğun kime ait olacağı konusu net değildir. Bu bağlamda, yazılım geliştiriciler, sağlık profesyonelleri ve sağlık kurumları arasındaki sorumluluk paylaşımının açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir (Morley vd., 2020).

Son olarak, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine erişim üzerindeki etkileri de etik açıdan önemli bir boyut oluşturmaktadır. Gelişmiş teknolojilere erişimin sınırlı olduğu bölgelerde yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması zorlaşmakta ve bu durum sağlık hizmetlerinde dijital eşitsizliklerin artmasına yol açabilmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin adil ve kapsayıcı bir şekilde dağıtılması, sağlıkta eşitlik ilkesinin korunması açısından kritik bir gerekliliktir (WHO, 2021).

2.6. Mesleki Sorumluluklar ve Yapay Zekâ

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında yaygınlaşması, sağlık profesyonellerinin geleneksel rol ve sorumluluklarını yeniden tanımlayan önemli bir dönüşümü beraberinde getirmektedir (Önder, 2025). Sağlık profesyonelleri açısından en temel sorumluluk, hastanın yararını gözetmek ve zarar vermeme ilkesine uygun hareket etmektir (Demirhan, 2025). Yapay zekâ sistemlerinin klinik süreçlerde kullanılması, bu sorumluluğun ortadan kalktığı anlamına gelmemekte; aksine sağlık profesyonellerinin nihai karar verici rolünü sürdürmesini gerektirmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler yalnızca karar destek aracı olarak değerlendirilmelidir ve bu sistemlerden elde edilen çıktılar, klinik uzmanlık ve mesleki deneyimle birlikte yorumlanmalıdır (Topol, 2019).

Yapay zekâ kullanımında mesleki sorumlulukların bir diğer boyutu, dijital yeterlilik ve teknoloji okuryazarlığı ile ilişkilidir. Sağlık profesyonellerinin yapay zekâ sistemlerini etkin ve güvenli bir şekilde kullanabilmesi için bu teknolojilerin çalışma prensiplerini, sınırlılıklarını ve potansiyel risklerini anlaması gerekmektedir. Bu durum, sağlık eğitim programlarında dijital sağlık ve yapay zekâ okuryazarlığına daha fazla yer verilmesini zorunlu kılmaktadır (Davenport ve Kalakota, 2019; Sezgin, 2025).

Mesleki sorumluluklar yalnızca sağlık profesyonelleri ile sınırlı değildir; yapay zekâ geliştiricileri ve teknoloji şirketleri de bu sürecin önemli aktörleri arasında yer almaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin tasarımında etik ilkelere uygunluk, veri güvenliğinin sağlanması ve algoritmik önyargının minimize edilmesi, geliştiricilerin temel sorumlulukları arasında yer almaktadır (Cheong, 2024).

Sağlık kurumları ve yöneticiler de yapay zekâ uygulamalarının güvenli ve etik bir şekilde kullanılmasından sorumludur (Önder, 2025). Kurumsal düzeyde veri yönetimi politikalarının oluşturulması, yapay zekâ sistemlerinin düzenli olarak denetlenmesi ve çalışanların bu sistemlere yönelik eğitimlerinin sağlanması, sağlık kuruluşlarının temel yükümlülükleri arasında yer almaktadır (WHO, 2021).

Mesleki sorumluluklar bağlamında önemli bir diğer tartışma konusu ise hesap verebilirliktir. Yapay zekâ destekli bir sistemin hatalı bir karar vermesi durumunda sorumluluğun kimde olduğu konusu hâlen netlik kazanmamıştır. Bu bağlamda, sağlık profesyonellerinin, geliştiricilerin ve kurumların sorumluluk alanlarının açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Aksi takdirde, ortaya çıkabilecek hatalı uygulamalarda etik ve hukuki boşluklar oluşabilmektedir (Morley vd., 2020; Haltaufderheide ve Ranisch, 2024). Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında kullanımı, mesleki sorumlulukların çok paydaşlı ve dinamik bir yapıya dönüşmesine neden olmaktadır.

3. Sonuç

Sağlık alanında yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, sadece teknik bir yenilik değil, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin doğasını yeniden şekillendiren çok boyutlu bir dönüşüm sürecidir. Yapay zekânın sağlık alanındaki uygulamaları, tanı ve tedavi süreçlerinden hizmet sunumuna kadar geniş bir alanda dönüşüm yaratmakta; bu durum sağlık profesyonellerinin rollerini yeniden tanımlamalarını zorunlu kılmaktadır. Artık klinik kararlar yalnızca bireysel uzmanlığa değil, aynı zamanda algoritmik önerilere dayalı olarak şekillenmektedir. Ancak bu noktada, teknolojinin karar verici değil, destekleyici bir araç olduğu gerçeğinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Nihai sorumluluğun insanda kalması, sağlık hizmetlerinin etik temellerinin korunması açısından vazgeçilmezdir.

Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde çok paydaşlı bir sorumluluk anlayışının benimsenmesi gerekmektedir. Sağlık profesyonelleri, geliştiriciler ve kurumlar arasında açık ve dengeli bir sorumluluk paylaşımı oluşturulmadığı takdirde, ortaya çıkabilecek etik ve hukuki sorunların çözümü güçleşecektir. Sonuç olarak, sağlık alanında yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde gelişebilmesi, yalnızca teknolojik ilerlemelerle değil; insan odaklı, etik ilkelere dayalı ve mesleki sorumluluk bilinciyle şekillenen bütüncül bir yaklaşımla mümkün olacaktır.

Kaynakça

- Akalin, B., ve Veranyurt, Ü. (2020). Sağlıkta Dijitalleşme ve Yapay Zekâ. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 2(2), 128-137.
- Akman Dömbekci, H., ve Karabulut Meral, K. (2025). Sağlık İletişiminde Etik ve Aydınlatılmış Onam. *TOGÜ Erbaa Sağlık ve Yönetim Dergisi*, 2(1), 52-81.
- Asıl, S. (2025). Yapay Zekâ Etiği: Temel İlkeler, Sorunlar ve Disiplinlerarası Yaklaşımlar. *İnönü Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi (İNİF E-Dergi)*, 10(1), 152-175.
- Aşkun, V. (2024). Yapay Zekâ ve Otomasyon Çağında Eşitlik ve Refah: Daron Acemoğlu'nun Görüşlerine Dayalı Bir İnceleme. *Bozok Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 137-160.
- Azizoğlu, F. (2025). Hemşirelikte giyilebilir teknolojilerin kullanımı ve etkileri: Güncel literatürün derlemesi. *Journal of Original Studies*, 6(1), e2815-e2815.
- Beauchamp, T.L., ve Childress, J.F. (1994). *Principles of biomedical ethics*. Edicoes Loyola.
- Beauchamp, T.L., ve Childress, J.F. (2019). *Principles of Biomedical Ethics* (8. baskı). Oxford University Press.
- Cheong, B.C. (2024). Transparency and accountability in AI systems: safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making. *Frontiers in Human Dynamics*, 6, 1421273.
- Çelik, Ö., ve Tüfekci, N. (2024). Yapay Zeka ve Derin Öğrenmenin Sağlık Bilişimi Üzerine Etkisi: Literatür Tabanlı Bir İnceleme. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 11-27.
- Çetin, B. (2023). Sağlık Hizmetleri Ve Yapay Zekâ. Uluslararası Ekonomi Ve Siyaset Bilimleri *Akademik Araştırmalar Dergisi*, 7 (17), 53-67.
- Çobanoğlu, N. (2009). Tıp Etiğinden Tıp Hukukuna Hasta Hakkı Olarak Aydınlatılmış Onam. Sağlık Hukuku Digestası (ss. 70-86), *Ankara: Ankara Barosu Yayınları*.
- Daniels, N. (2007). *Just health: meeting health needs fairly*. Cambridge University Press.
- Davenport, T., ve Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future healthcare journal*, 6(2), 94-98.
- Demirhan, E. (2017). Sağlık hizmetlerinde etik ilkeler ve uygulamalar. *İstanbul: Beta Yayınları*
- Demirhan, N. (2025). Sağlık Çalışanlarının Hukuki. *Sağlık Hukuku Temel Kavramlar, Uygulamalar, Güncel Trendler ve Gelecek Perspektifi*, 61.

- Entwistle, V.A., Carter, S.M., Cribb, A., & McCaffery, K. (2010). Supporting patient autonomy: the importance of clinician-patient relationships. *Journal of general internal medicine*, 25(7), 741-745.
- Ertas, H., Kesici, Y.L.Ö.G., ve Çetinkaya, Y.L.Ö.H. (2024). Sağlık Hizmetlerinde Dijitalleşme.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *nature*, 542(7639), 115-118.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Gevarter, W.B. (1983). An Overview of Artificial Intelligence and Robotics. Volume I-Artificial Intelligence. *Part A-The Core Ingredients*.
- Gillon, R. (1994). Medical ethics: four principles plus attention to scope. *Bmj*, 309(6948), 184.
- Gül, S.K., ve Yazkan, K.A. (2025). Kamu Yönetiminde Dijital Dönüşüm: Yapay Zekâ Ve Büyük Verinin Rolü Ve Etkileri. *Proceedings Book*, 224.
- Haenlein, M., ve Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California management review*, 61(4), 5-14.
- Haltaufderheide, J., ve Ranisch, R. (2024). The ethics of ChatGPT in medicine and healthcare: a systematic review on Large Language Models (LLMs). *NPJ digital medicine*, 7(1), 183.
- Hashimoto, D.A., Rosman, G., Rus, D., & Meireles, O.R. (2018). Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Annals of surgery*, 268(1), 70-76.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4).
- Jurafsky, D., ve Martin, J.H. (2009). Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition (2. Baskı). *Prentice Hall*.
- Karaca, E., ve Küçük, Y.S. (2025). Sağlık Teknolojileri ve İnovasyon Politikalarının İncelenmesi: Kavramsal Çerçeve. *Journal of Health and Management (Sağlık ve Yönetim Dergisi)*, 5(1).
- Kazıcı, H.G., ve Erol, H. (2023). Androlojide yapay zekânın kullanım alanları. *Androloji Bülteni (Andrology Bulletin)*, 25(4).

- Korteling, J. E., van de Boer-Visschedijk, G. C., Blankendaal, R. A., Boonekamp, R. C., & Eikelboom, A. R. (2021). Human-versus artificial intelligence. *Frontiers in artificial intelligence*, 4, 622364.
- Köroğlu, M. (2025). *Hans Jonas' in tip ve biyoetiği* (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*, 42, 60-88.
- Manavgat, G. (2026). Yapay Zekâ Destekli Sağlık Hizmetleri Sunumu: Fırsatlar, Zorluklar ve Stratejik Yönelimler. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 23(1), 1-11.
- Mitchell, T.M. (1997). Does machine learning really work?. *AI magazine*, 18(3), 11-11.
- Morley, J., Machado, C. C., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: a mapping review. *Social science & medicine*, 260, 113172.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.
- Önder, O. (2025). Klinik Karar Destek Sistemleri Bağlamında Tıpta Yapay Zeka Kullanımında Etik Sorun Alanları. *Doktora Tezi*.
- Özdemir, M., Saylan, A., ve Artuç, Ü., (2025). Sağlık İletişiminde Yapay Zekâ Uygulamaları. *Yapay Zekâ ve Bilgi Yönetimi: Sağlık, Eğitim ve Toplum İçin Yenilikçi Uygulamalar*, 43.
- Papagiannidis, E., Mikalef, P., ve Conboy, K. (2025). Responsible artificial intelligence governance: A review and research framework. *The Journal of Strategic Information Systems*, 34(2), 101885.
- Par, S. (2024). Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı Ve Hukuki Statüsü. *International Anatolia Academic Online Journal Social Sciences Journal*, 10(2), 179-196.
- Price, W.N., ve Cohen, I.G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature medicine*, 25(1), 37-43.
- Raghupathi, W., ve Raghupathi, V. (2014). Big data analytics in healthcare: promise and potential. *Health information science and systems*, 2(1), 3.
- Rawls, J. (2023). *Bir adalet teorisi*. Phoenix Yayınevi.

- Russell, S., ve Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: a modern approach*, 4th US ed. *aima: caym*. URL: <https://aima.cs.berkeley.edu/>(*damla obraceniya*: 26.02. 2023).
- Sezgin, S. (2025). Yapay zekâ çağında dijital uçurumu yeniden düşünmek: Eğitime yönelik altı boyutlu bir kavramsal çerçeve. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(17), 1-28.
- Şeker, A., Diri, B., ve Balık, H.H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.
- Tarcan, G.Y., Balçık, P.Y., ve Sebik, N.B. (2024). Türkiye ve dünyada sağlık hizmetlerinde yapay zekâ. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 14(1), 50-60.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Uslu, Y., ve Demirtaş, M. (2025). Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Sağlık Yönetimi. *Şura Akademi*, (9), 55-65.
- Varkey, B. (2021). Principles of clinical ethics and their application to practice. *Medical principles and practice*, 30(1), 17-28.
- World Health Organization. (2021). *WHO consultation towards the development of guidance on ethics and governance of artificial intelligence for health: meeting report, Geneva, Switzerland, 2-4 October 2019*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: large multi-modal models. WHO guidance*. World Health Organization.
- Yıldız, A., Kaya, R., ve Şahinoğlu, S. (2021). Biyoetik teriminin ortaya çıkışı ve Türkiye'deki yansımaları. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 11(2), 249-257.
- Yılmaz, D.Ö.Ü.A. (2021). *Yapay Zekâ*. Kodlab Yayın Dağıtım Yazılım Ltd. Şti..
- Yılmaz, H., ve Özdemir, E. (2025). Yönetimde etik ve etik yönetimin kurumsallaşması. *Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(2), 295-310.
- Zan, N., ve Zan, B.U. (2025). Yapay Zekâ Destekli Derin Sahtecilik Teknolojisinin Pedagojik, Etik ve Toplumsal Boyutları. *Electronic Turkish Studies*, 20(4).

5. Bölüm

Çevre Sağlığında Dijital İzleme Sistemleri, Yapay Zekâ Uygulamaları ve Etik Boyut

Hayriye Nurcan SÖBÜTAY*

1. Giriş

Çevre sağlığı, bireylerin ve toplumların sağlığını etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik çevresel faktörlerin incelenmesini kapsayan disiplinler arası bir alan olarak tanımlanmaktadır. Sanayileşme, kentleşme ve iklim değişikliği gibi küresel süreçler, çevresel risklerin çeşitlenmesine ve karmaşıklaşmasına neden olmuş; bu durum çevre sağlığının izlenmesi ve yönetilmesinde daha gelişmiş, bütüncül ve sürdürülebilir yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymuştur (WHO, 2021; Zimmermann, 2021).

Dijital izleme sistemleri; sensör teknolojileri, coğrafi bilgi sistemleri, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi bileşenleri içeren, çevresel verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını, analiz edilmesini ve yorumlanmasını mümkün kılan sistemlerdir (Kumar vd., 2015). Bu sistemler sayesinde hava kalitesi, su kirliliği, gürültü düzeyi ve radyasyon gibi çevresel parametreler sürekli olarak izlenebilmekte ve erken uyarı mekanizmaları geliştirilebilmektedir. Özellikle akıllı şehir uygulamaları kapsamında çevre sağlığının dijital olarak izlenmesi, halk sağlığı politikalarının daha hızlı ve etkili bir şekilde oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Batty vd., 2012).

Yapay zekâ teknolojilerinin çevre sağlığı alanına entegrasyonu ise bu dönüşümü daha ileri bir boyuta taşımaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve veri madenciliği teknikleri, büyük ölçekli çevresel verilerin analiz edilerek risk tahmini, modelleme ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Esteve vd., 2019). Bununla birlikte, dijital izleme sistemleri ve yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, beraberinde önemli etik tartışmaları da gündeme getirmektedir. Özellikle veri gizliliği, bireysel mahremiyet, algoritmik önyargı ve hesap verebilirlik gibi konular, çevre sağlığı alanında kullanılan teknolojilerin etik sınırlarının yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Floridi vd., 2018). Bu bağlamda, çevre sağlığında dijital izleme sistemleri ve yapay zekâ uygulamalarının yalnızca teknik bir gelişme olarak

* ORCID:0000-0001-8604-3308

değil, aynı zamanda etik, sosyal ve yönetsel boyutlarıyla ele alınması gerekmektedir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Çevre Sağlığı Kavramı ve Kapsamı

Çevre sağlığı, insan sağlığı ile çevresel faktörler arasındaki etkileşimi inceleyen ve bu etkileşimlerin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini önlemeyi amaçlayan disiplinler arası bir alan olarak tanımlanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2021) çevre sağlığını, insan sağlığı ve hastalıklarının çevresel faktörler tarafından belirlenen yönleri olarak tanımlamakta ve bu alanın temel amacının çevresel risklerin kontrolü yoluyla hastalıkların önlenmesi olduğunu vurgulamaktadır.

Çevre sağlığı, halk sağlığının temel alt alanlarından biri olup, insan ile çevresi arasındaki karşılıklı etkileşimi çok boyutlu bir şekilde ele almaktadır. Bu bağlamda çevre, yalnızca doğal unsurları değil, aynı zamanda insan yapımı çevreyi (yerleşim alanları, endüstriyel yapılar ve kentsel altyapılar) de içermektedir (Chen vd., 2022). Özellikle hızlı kentleşme ve sanayileşme süreçleri, çevresel risk faktörlerinin çeşitlenmesine ve yoğunlaşmasına neden olmuş; bu durum çevre sağlığının kapsamını genişleterek daha karmaşık bir yapıya büründürmüştür (Dalkılıç, 2025).

Çevre sağlığının kapsamı; hava kalitesi, su ve sanitasyon, gıda güvenliği, atık yönetimi, kimyasal maddelere maruziyet ve iklim değişikliği gibi birçok farklı alanı içermektedir. Bu faktörler, bireylerin sağlık durumunu doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmekte ve özellikle solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar ve çeşitli kronik hastalıkların gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Prüss-Ustün vd., 2016).

Çevresel risklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, maruziyet yolları ve süresi ile yakından ilişkilidir. Bu riskler; hava yoluyla solunum, su ve gıda yoluyla alım ve deri teması gibi farklı yollarla insan vücuduna girebilmektedir (Quinn vd., 2009). Bu nedenle çevre sağlığı yalnızca çevresel tehlikelerin tanımlanmasıyla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bu tehlikelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini ve yönetilmesini de kapsamaktadır.

Günümüzde çevre sağlığı, küresel sağlık politikalarının merkezinde yer alan önemli bir alan hâline gelmiştir. Özellikle iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve çevresel kirlilik gibi küresel sorunlar, çevre sağlığını uluslararası düzeyde öncelikli bir konu hâline getirmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (Redford vd., 2022), çevresel bozulmanın insan sağlığı üzerindeki etkilerinin giderek arttığını ve bu durumun sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda çevre sağlığı, yalnızca sağlık

sektörü ile sınırlı olmayan, aynı zamanda çevre politikaları, ekonomi ve sosyal yapı ile etkileşim içerisinde olan çok boyutlu bir alan olarak değerlendirilmektedir.

Çevre sağlığının disiplinler arası yapısı, bu alanda farklı bilim dallarının birlikte çalışmasını gerekli kılmaktadır. Epidemiyoloji, toksikoloji, çevre mühendisliği ve sağlık politikaları gibi alanlar, çevre sağlığı uygulamalarının bilimsel temelini oluşturmaktadır (Friis, 2018). Ayrıca çevresel risklerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi süreçlerinde teknolojik gelişmelerin etkisi giderek artmakta; bu durum çevre sağlığının dijitalleşme ve yapay zekâ ile entegrasyonunu da beraberinde getirmektedir.

2.2. Çevre Sağlığında İzleme ve Değerlendirme Süreçleri

Çevre sağlığının korunması ve geliştirilmesinde izleme ve değerlendirme süreçleri temel bir rol oynamaktadır (Karataş, 2013). Bu süreçler, çevresel risk faktörlerinin belirlenmesi, ölçülmesi ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesini içeren sistematik faaliyetler bütünüdür. Çevre sağlığı izleme sistemleri, çevresel maruziyetlerin erken tespit edilmesine ve olası sağlık risklerinin önceden öngörülmesine olanak sağlayarak koruyucu sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmaktadır (WHO, 2018).

Çevre sağlığında izleme süreçleri genellikle hava, su, toprak ve gıda gibi çevresel bileşenlerin düzenli olarak ölçülmesini kapsamaktadır (Olgun Eker ve Tezcan, 2025). Bu ölçümler, belirli standartlar ve eşik değerler çerçevesinde değerlendirilerek çevresel risklerin düzeyi hakkında bilgi sunmaktadır. Özellikle hava kirliliği, dünya genelinde en önemli çevresel sağlık risklerinden biri olarak kabul edilmekte ve bu nedenle hava kalitesinin izlenmesi çevre sağlığı çalışmalarının merkezinde yer almaktadır (Laurent, 2022). Benzer şekilde, su kalitesinin izlenmesi de bulaşıcı hastalıkların önlenmesi ve toplum sağlığının korunması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Çevre sağlığında değerlendirme süreçleri ise elde edilen verilerin analiz edilmesi, yorumlanması ve karar alma süreçlerine entegre edilmesini kapsamaktadır. Bu süreçte risk değerlendirmesi önemli bir yer tutmaktadır. Risk değerlendirmesi; tehlikenin tanımlanması, maruziyetin değerlendirilmesi, doz-tepki ilişkilerinin belirlenmesi ve risk karakterizasyonu gibi aşamalardan oluşmaktadır (Assessment, 2009). Bu yaklaşım, çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin bilimsel temellere dayalı olarak analiz edilmesini sağlamaktadır.

Çevre sağlığı izleme ve değerlendirme süreçlerinde epidemiyolojik yöntemler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, çevresel maruziyetler ile sağlık sonuçları arasındaki ilişkilerin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Özellikle

uzun dönemli kohort ve kesitsel çalışmalar, çevresel faktörlerin kronik hastalıklar üzerindeki etkilerini ortaya koymada önemli katkılar sağlamaktadır (Frumkin, 2016). Bu bağlamda çevre sağlığı, yalnızca çevresel verilerin izlenmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sağlık verileri ile entegre analizleri de içeren bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir.

Geleneksel çevre sağlığı izleme sistemleri çoğu zaman belirli aralıklarla yapılan ölçümlere ve sınırlı veri setlerine dayanmaktadır. Bu durum, özellikle ani gelişen çevresel risklerin zamanında tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca veri toplama süreçlerinin maliyetli ve zaman alıcı olması, bu sistemlerin etkinliğini sınırlayan önemli faktörler arasında yer almaktadır (Kumar vd., 2015). Bu sınırlılıklar, çevre sağlığında daha hızlı, sürekli ve entegre izleme sistemlerine olan ihtiyacı artırmıştır.

Son yıllarda teknolojik gelişmeler, çevre sağlığı izleme ve değerlendirme süreçlerinde önemli dönüşümlere yol açmıştır. Sensör teknolojileri, uzaktan algılama sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi araçlar, çevresel verilerin daha hızlı ve geniş kapsamlı bir şekilde toplanmasına olanak tanımaktadır. Özellikle uydu verileri ve düşük maliyetli sensörler, hava ve su kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün hâle getirmiştir (UNEP, 2019).

Bununla birlikte, çevre sağlığı izleme ve değerlendirme süreçlerinin etkinliği yalnızca teknolojik altyapıya değil, aynı zamanda veri kalitesi, standartizasyon ve kurumsal iş birliği gibi faktörlere de bağlıdır. Farklı kurumlar arasında veri paylaşımının sınırlı olması ve ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar, elde edilen verilerin karşılaştırılabilirliğini zorlaştırabilmektedir (Hoffmann vd., 2021). Bu nedenle çevre sağlığı izleme sistemlerinin ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde yapılandırılması büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, çevre sağlığında izleme ve değerlendirme süreçleri, çevresel risklerin yönetilmesinde ve halk sağlığının korunmasında vazgeçilmez bir role sahiptir.

2.3. Dijital İzleme Sistemleri ve Temel Bileşenleri

Çevre sağlığında dijitalleşme süreci, geleneksel izleme yaklaşımlarının ötesine geçerek daha hızlı, sürekli ve veri odaklı sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılmıştır (Olgun Eker ve Tezcan, 2025). Dijital izleme sistemleri, çevresel verilerin gerçek zamanlı olarak toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanmasını sağlayan entegre teknolojik yapılardır. Bu sistemler, özellikle artan çevresel risklerin erken tespiti ve etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır (Kumar vd., 2020).

Dijital izleme sistemlerinin temelinde veri toplama, veri iletimi, veri depolama ve veri analizi süreçlerini kapsayan çok katmanlı bir yapı bulunmaktadır (Aktan, 2018). Bu yapı, farklı teknolojik bileşenlerin bir arada çalışmasını gerektirmekte

ve çevre sağlığı alanında disiplinler arası bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda sensör teknolojileri, nesnelerin interneti, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), büyük veri analitiği ve bulut bilişim gibi unsurlar dijital izleme sistemlerinin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Zanella vd., 2014).

Sensör teknolojileri, dijital izleme sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Hava kalitesi, su kirliliği, sıcaklık, nem ve radyasyon gibi çevresel parametrelerin ölçülmesini sağlayan sensörler, düşük maliyetli ve taşınabilir yapıları sayesinde geniş alanlarda veri toplanmasına olanak tanımaktadır (Balta, 2019). Özellikle son yıllarda geliştirilen düşük maliyetli sensörler, çevresel izleme süreçlerini daha erişilebilir hâle getirmiştir (Snyder vd., 2013). Bu sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, çevresel risklerin anlık olarak izlenmesini ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Nesnelerin interneti (IoT), sensörlerden elde edilen verilerin ağlar aracılığıyla iletilmesini sağlayan bir diğer önemli bileşendir (Gündüz ve Daş, 2018). IoT teknolojisi, farklı cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayarak büyük ölçekli veri akışını mümkün hâle getirmektedir. Çevre sağlığı bağlamında IoT, hava ve su kalitesinin sürekli izlenmesi, atık yönetimi sistemlerinin optimize edilmesi ve çevresel risklerin anlık olarak takip edilmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Atzori vd., 2010). Bu sayede çevresel veriler yalnızca toplanmakla kalmamakta, aynı zamanda eş zamanlı olarak analiz edilerek karar vericilere sunulmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), çevresel verilerin mekânsal olarak analiz edilmesini sağlayan önemli bir araçtır. CBS teknolojileri, çevresel risklerin coğrafi dağılımının belirlenmesi, risk haritalarının oluşturulması ve müdahale stratejilerinin planlanması açısından büyük avantajlar sunmaktadır (Goodchild, 2010). Özellikle çevre sağlığında hastalık kümelenmelerinin belirlenmesi ve çevresel maruziyetlerin mekânsal analizi, CBS kullanımının önemini artırmaktadır.

Büyük veri analitiği, dijital izleme sistemlerinin bir diğer temel bileşenidir. Günümüzde çevre sağlığı alanında toplanan veri miktarının hızla artması, bu verilerin işlenmesi ve anlamlı hâle getirilmesi için gelişmiş analiz yöntemlerini gerekli kılmaktadır. Büyük veri analitiği, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin entegre edilmesini ve karmaşık ilişkilerin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır (Hashem vd., 2015).

Bulut bilişim teknolojileri ise dijital izleme sistemlerinin veri depolama ve erişim boyutunu desteklemektedir (Çark ve Akyürek, 2021). Bulut tabanlı sistemler, büyük hacimli verilerin güvenli bir şekilde saklanmasını ve farklı kullanıcılar tarafından eş zamanlı olarak erişilmesini mümkün kılmaktadır. Bu

durum, özellikle ulusal ve uluslararası düzeyde veri paylaşımını kolaylaştırarak çevre sağlığı yönetiminde iş birliğini artırmaktadır (Marston vd., 2011).

Dijital izleme sistemlerinin bir diğer önemli özelliği, gerçek zamanlı veri akışı ve erken uyarı mekanizmaları sunabilmesidir. Bu sistemler sayesinde çevresel riskler henüz ciddi sağlık sorunlarına yol açmadan tespit edilebilmekte ve gerekli önlemler hızlı bir şekilde alınabilmektedir. Örneğin, hava kirliliği seviyelerinin anlık olarak izlenmesi, hassas grupların korunmasına yönelik erken uyarıların yapılmasına olanak sağlamaktadır (Evrard vd.,2025).

Bununla birlikte, dijital izleme sistemlerinin etkinliği, veri doğruluğu, sistem entegrasyonu ve altyapı yeterliliği gibi faktörlere bağlıdır. Sensör verilerinin kalitesi, veri güvenliği ve sistemler arası uyum sorunları, bu teknolojilerin kullanımında karşılaşılan başlıca zorluklar arasında yer almaktadır (Kumar vd., 2015). Bu nedenle dijital izleme sistemlerinin geliştirilmesinde teknik yeterlilik kadar etik ve yönetsel boyutların da dikkate alınması gerekmektedir. Sonuç olarak dijital izleme sistemleri, çevre sağlığı alanında veri temelli karar alma süreçlerini güçlendiren, risklerin erken tespitini sağlayan ve sürdürülebilir sağlık politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunan yenilikçi teknolojik yapılarıdır.

2.4. Çevre Sağlığında Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ, insan zekâsına özgü öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi bilişsel süreçleri taklit edebilen algoritmalar ve sistemler bütünü olarak tanımlanmaktadır (Arslan, 2020). Son yıllarda veri üretiminin artması ve hesaplama gücünün gelişmesiyle birlikte yapay zekâ, çevre sağlığı alanında da önemli uygulama alanları bulmuştur (Jordan ve Mitchell, 2015). Özellikle büyük veri analitiği ile birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ çevresel verilerin anlamlandırılması ve sağlık risklerinin öngörülmesi açısından güçlü bir araç hâline gelmiştir.

Çevre sağlığında yapay zekâ uygulamalarının en önemli kullanım alanlarından biri, çevresel risklerin tahmin edilmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesidir (Olgun Eker ve Tezcan, 2025). Makine öğrenmesi algoritmaları, hava kirliliği, sıcaklık değişimleri ve çevresel toksinler gibi değişkenleri analiz ederek gelecekteki riskleri yüksek doğrulukla tahmin edebilmektedir. Örneğin, hava kirliliği seviyelerinin tahmin edilmesine yönelik çalışmalar, yapay zekâ modellerinin geleneksel istatistiksel yöntemlere kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır (Zhang vd., 2012). Bu durum, özellikle hassas grupların korunması ve sağlık politikalarının planlanması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Yapay zekânın çevre sağlığı alanındaki bir diğer önemli kullanım alanı, çevresel veri analizi ve modellemedir (Miller vd., 2025). Farklı kaynaklardan

elde edilen büyük hacimli verilerin analiz edilmesi, geleneksel yöntemlerle oldukça zor ve zaman alıcı bir süreçtir. Ancak derin öğrenme ve veri madenciliği teknikleri, bu veriler arasında karmaşık ilişkilerin ortaya çıkarılmasını mümkün kılmaktadır (LeCun vd., 2015). Örneğin, su kalitesinin izlenmesi, kimyasal kirleticilerin tespiti ve ekosistem değişimlerinin analiz edilmesi gibi alanlarda yapay zekâ tabanlı modeller etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Çevre sağlığında yapay zekâ uygulamaları, epidemiyolojik analizler ve halk sağlığı araştırmalarında da önemli katkılar sunmaktadır. Yapay zekâ, çevresel maruziyetler ile hastalıklar arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle büyük veri setlerinin analiz edilmesiyle, çevresel faktörlerin kronik hastalıklar üzerindeki etkileri daha net bir şekilde ortaya konulabilmektedir (Beam ve Kohane, 2018).

Akıllı şehir uygulamaları da yapay zekânın çevre sağlığındaki rolünü güçlendiren önemli bir alan olarak öne çıkmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, trafik yoğunluğu, enerji tüketimi ve hava kalitesi gibi parametreleri analiz ederek çevresel sürdürülebilirliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Bibri ve Krogstie, 2017).

Ancak çevre sağlığında yapay zekâ uygulamalarının kullanımında bazı sınırlılıklar ve riskler de bulunmaktadır. Veri kalitesi, model doğruluğu ve algoritmik önyargılar, bu sistemlerin güvenilirliğini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca yapay zekâ sistemlerinin şeffaf olmaması ve karar süreçlerinin açıklanabilirliğinin sınırlı olması, etik ve yönetsel sorunları da beraberinde getirmektedir (Floridi vd., 2018). Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının geliştirilmesi ve kullanımı sürecinde etik ilkelerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

2.5. Etik Kavramı ve Çevre Sağlığında Etik Yaklaşımlar

Etik, bireylerin ve toplumların doğru ile yanlış, iyi ile kötü arasındaki ayrımı yapmalarını sağlayan ilke ve değerler bütünü olarak tanımlanmaktadır (Örselli ve Gökçe, 2010). Felsefi kökenleri Antik Yunan'a kadar uzanan etik kavramı, günümüzde özellikle sağlık bilimleri ve çevre politikaları bağlamında daha da önem kazanmıştır (Beauchamp ve Childress, 1994). Sağlık alanında etik, bireylerin haklarının korunması, adaletin sağlanması ve zarar vermeme ilkesi çerçevesinde şekillenmekte; bu ilkeler çevre sağlığı alanında da temel referans noktası oluşturmaktadır.

Çevre sağlığı bağlamında etik, yalnızca bireylerin değil, aynı zamanda toplumların ve gelecek nesillerin sağlığını ilgilendiren geniş bir sorumluluk alanını kapsamaktadır (Ağbuğa, 2016). Bu nedenle çevre sağlığı etiği, klasik tıp etiğinden farklı olarak daha kolektif ve uzun vadeli bir perspektife sahiptir.

Özellikle çevresel risklerin toplumun farklı kesimlerini eşit şekilde etkilememesi, etik tartışmaları daha da derinleştirmektedir (Shrader-Frechette, 2002).

Çevre sağlığında etik yaklaşımlar, özellikle çevresel adalet kavramı etrafında şekillenmektedir. Çevresel adalet, çevresel risklerin ve faydaların toplumun tüm kesimleri arasında adil bir şekilde dağıtılmasını ifade etmektedir. Ancak birçok çalışmada, düşük sosyoekonomik düzeye sahip bireylerin çevresel risklere daha fazla maruz kaldığı ve bu durumun sağlık eşitsizliklerini derinleştirdiği gösterilmiştir (Brulle ve Pellow, 2006). Bu sebeple çevre sağlığı politikalarının etik temeller üzerine inşa edilmesi, sosyal adaletin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Çevre sağlığı etiğinin bir diğer önemli boyutu, sürdürülebilirlik ve gelecek nesillere karşı sorumluluk ilkesidir. Günümüzde çevresel kaynakların aşırı kullanımı ve ekosistemlerin bozulması, yalnızca mevcut nesilleri değil, gelecek kuşakların yaşam koşullarını da tehdit etmektedir. Bu durum, çevre sağlığı etiğinin zaman boyutunu genişleterek kuşaklar arası adalet kavramını gündeme getirmektedir (Gardiner, 2011).

Teknolojik gelişmelerin çevre sağlığı alanına entegrasyonu, etik tartışmaları daha da karmaşık hâle getirmiştir. Özellikle dijital izleme sistemleri ve yapay zekâ uygulamaları, veri gizliliği, bireysel mahremiyet ve algoritmik adalet gibi yeni etik sorunları gündeme getirmektedir (Floridi vd., 2018). Çevresel verilerin toplanması sürecinde bireylerin konum bilgileri ve yaşam alışkanlıkları dolaylı olarak izlenebilmekte, bu durum etik açıdan dikkatli bir yönetimi gerekli kılmaktadır.

Çevre sağlığında etik yaklaşımlar aynı zamanda yönetim ve politika geliştirme süreçleri ile de yakından ilişkilidir. Etik ilkelere dayalı politikalar, yalnızca bilimsel verilere değil, aynı zamanda toplumsal değerler ve insan haklarına da dayanmalıdır. Bu bağlamda katılımcı karar alma süreçleri, şeffaflık ve hesap verebilirlik, çevre sağlığı yönetiminde etik standartların sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Gostin ve Sridhar, 2014). Sonuç olarak etik kavramı, çevre sağlığı alanında yalnızca teorik bir çerçeve sunmakla kalmayıp, aynı zamanda uygulamaya yön veren temel bir rehber niteliğindedir. Çevresel risklerin artması, teknolojik gelişmelerin hızlanması ve küresel sağlık sorunlarının derinleşmesi, çevre sağlığında etik yaklaşımların önemini daha da artırmaktadır.

3. Sonuç

Dijital izleme sistemleri, yapay zekâ uygulamaları ve etik boyutlar birlikte değerlendirildiğinde, günümüz dünyasında çevre sağlığının yalnızca geleneksel yöntemlerle yönetilemeyecek kadar karmaşık ve çok boyutlu bir yapıya ulaştığı açıkça görülmektedir. Sanayileşme, kentleşme ve iklim değişikliği gibi küresel

dinamikler, çevresel risklerin artmasına neden olurken; bu risklerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi süreçlerinde daha yenilikçi ve entegre yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu noktada dijital izleme sistemleri, çevresel verilerin gerçek zamanlı olarak toplanması ve analiz edilmesi sayesinde çevre sağlığı alanında önemli bir dönüşüm sağlamaktadır.

Dijital teknolojilerin sunduğu olanaklar, çevresel risklerin erken tespit edilmesine ve daha hızlı müdahale edilmesine imkân tanırken, yapay zekâ uygulamaları bu süreci daha ileri bir boyuta taşımaktadır. Yapay zekâ, büyük veri setlerinin analiz edilmesi, çevresel değişimlerin öngörülmesi ve karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi açısından çevre sağlığı yönetiminde stratejik bir araç hâline gelmiştir. Bu durum, çevre sağlığı alanında veri temelli ve proaktif yaklaşımların ön plana çıkmasına katkı sağlamaktadır.

Ancak teknolojik gelişmelerin sağladığı bu avantajlar, beraberinde önemli etik sorumlulukları da getirmektedir. Veri gizliliği, bireysel mahremiyet, algoritmik adalet ve hesap verebilirlik gibi konular, çevre sağlığı uygulamalarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda etik bir çerçevede ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle çevresel verilerin toplanması ve işlenmesi süreçlerinde birey haklarının korunması, teknolojinin güvenilirliği ve toplumsal kabulü açısından kritik bir öneme sahiptir. Sonuç olarak çevre sağlığında dijitalleşme ve yapay zekâ uygulamaları, önemli fırsatlar sunmakla birlikte, bu süreçlerin sürdürülebilir ve etik temeller üzerine inşa edilmesi gerekmektedir. İnsan odaklı, şeffaf ve adil yaklaşımların benimsenmesi, hem çevresel risklerin etkin yönetimini sağlayacak hem de toplum sağlığının korunmasına uzun vadeli katkılar sunacaktır.

Kaynakça

- Ağbuğa, F. (2016). *Çevre sorunlarına etik bir yaklaşım: Felsefi bir sorgulama* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Aktan, E. (2018). Büyük veri: Uygulama alanları, analitiği ve güvenlik boyutu. *Bilgi Yönetimi*, 1(1), 1-22.
- Arslan, K. (2020). Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 11(1), 71-88.
- Assessment, A.R. (2009). Science and decisions: advancing risk assessment.
- Atzori, L., Iera, A., ve Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Balta, D. (2019). *Dağıtık sensör sistemleri mimarisi ile bulanık mantık temelli ve çevrimiçi kapalı ortam hava kalitesi izleme sistemi geliştirilmesi* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The european physical journal special topics*, 214(1), 481-518.
- Beam, A.L., ve Kohane, I.S. (2018). Big data and machine learning in health care. *Jama*, 319(13), 1317-1318.
- Beauchamp, T.L., ve Childress, J.F. (1994). *Principles of biomedical ethics*. Edicoes Loyola.
- Bibri, S.E., ve Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable cities and society*, 31, 183-212.
- Brulle, R.J., ve Pellow, D.N. (2006). Environmental justice: human health and environmental inequalities. *Annual review of public health*, 27(1), 103-124.
- Chen, H., Oliver, B.G., Pant, A., Olivera, A., Poronnik, P., Pollock, C.A., ve Saad, S. (2022). Effects of air pollution on human health—Mechanistic evidence suggested by in vitro and in vivo modelling. *Environmental research*, 212, 113378.
- Çark, Ö., ve Akyürek, S. (2021). Bulut Bilişim Teknolojisinin İşletmeler Açısından Önemi Ve Turizm Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. *European Journal of Managerial Research (EUJMR)*, 5(8), 72-91.
- Dalkılıç, S. (2025). Risk Dönüşümü Bağlamında Sürdürülebilir Kalkınma ve Sağlık. *Sosyal ve Beşerî Bilimlerde Araştırma, Yöntem ve Analiz 2025–IV*, 33.

- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., ... & Dean, J. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*, 25(1), 24-29.
- Evrard, M., Rieckhoff, A., Shipton, L., Jørgensen, P.S., Falcone, J.L., Bouffanais, R., ... Wernli, D. (2025). The environment in global health governance: an analysis of environment-related resolutions adopted at the World Health Assembly from 1948 to 2023. *The Lancet Planetary Health*, 9(2), e103-e113.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Friis, R. H. (2018). *Essentials of Environmental Health*. Jones & Bartlett Learning.
- Frumkin, H. (Ed.). (2016). *Environmental health: from global to local*. John Wiley & Sons.
- Gardiner, S.M. (2011). *A perfect moral storm: The ethical tragedy of climate change*. Oxford University Press.
- Goodchild, M. (2010). Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of spatial information science*, (1), 3-20.
- Gostin, L.O., ve Sridhar, D. (2014). Global health and the law. *New England Journal of Medicine*, 370(18), 1732-1740.
- Gündüz, M.Z., ve Daş, R. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 327-335.
- Hashem, I.A.T., Yaqoob, I., Anuar, N.B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S.U. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information systems*, 47, 98-115.
- Hoffmann, B., Boogaard, H., de Nazelle, A., Andersen, Z. J., Abramson, M., Brauer, M., ... Thurston, G. (2021). WHO air quality guidelines 2021—aiming for healthier air for all: a joint statement by medical, public health, scientific societies and patient representative organisations. *International journal of public health*, 66, 1604465.
- Jordan, M.I., ve Mitchell, T.M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255-260.
- Karataş, A. (2013). *Çevre bilincinin geliştirilmesinde çevre eğitiminin rolü ve Niğde Üniversitesi Eğitim Fakültesi örneği* (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey)).

- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., ... Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment international*, 75, 199-205.
- Laurent, É. (2022). Air (ine) quality in the European Union. *Current environmental health reports*, 9(2), 123-129.
- LeCun, Y., Bengio, Y., ve Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing-The business perspective. *Decision support systems*, 51(1), 176-189.
- Miller, T., Durluk, I., Kostecka, E., Kozlovska, P., Łobodzińska, A., Sokołowska, S., ... & Zhan, T. (2025). Gelişmiş Çevresel İzleme için Yapay Zeka Ajanlarının Nesnelere İnterneti ile Bütünleştirilmesi: Su Kalitesi ve İklim Verileri Uygulamaları.
- Olgun Eker, E., ve Tezcan, D. (2025). Çevresel İzlemelerde Dijital Yaklaşımlar. *Doğanın Sesi*, 8(16), 116-141.
- Örselli, E., ve Gökçe, D.O. (2010). Türkiye’de Toplumsal ve Yönetmelik Etik Değerler İle İkilimler: Uygulamalı Bir Araştırma.
- Pollution, W.A. (2018). Child Health: Prescribing Clean Air. *World Health Organization: Geneva, Switzerland*.
- Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*. World Health Organization.
- Quinn, K., Coussens, C., ve Coble, Y. (Eds.). (2009). *Environmental health sciences decision making: Risk management, evidence, and ethics: Workshop summary*. National Academies Press.
- Redford, K.H., da Fonseca, G.A., Gascon, C., Rodriguez, C.M., Adams, J., Andelman, S., ... Zambrana-Torrelío, C. (2022). Healthy planet healthy people. *Conservation Letters*, 15(3), e12864.
- Shrader-Frechette, K. (2002). *Environmental justice: Creating equality, reclaiming democracy*. Oxford University Press.
- Snyder, E.G., Watkins, T.H., Solomon, P.A., Thoma, E.D., Williams, R.W., Hagler, G.S., Preuss, P.W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental science & technology*, 47(20), 11369-11377.
- United Nations Environment Programme. (2019). Global environment outlook—GEO-6: Healthy planet, healthy people. *United Nations Environment Programme*.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.

- Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C., Baklanov, A. (2012). Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status. *Atmospheric environment*, 60, 632-655.
- Zimmermann, R. (2021). The World Health Organization as actor in international environmental law? An analysis by example of the global waste challenge. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 30(3), 363-374.

6. Bölüm

Hareket Analizi, Giyilebilir Teknolojiler, Sporcu Sağlığı ve Etik Sorumluluklar

Ebru DERECELİ*

1. Giriş

Spor bilimlerinde performansın değerlendirilmesi, sakatlık riskinin azaltılması ve sporcu sağlığının korunması amacı ile kullanılan yöntemler son dönemlerde önemli ölçüde değişime uğramıştır. Bu değişimin merkezinde, insan hareketinin sadece gözlemsel biçimde değil, aynı zamanda ölçülebilir, sayısallaştırılabilir ve karşılaştırılabilir veriler üzerinden incelenmesini mümkün kılan hareket analizi yer almaktadır. Özellikle de sensör teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler, hareketin laboratuvar ortamı dışında da izlenebilmesine olanak sağlayarak; böylece sporcu performansının, yüklenme düzeyinin, yorgunluk belirtilerinin ve yaralanma riskinin daha ayrıntılı bir biçimde değerlendirilmesi mümkün hâle gelmiştir. Literatürde, hareket analizinin artık sadece teknik performansı açıklayan bir alan olmadığını; aynı zamanda sporcu sağlığının korunmasında, rehabilitasyon süreçlerinin izlenmesinde ve bireyselleştirilmiş antrenman planlamasının geliştirilmesinde temel bir araç hâline geldiğini göstermektedir (Arzehgar vd., 2025; Seçkin vd., 2023; Suo vd., 2024).

Hareket analizi, sporcunun gerçekleştirdiği motor davranışların altında yatan biyomekanik örüntüleri görünür kılması bakımından spor bilimlerinde ayrıcalıklı bir konuma sahiptir (Kondrič vd., 2013). Eklem açıları, segment ivmeleri, denge stratejileri, adım karakteristikleri, yön değiştirme becerileri ve temas süreleri gibi değişkenler; sportif verimlilik ve yaralanma mekanizmalarının anlaşılması bakımından kritik bilgiler sunmaktadır (Dos' Santos vd., 2018). Ancak bu tür verilerin anlamlı biçimde kullanılabilmesi, yalnızca veri toplama kapasitesine değil, aynı zamanda ölçümlerin standartlaştırılmasına ve doğru raporlanmasına da bağlıdır. Nitekim International Society of Biomechanics tarafından yayımlanan güncel öneriler, giyilebilir atalet ölçüm birimleriyle yapılan eklem kinematiği çalışmalarında sensör özellikleri, kalibrasyon, deneysel protokol, kinematik modelleme ve kalite değerlendirme süreçlerinin ayrıntılı biçimde raporlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu vurgu, spor ortamında kullanılan

* ORCID:0000-0002-7021-1001

teknolojilerin bilimsel geçerliliğinin ve tekrar üretilebilirliğinin etik sorumluluğunun da bir parçası olduğunu göstermektedir (Cereatti vd., 2024).

Giyilebilir teknolojiler, çağdaş spor bilimlerinin en dinamik gelişim alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır (James ve Petrone, 2016). Kalp atım hızı monitörleri, GPS tabanlı takip sistemleri, basınç sensörleri, akıllı tekstiller ve fizyolojik izlem araçları sayesinde sporcuların iç ve dış yükleri eş zamanlı olarak takip edilebilmektedir (Seshadri vd.,2019). Bu teknolojiler, yalnızca performans artışına katkı sağlamamakta; aynı zamanda antrenman yükünün düzenlenmesi, toparlanma süreçlerinin izlenmesi, aşırı kullanım yaralanmalarının önlenmesi ve rehabilitasyonun bireyselleştirilmesi açısından da önemli olanaklar sunmaktadır.

Giyilebilir teknolojilerin sağlamış olduğu bu olanaklar, sporcu sağlığının izlenmesi bakımından yeni bir dönem oluşturmuştur. Günümüzde sporcu sağlığı sadece yaralanma meydana geldikten sonra müdahale edilen bir alan olmakla kalmamış, veriye dayalı izleme sistemleri sayesinde de önleyici ve sürdürülebilir bir sağlık yönetimi alanı olarak ele alınmaktadır (Yang vd., 2024). Hareket kalitesindeki bozulmalar, yüklenme örüntülerindeki dengesizlikler, nöromüsküler yorgunluk belirtileri ya da baş ivmelenmesine ilişkin maruziyetler erken dönemde teşhisedilebildiğinde, performans ile sağlık arasındaki denge daha bilinçli biçimde yönetilebilmektedir. Bununla beraber teknoloji kullanımının her zaman otomatik olarak daha iyi koruma sağlamadığı da açıktır. Çünkü hatalı ölçümler, bağlamdan kopuk veri yorumları veya yalnızca algoritmik önerilere dayanılarak alınan kararlar, sporcunun yararına olmayan sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Bu sebeple veri üretiminin artması kadar, bu verinin nasıl yorumlandığı ve kim tarafından hangi amaçla kullanıldığı da belirleyici hâle gelmektedir (Souaifi vd., 2025; Naughton vd., 2024).

Bu noktada etik sorumluluklar, hareket analizi ve giyilebilir teknolojiler tartışmasının ayrılmaz bir bileşeni hâline gelmektedir. Çünkü bu sistemler sadece sporcunun hareketini veya fizyolojik durumunu ölçmemekte; aynı zamanda bedensel bütünlüğe, mahremiyete, veri sahipliğine ve bireysel özerkliğe ilişkin yeni sorular da meydana getirmektedir (Karkazis ve Fishman, 2017). Özellikle sporcunun kim tarafından, hangi sıklıkla ve ne amaçla izlendiği; verilerin kimlerle paylaşıldığı; sporcunun bu süreçte gerçekten özgür onam verip vermediği; sağlık verilerinin performans baskısını artıracak şekilde kullanılıp kullanılmadığı gibi meseleler, teknolojinin etik sınırlarını belirlemektedir (Bailey, 2019). International Olympic Committee tarafından yürürlüğe konulan 2024 tarihli Olympic Movement Medical Code, sporcu sağlığının önceliğini temel ilke olarak kabul etmekte ve tıbbi uygulamalarda en iyi uygulama standartlarının, sağlık önceliğinin ve sporcu yararının esas alınması gerektiğini belirtmektedir. Bu çerçevede, sporcuya ilişkin verilerin yalnızca performans

hedefleriyle değil, insan onuru, sağlık hakkı ve güvenli bakım ilkeleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır (IOC, 2024; Mountjoy vd., 2026).

Sonuç olarak hareket analizi, giyilebilir teknolojiler, sporcu sağlığı ve etik sorumluluklar arasındaki ilişki, günümüz spor bilimlerinde çok katmanlı bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Bu alan bir yandan nesnel veri üretimi, performans optimizasyonu ve yaralanma önleme açısından büyük fırsatlar sunarken; diğer yandan veri doğruluğu, yorumlama sınırları, mahremiyet, özerklik ve adalet gibi temel etik soruları gündeme taşımaktadır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Hareket Analizinin Kuramsal Temelleri

Hareket analizi, insan hareketinin oluşumunu, organizasyonunu ve sonuçlarını biyomekanik, motor kontrol, motor öğrenme ve ölçüm bilimi ekseninde inceleyen disiplinler arası bir çalışma alanıdır (Shan, 2024). Spor bilimleri bağlamında bu alan, yalnızca bir hareketin nasıl gerçekleştiğini betimlemekle sınırlı değildir; aynı zamanda hareketin hangi mekanik ilkeler altında üretildiğini, hangi çevresel ve bireysel kısıtlar tarafından şekillendiğini ve performans ya da yaralanma riskiyle nasıl ilişkilendiğini de açıklamayı amaçlamaktadır. Bu yönüyle hareket analizi, sporcunun tekniğini değerlendiren dar bir araçtan çok, insan hareketini sistematik biçimde anlamaya çalışan kuramsal bir çerçeve sunmaktadır. Güncel literatür de insan hareket analizinin spor performansının değerlendirilmesi, hareket örüntülerinin yorumlanması ve eklem yüklerinin kestirilmesi gibi alanlarda giderek daha gelişmiş araçlar ve modelleme teknikleriyle ilerlediğini göstermektedir (Bonato vd., 2024; Suo vd., 2024; Ancillao, 2018).

Hareket analizinin kuramsal temelinde ilk olarak biyomekanik yaklaşım yer almaktadır (Lu ve Chang, 2012). Biyomekanik, insan bedenini kuvvetlere maruz kalan ve bu kuvvetlere belirli hareket çıktılarıyla yanıt veren biyolojik bir sistem olarak ele alır (Humphrey ve Delange, 2004). Bu çerçevede hareketin anlaşılması, kinematik ve kinetik bileşenlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Kinematik analiz; pozisyon, hız, ivme, açı ve zaman gibi değişkenler üzerinden hareketin geometrik özelliklerini incelerken, kinetik analiz; kuvvet, moment, impuls ve yer tepki kuvveti gibi değişkenlerle hareketin nedenlerini ortaya koymaktadır. Spor ortamında bu iki boyutun birlikte ele alınması, yalnızca performansın ne düzeyde olduğunu değil, performansın hangi mekanik organizasyonla üretildiğini anlamayı mümkün kılar. Bu nedenle çağdaş hareket analizi kuramı, hareketin yalnızca çıktısına değil, o çıktıyı oluşturan mekanik yapıya da odaklanmaktadır (Suo vd., 2024; Adlou vd., 2025).

Kuramsal altyapının ikinci önemli bileşeni motor kontrol ve koordinasyon perspektifidir. İnsan hareketi, birbirinden bağımsız çalışan segmentlerin toplamı olarak değil, çok sayıda alt sistemin eşgüdümüyle ortaya çıkan dinamik bir bütün olarak değerlendirilmektedir (Davids, vd., 2006). Bu yaklaşımda hareketin kalitesi, yalnızca ideal bir formun tekrar edilmesiyle değil; organizmanın görev taleplerine ve çevresel koşullara uyum sağlayabilme kapasitesiyle açıklanmaktadır. Son yıllarda spor biyomekaniğinde öne çıkan çalışmalar, özellikle uzmanlık düzeyi arttıkça sporcuların daha katı ve değişmez hareket örüntülerinden ziyade, işlevsel olarak uyarlanabilir hareket çözümleri geliştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle hareket analizi kuramı, “tek doğru teknik” anlayışından uzaklaşarak, bağlama duyarlı ve performans amacına hizmet eden koordinasyon örüntülerini ön plana çıkarmaktadır (Marineau vd., 2024; Montull vd., 2025).

Bu noktada hareket değişkenliği kavramı, hareket analizinin en önemli kuramsal unsurlarından biri hâline gelmiştir. Geleneksel bakış açısında değişkenlik çoğu zaman hata ya da tutarsızlık olarak değerlendirilirken, güncel yaklaşımlar bunun her zaman olumsuz bir durum olmadığını göstermektedir. Cowin ve Nimphius’un (2022) ortaya koyduğu çerçevede hareket değişkenliği, sportif görevlerde üç düzeyde ele alınmaktadır: stratejik değişkenlik, uygulama değişkenliği ve sonuç değişkenliği. Stratejik değişkenlik, aynı görevi yerine getirmek için farklı hareket çözümlerinin seçilmesini; uygulama değişkenliği, aynı strateji içinde tekrarlar arasında ortaya çıkan bedensel ayarlamaları; sonuç değişkenliği ise hareket çıktılarındaki farklılıkları ifade etmektedir. Bu sınıflama, hareket analizinde yalnızca “değişkenlik var mı?” sorusunun değil, “hangi tür değişkenlikten söz ediyoruz?” sorusunun da önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim güncel spor literatürü, işlevsel değişkenliğin performansın sürdürülmesine katkı sağlayabileceğini, aşırı düşük ya da aşırı yüksek değişkenliğin ise yaralanma riskiyle ilişkili olabileceğini ileri sürmektedir (Cowin ve Nimphius, 2022; Alsubaie vd., 2023).

Hareket analizinin kuramsal yapısında motor öğrenme de merkezi bir yer tutmaktadır (Schmidt ve Wrisberg, 2008). Çünkü sporcu hareketi yalnızca mevcut durumu yansıtmaz; aynı zamanda öğrenilmiş, tekrarlarla pekişmiş ve deneyimle biçimlenmiş bir organizasyonu temsil eder. Bu bağlamda hareket analizi, sporcunun mevcut tekniğini betimlemenin ötesinde, hangi öğretim ve antrenman yaklaşımlarının daha işlevsel hareket örüntüleri oluşturduğunu anlamak için de kullanılmaktadır (Brewer, 2017). Güncel sistematik derlemeler, örtük öğrenme yaklaşımlarının, açık öğretim biçimlerine kıyasla bazı sportspesifik görevlerde biyomekanik çıktıları daha olumlu yönde etkileyebildiğini ve yaralanma önleme programları açısından dikkate değer bir

potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu bulgular, hareket analizinin yalnızca ölçüm yapan bir alan olmadığını; aynı zamanda antrenman tasarımı, beceri edinimi ve koruyucu sporcu sağlığı uygulamalarıyla doğrudan ilişkili kuramsal bir zemin sunduğunu göstermektedir (Nijmeijer vd., 2025).

Kuramsal temelin bir diğer önemli boyutu, ölçüm geçerliliği ve yöntemsel güvenilirlik meselesidir. Hareket analizi, doğası gereği ölçüme dayalı bir alandır; dolayısıyla elde edilen verilerin geçerli, güvenilir ve karşılaştırılabilir olması kuramsal çerçevenin ayrılmaz bir parçasıdır (Tao vd., 2012). Özellikle giyilebilir sensörlerin ve atalet ölçüm birimlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, laboratuvar dışı ortamlarda veri toplamak kolaylaşmış; ancak bu durum standart raporlama ve kalite kontrol ihtiyacını daha görünür kılmıştır. International Society of Biomechanics tarafından yayımlanan güncel öneriler, eklem kinematığının giyilebilir atalet ölçüm teknolojileriyle değerlendirilmesinde sensör özellikleri, kalibrasyon, deneysel protokol, kinematik model ve kalite değerlendirme süreçlerinin açık biçimde raporlanmasının zorunlu olduğunu vurgulamaktadır. Bu çerçevede hareket analizinin kuramsal temeli, yalnızca “neyin ölçüldüğü” ile değil, aynı zamanda “nasıl ölçüldüğü” ve “bu ölçümün ne ölçüde güvenilir olduğu” ile tamamlanmaktadır (Cereatti vd., 2024; Bonato vd., 2024). Sonuç olarak; hareket analizinin kuramsal temelleri; biyomekanik ilkeler, motor kontrol ve koordinasyon süreçleri, hareket değişkenliği yaklaşımı, motor öğrenme kuramları ve ölçüm biliminin temel prensipleri üzerine inşa edilmektedir. Bu çok boyutlu yapı, spor bilimlerinde hareketin yalnızca betimlenmesini değil, aynı zamanda neden, nasıl ve hangi koşullarda ortaya çıktığının anlaşılmasını mümkün kılmaktadır.

2.2. Sporda Giyilebilir Teknolojilerin Gelişimi ve Kullanımı

Giyilebilir teknolojiler, spor bilimlerinde performansın izlenmesi, yüklenmenin yönetilmesi, sağlık göstergelerinin değerlendirilmesi ve yaralanma riskinin azaltılması amacıyla giderek daha merkezi bir konuma yerleşmiştir (da Silva, 2024). Bu teknolojiler en genel anlamıyla, vücuda takılabilen ya da bedenle doğrudan temas hâlinde çalışarak fizyolojik, biyomekanik veya çevresel verileri toplayan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Spor bağlamında kalp atım hızı monitörleri, küresel konumlandırma sistemleri, atalet ölçüm birimleri, akıllı saatler, akıllı tekstiller, basınç tabanlıkları ve biyokimyasal sensörler bu alanın en yaygın örnekleri arasında yer almaktadır. Giyilebilir sistemlerin gelişimi, sporcu değerlendirmesini laboratuvar merkezli ölçüm anlayışından çıkararak antrenman ve müsabaka ortamında gerçek zamanlı veri takibine doğru taşımıştır. Bu dönüşüm, spor performansının yalnızca sonuç odaklı değil, süreç odaklı ve

sürekli izlenebilir bir yapı içinde ele alınmasına katkı sağlamıştır (Seçkin vd., 2023; Olsen vd., 2025; Seshadri vd., 2019).

Sporla giyilebilir teknolojilerin gelişimi tarihsel olarak değerlendirildiğinde, ilk uygulamaların daha çok temel fizyolojik ölçümlere dayandığı görülmektedir (Aroganam vd., 2019). Erken dönemde kullanılan taşınabilir cihazlar çoğunlukla kalp atım hızı, enerji harcaması ve temel aktivite düzeyi gibi göstergeleri takip etmeye odaklanmıştır. Zamanla mikroelektronik, kablosuz iletişim, batarya verimliliği ve sensör hassasiyetindeki ilerlemeler sayesinde bu cihazlar çok daha küçük, hafif, taşınabilir ve çok işlevli hâle gelmiştir. Özellikle 2010'lu yıllardan itibaren sporcularda iç ve dış yükün eş zamanlı izlenmesine olanak tanıyan sistemlerin yaygınlaşması, giyilebilir teknolojileri antrenman biliminin temel bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Güncel derlemeler, bugün kullanılan sistemlerin yalnızca fizyolojik yanıtları değil; aynı zamanda hareket mekaniğini, ivmelenmeyi, yön değiştirmeyi, temas örüntülerini ve bazı biyokimyasal göstergeleri de izleyebildiğini göstermektedir (Seshadri vd., 2019; Migliaccio vd., 2024; Assalve vd., 2024).

Bu gelişim sürecinde özellikle atalet ölçüm birimleri ve GPS tabanlı takip sistemleri spor alanında belirleyici bir rol oynamıştır. Atalet ölçüm birimleri; ivmeölçer, jiroskop ve bazen manyetometre bileşenlerinden oluşarak sporcunun hareket yönünü, ivmesini, dönüş hızını ve segmental hareket örüntülerini değerlendirmeye imkân vermektedir (Acar, 2019). GPS ve yerel konumlandırma sistemleri ise toplam koşu mesafesi, yüksek hızda koşu, ivmelenme-yavaşlama profilleri ve pozisyonel hareket talepleri gibi dış yük göstergelerinin izlenmesinde öne çıkmaktadır (Cummins vd., 2013). Bu teknolojiler özellikle takım sporlarında antrenman yoğunluğunun düzenlenmesi, pozisyona özgü taleplerin belirlenmesi ve bireyselleştirilmiş yük yönetimi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Güncel yayımlar, bu cihazların saha içi uygulanabilirlikleri nedeniyle sporcu izleminde yaygın biçimde kullanıldığını, ancak ölçüm doğruluğunun cihaz türüne, örnekleme hızına, kullanım bağlamına ve veri işleme yöntemine göre değişebildiğini vurgulamaktadır (Seçkin vd., 2023; Olsen vd., 2025).

Giyilebilir teknolojilerin kullanım alanları yalnızca dış yük takibiyle sınırlı değildir. İç yükün değerlendirilmesinde kalp atım hızı sensörleri, kalp atım hızı değişkenliği sistemleri, deri sıcaklığı ölçerler ve son dönemde ter analizi yapan biyosensörler dikkat çekmektedir (Çetinkaya, 2025). Özellikle son yıllarda geliştirilen ter temelli biyosensörler, laktat, glukoz, elektrolitler, pH ve kortizol gibi biyobelirteçlerin noninvaziv biçimde izlenmesine yönelik umut verici bir alan oluşturmuştur. Bu gelişme, sporcularda yorgunluk, hidrasyon, metabolik yanıt ve toparlanma süreçlerinin daha hassas biçimde değerlendirilmesine katkı

sağlayabilecek bir potansiyel taşımaktadır. Güncel incelemeler, biyokimyasal izlem yapabilen giyilebilir sistemlerin halen gelişmekte olan bir alan olduğunu, ancak gelecekte performans izleme ile sağlık takibini daha güçlü biçimde bütünleştirebileceğini ortaya koymaktadır (Assalve vd., 2024; Yang vd., 2024).

Sporda giyilebilir teknolojilerin bir diğer önemli kullanım alanı, yaralanma önleme ve rehabilitasyon izlemidir (Seyhan vd., 2025). Hareket asimetrisi, yüklenme dengesizlikleri, tekrarlayan darbe maruziyeti, koşu mekaniğindeki bozulmalar ya da toparlanma süreçlerindeki gecikmeler, giyilebilir sensörlerden elde edilen veriler aracılığıyla daha erken fark edilebilmektedir (Ölmez, 2025). Özellikle spor hekimliği alanında yapılan güncel derlemeler, giyilebilir sensör cihazlarının spora özgü biyomekaniğin değerlendirilmesi, iş yükünün düzenlenmesi, rehabilitasyon sürecinin nesnel takibi ve tanısal destek amacıyla giderek daha sık kullanıldığını bildirmektedir. Bu durum, sporcu sağlığına yönelik kararların yalnızca gözleme değil, çoklu veri kaynaklarına dayalı biçimde alınmasını desteklemektedir. Bununla birlikte araştırmacılar, bu teknolojilerin tek başına karar verici araçlar gibi kullanılmaması, klinik değerlendirme ve uzman yorumu ile birlikte ele alınması gerektiğini özellikle vurgulamaktadır (Olsen vd., 2025; Seshadri vd., 2019).

Giyilebilir teknolojilerin gelişimiyle birlikte gerçek zamanlı geri bildirim ve antrenman optimizasyonu da daha görünür hâle gelmiştir (Van Hooren vd., 2020). Özellikle spor biyomekaniği ve performans analizinde kullanılan taşınabilir sistemler, sporcunun hareketini anlık olarak değerlendirerek teknik düzeltme, tempo ayarlaması, yüklenme sınırlandırması ya da toparlanma önerileri sunabilmektedir. “Marginal gains” yaklaşımı çerçevesinde ele alınan güncel çalışmalar, küçük fakat sistematik performans iyileştirmelerinin giyilebilir teknolojiler aracılığıyla daha hassas biçimde izlenebildiğini göstermektedir (Zhang vd., 2019). Bu sistemler, antrenman planlamasının daha bireyselleştirilmiş yapılmasına olanak tanıırken, saha içinde ölçüm alınabilmesi sayesinde ekolojik geçerliği yüksek veriler sunmaktadır. Ancak bu avantajların anlamlı olabilmesi için veri kalitesinin yüksek olması, antrenör ve uzmanların veriyi doğru yorumlayabilmesi ve sporcuya verilen geri bildirim bağlama uygun düzenlenmesi gerekmektedir (Migliaccio vd., 2024; Jaén-Carrillo, 2024; Khan vd., 2025).

Sonuç olarak sporda giyilebilir teknolojilerin gelişimi, sporcu izleminde nicel veri kullanımını derinleştiren ve performans ile sağlık yönetimini daha hassas hâle getiren önemli bir dönüşümü temsil etmektedir. Bu teknolojiler; performans analizi, yüklenme takibi, fizyolojik izlem, yaralanma önleme, rehabilitasyon ve saha içi geri bildirim gibi çok sayıda kullanım alanı sunmaktadır. Ancak bu alanın sürdürülebilir biçimde gelişebilmesi, yalnızca yeni cihazların yaygınlaşmasına

değil; aynı zamanda ölçüm kalitesinin kanıtlanmasına, uzman yorumunun korunmasına ve sporcu yararını merkeze alan uygulama anlayışının güçlenmesine bağlıdır. Bu nedenle giyilebilir teknolojiler, spor bilimlerinde yalnızca yenilikçi araçlar olarak değil, aynı zamanda dikkatli seçilmesi, doğrulanması ve bağlamsal olarak yorumlanması gereken bilimsel sistemler olarak değerlendirilmelidir (Seçkin vd., 2023; Olsen vd., 2025; Migliaccio vd., 2024).

2.3. Sporcu Sağlığının İzlenmesinde Teknolojik Yaklaşımlar

Günümüzde spor bilimleri alanında yaşanan dijital dönüşüm, sporcu sağlığının izlenmesi ve yönetilmesinde teknolojik yaklaşımların önemini artırmıştır (Yılmaz vd., 2025). Özellikle sensör teknolojilerindeki yaşanan gelişmeler, veri analitiği ve yapay zekâ uygulamaları sayesinde sporcuların fizyolojik, biyomekanik ve psikolojik parametreleri çok boyutlu olarak izlenebilmektedir. Bu durum, sadece performansın artırılmasına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sakatlıkların önlenmesinde ve rehabilitasyon süreçlerinin optimize edilmesinde de katkı sunmaktadır (Öner ve Bingöl, 2024).

Sporcu sağlığının izlenmesinde en yaygın kullanılan teknolojik yaklaşımların başında giyilebilir teknolojiler gelmektedir Şahin vd., 2024). Akıllı saatler, biyosensörler, akıllı tekstiller ve GPS tabanlı sistemler, sporcuların kalp atım hızı, oksijen tüketimi, uyku kalitesi, hareket yoğunluğu ve enerji harcaması gibi birçok fizyolojik verisini anlık olarak ölçebilmektedir. Bu cihazlar, iç yük (fizyolojik tepkiler) ve dış yük (mesafe, hız, ivme) parametrelerini eş zamanlı olarak analiz ederek antrenman süreçlerinin bilimsel temellere dayandırılmasını mümkün kılmaktadır (Seshadri vd., 2019; Hausswirth ve Mujika, 2013).

Giyilebilir teknolojilerin sunduğu gerçek zamanlı veri takibi, sporcuların aşırı yüklenme durumlarının erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır (Seshadri vd., 2017). Özellikle akut ve kronik yük oranlarının izlenmesi, sakatlık riskinin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, veri temelli karar alma süreçleri sayesinde antrenman programları bireyselleştirilebilmekte ve sporcuların performans-toparlanma dengesi daha etkin bir şekilde yönetilebilmektedir (Gabbett, 2016; Li vd., 2016).

Teknolojik yaklaşımlar yalnızca giyilebilir cihazlarla sınırlı değildir. Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı sistemler, sporcuların sağlık verilerinin bulut ortamında depolanmasını ve analiz edilmesini sağlayarak uzaktan izleme imkânı sunmaktadır. Bu sistemler, sağlık profesyonelleri ve antrenörlerin sporcu verilerine eş zamanlı erişimini mümkün kılarak multidisipliner bir değerlendirme süreci oluşturur (Passos vd., 2021). Ayrıca makine öğrenmesi ve yapay zekâ algoritmaları, büyük veri setlerini analiz ederek performans tahmini, sakatlık

öngörüsü ve kişiselleştirilmiş antrenman planlaması gibi alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır (De Fazio vd., 2023; Yang vd., 2024).

Bunun yanı sıra, görüntüleme teknolojileri ve hareket analiz sistemleri de sporcu sağlığının izlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek hızlı kameralar, üç boyutlu hareket analiz sistemleri ve biyomekanik yazılımlar aracılığıyla sporcuların hareket paternleri detaylı biçimde incelenebilmekte, teknik hatalar belirlenerek sakatlık riskleri minimize edilebilmektedir. Bu sistemler, özellikle rehabilitasyon süreçlerinde hareketin doğruluğunu değerlendirme ve iyileşme sürecini takip etme açısından kritik bir işlev üstlenmektedir (Adesida vd., 2019).

Teknolojik yaklaşımların sporcu sağlığının izlenmesine sağladığı katkılara rağmen, bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Veri güvenliği ve gizlilik, teknolojik cihazların doğruluk düzeyi, yüksek maliyetler ve kullanıcıların teknolojiye adaptasyon süreci bu sınırlılıklar arasında yer almaktadır (Aroganam vd., 2019). Ayrıca, teknolojinin aşırı kullanımının sporcular üzerinde psikolojik baskı oluşturabileceği ve etik tartışmaları beraberinde getirebileceği de literatürde vurgulanmaktadır (Yılmaz vd., 2025).

2.4. Hareket Analizi ve Giyilebilir Teknolojilerin Bütünleşik Kullanımı

Spor bilimlerinde performansın artırılması ve sporcu sağlığının korunması amacıyla kullanılan yöntemler, teknolojik gelişmeler doğrultusunda giderek daha bütünleşik bir yapıya kavuşmaktadır (Altundağ, 2025). Bu bağlamda hareket analizi sistemleri ile giyilebilir teknolojilerin birlikte kullanımı, sporcuların biyomekanik ve fizyolojik özelliklerinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesine imkân tanıyan yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu bütünleşik yapı, yalnızca hareketin mekanik boyutunu değil, aynı zamanda bu hareketin organizma üzerindeki fizyolojik etkilerini de kapsamlı biçimde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır (Camomilla vd., 2018; Papi vd., 2017).

Hareket analizi, sporcuların performansını etkileyen temel bileşenlerden biri olan teknik becerilerin değerlendirilmesinde önemli bir araçtır. Geleneksel olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilen üç boyutlu (3D) hareket analiz sistemleri, yüksek doğrulukla veri sağlamakla birlikte, sınırlı ekolojik geçerlilik ve yüksek maliyet gibi dezavantajlara sahiptir (Carling vd., 2008). Buna karşın, giyilebilir sensör teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte ivmeölçerler, jiroskoplar ve manyetometrelerden oluşan atalet ölçüm birimleri sayesinde saha koşullarında da güvenilir veri toplanabilmektedir. Bu sensörler, sporcuların hareket kalıplarını doğal ortamlarında analiz etmeye olanak tanıyarak performans değerlendirmesinde daha gerçekçi sonuçlar sunmaktadır (Bourdon vd., 2017).

Hareket analizi sistemleri ile giyilebilir teknolojilerin bütünleşik kullanımı, özellikle biyomekanik ve fizyolojik verilerin senkronize edilmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Wong vd., 2015). Örneğin, bir sporcunun koşu esnasındaki eklem açıları, adım uzunluğu ve yer tepki kuvvetleri gibi biyomekanik parametreleri analiz edilirken; aynı anda kalp atım hızı, kas aktivitesi ve enerji harcaması gibi fizyolojik veriler de izlenebilmektedir. Bu bütüncül veri seti, performansın çok boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanımakta ve antrenman süreçlerinin daha bilimsel temellere dayandırılmasını sağlamaktadır (Halson, 2014; Vanrenterghem vd., 2017).

Bu entegrasyonun en önemli katkılarından biride, sakatlık riskinin erken tespit edilebilmesidir. Hareket paternlerindeki bozulmalar ile fizyolojik yüklenme göstergeleri birlikte ele alındığında, sporcuların aşırı yüklenme ya da yanlış teknik kullanımına bağlı olarak sakatlanma riski taşıyıp taşımadığı daha erken aşamada belirlenebilmektedir. Özellikle diz, ayak bileği ve kalça eklemlerine yönelik yük dağılımının analiz edilmesi, spor yaralanmalarının önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Düking vd., 2016; Gabbett, 2016).

Ayrıca, bu bütünleşik yaklaşım rehabilitasyon süreçlerinde de etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Sakatlık sonrası iyileşme sürecinde sporcuların hareket doğruluğu, yüklenme düzeyi ve kas aktivasyon paternleri eş zamanlı olarak izlenebilmekte; bu sayede rehabilitasyon programları bireyselleştirilerek daha güvenli ve etkili hale getirilmektedir (Di Paolo vd., 2021). Giyilebilir teknolojiler aracılığıyla elde edilen sürekli veri akışı, sporcuların rehabilitasyon sürecinde ilerleme düzeylerinin objektif olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Kellmann vd., 2018).

Bununla birlikte, hareket analizi ve giyilebilir teknolojilerin bütünleşik kullanımına ilişkin bazı sınırlılıklar da bulunmaktadır. Sensörlerin kalibrasyonu, veri doğruluğu, farklı sistemler arasındaki uyum sorunları ve büyük veri setlerinin analizine yönelik teknik gereksinimler bu sınırlılıklar içinde yer almaktadır. Ayrıca, elde edilen verilerin doğru yorumlanabilmesi için disiplinler arası bilgi birikimine sahip uzmanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Camomilla vd., 2018).

2.5. Sporcu Sağlığı Bağlamında Etik Sorumluluklar

Sporcu sağlığının korunması ve geliştirilmesi, yalnızca tıbbi ve performans odaklı yaklaşımlarla sınırlı kalmayıp aynı zamanda güçlü bir etik çerçeve içerisinde ele alınması gereken çok boyutlu bir konudur (Alghurabi ve Ravikanth, 2025). Modern spor bilimlerinde artan rekabet düzeyi, performans baskısı ve teknolojik gelişmeler, sporcu sağlığına ilişkin etik sorumlulukların daha görünür ve kritik hale gelmesine neden olmuştur. Bu bağlamda antrenörler, sağlık

profesyonelleri, yöneticiler ve bilim insanları başta olmak üzere tüm paydaşların, sporcuların fiziksel ve psikolojik bütünlüğünü korumaya yönelik etik ilkelere bağlı kalmaları gerekmektedir (Anderson ve Gerrard, 2005; Camporesi ve McNamee, 2018).

Sporcu sağlığı bağlamında en temel etik ilkelerden biri “zarar vermeme” ilkesidir (Vertommen vd., 2024). Bu ilke, sporcuların kısa vadeli performans kazanımları uğruna uzun vadeli sağlık risklerine maruz bırakılmamasını gerektirir. Özellikle sakatlık durumlarında sporcunun erken sahaya döndürülmesi, aşırı antrenman yüklenmesi ya da yetersiz rehabilitasyon süreçleri, bu ilkenin ihlali olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada sağlık profesyonellerinin bağımsız karar verme yetisini koruması ve performans baskısına karşı etik duruş sergilemesi büyük önem taşımaktadır (Herring vd., 2024).

Bir diğer önemli etik ilke ise “yararlılık” ilkesidir. Bu ilke, sporcuların en yüksek faydayı sağlayacak uygulamalarla desteklenmesini ve sağlıklarının önceliklendirilmesini ifade eder. Antrenman planlaması, beslenme düzeni ve psikolojik destek süreçlerinde sporcuların bireysel ihtiyaçlarının dikkate alınması, bu ilkenin pratiğe yansımaları olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda sporcuların bilinçli kararlar alabilmesi için doğru ve şeffaf bilgilendirme yapılması da etik sorumluluklar arasında yer almaktadır (McNamee vd., 2025).

Sporcu sağlığında etik sorumlulukların önemli bir boyutunu “özerklik” ilkesi oluşturmaktadır (Koçlu ve Zeki, 2024). Bu ilke, sporcuların kendi bedenleri ve sağlıkları üzerinde söz sahibi olmasını ve karar süreçlerine aktif katılımını gerektirir. Özellikle tıbbi müdahaleler, performans artırıcı yöntemler veya rehabilitasyon süreçlerinde sporcuların bilgilendirilmiş onamının alınması, etik açıdan zorunlu bir uygulamadır. Ancak elit spor ortamlarında görülen otoriter yapı ve başarı odaklı kültür, zaman zaman sporcu özerkliğinin ihlal edilmesine yol açabilmektedir (McNamee, 2008).

Teknolojik gelişmelerle birlikte sporcu sağlığı alanında ortaya çıkan yeni etik sorunlar da dikkat çekmektedir. Giyilebilir teknolojiler ve veri analitiği sistemleri aracılığıyla toplanan kişisel verilerin gizliliği ve güvenliği, günümüzün en önemli etik tartışma alanlarından biridir (Al-Farouni ve Rani, 2025). Sporculara ait biyometrik ve performans verilerinin izinsiz kullanımı, paylaşımı ya da ticari amaçlarla değerlendirilmesi, etik ihlallere neden olabilmektedir. Bu nedenle veri yönetimi süreçlerinde şeffaflık, güvenlik ve sporcu rızasının sağlanması temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (Ives vd., 2021).

Sporcu sağlığı bağlamında etik sorumluluklar yalnızca bireysel düzeyde değil, kurumsal düzeyde de ele alınmalıdır. Spor kulüpleri, federasyonlar ve ilgili

kurumlar, sporcuların sağlığını koruyacak politikalar geliştirmek ve uygulamakla yükümlüdür. Anti-doping uygulamaları, sağlık taramaları, sakatlık nleme programları ve psikolojik destek hizmetleri, bu sorumluluğun somut göstergeleri arasında yer almaktadır. Özellikle doping kullanımı, hem sporcu sağlığını tehdit eden hem de sporun adil rekabet ilkesine zarar veren önemli bir etik sorundur (Davoren vd., 2024; Boardley, 2025).

Ayrıca, genç ve gelişim çağındaki sporcular söz konusu olduğunda etik sorumluluklar daha da hassas bir hale gelmektedir. Bu gruptaki sporcuların fiziksel gelişimleri, psikolojik dayanıklılıkları ve karar verme kapasiteleri yetişkinlere kıyasla daha sınırlı olabileceğinden, onların korunmasına yönelik etik yükümlülükler daha kapsamlıdır. Aşırı antrenman, erken uzmanlaşma ve performans baskısı gibi faktörler, genç sporcuların fiziksel ve psikolojik sağlıklarını olumsuz etkileyebilmektedir (Bergeron vd., 2015).

3. Sonuç

Spor bilimlerinde hareket analizi ile giyilebilir teknolojilerin gelişimi, sporcu performansının değerlendirilmesi ve sporcu sağlığının korunmasına yönelik yaklaşımları köklü biçimde değişime uğratmıştır. Bu değişim ve dönüşüm, insan hareketinin sadece gözleme dayalı olmadığını, aynı zamanda ölçülebilir ve veri temelli bir anlayışla ele alınması gerektiğini mümkün kılmıştır. Böylece sporcuların yüklenme düzeyleri, hareket örüntüleri ve fizyolojik tepkileri daha ayrıntılı biçimde izlenebilir hâle gelmiş ve performans ile sağlık arasındaki denge daha bilinçli şekilde yönetilebilir olmuştur.

Hareket analizinin biyomekanik, motor kontrol ve öğrenme temelli kuramsal altyapısı, sporcu hareketinin çok boyutlu bir yapı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda performansın değerlendirilmesi, tek tip teknik anlayışından uzaklaşarak, bağlama duyarlı ve işlevsel hareket çözümlerine odaklanan bir yaklaşıma evrilmıştir. Giyilebilir teknolojilerin sunmuş olduğu gerçek zamanlı veri takibi ise bu kuramsal çerçevenin saha ortamına taşınmasını sağlayarak, sporcu izlemi daha sürekli, antrenman planlaması daha bireyselleştirilmiş ve sağlık yönetimi daha önleyici bir nitelik kazanmıştır.

Hareket analizi ile giyilebilir teknolojilerin bütünleşik kullanımı, biyomekanik ve fizyolojik verilerin birlikte değerlendirilmesine olanak tanıyarak performansın çok boyutlu biçimde analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu bütünleşik yaklaşım, özellikle yaralanma riskinin erken tespiti ve rehabilitasyon süreçlerinin etkin yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, veri doğruluğu, ölçüm standartları ve yorumlama süreçleri, bu sistemlerin etkinliğini belirleyen kritik unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin sağladığı bu olanaklar, sporcu sağlığının korunmasında önemli fırsatlar sunarken, beraberinde etik sorumlulukları da daha görünür hâle getirmiştir. Sporcu verilerinin gizliliği, veri sahipliği, bilgilendirilmiş onam ve özerklik gibi konular, bu alanın temel etik tartışma başlıklarını oluşturmaktadır. Bu nedenle spor ortamında kullanılan teknolojilerin yalnızca performans artırıcı araçlar olarak değil, aynı zamanda insan onurunu ve sağlık hakkını gözetilen sistemler olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, hareket analizi, giyilebilir teknolojiler ve etik sorumluluklar arasındaki ilişki, çağdaş spor bilimlerinin merkezinde yer alan bütüncül bir yaklaşımı ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, performans ve sağlığı birbirine karşıt unsurlar olarak değil, birlikte ele alınması gereken tamamlayıcı bileşenler olarak değerlendirmektedir.

Kaynakça

- Acar, A.Ö. (2019). *Atalet sensörleri ile çalışacak Denge değerlendirme Sistemi geliştirilmesi ve geçerlilik ve güvenilirliğinin araştırılması*. Yayınlanmamış tezli yüksek lisans tezi. Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Adesida, Y., Papi, E., ve McGregor, A. H. (2019). Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: A systematic review. *Sensors*, 19(7), 1597.
- Adlou, B., Wilburn, C., ve Weimar, W. (2025). Motion capture technologies for athletic performance enhancement and injury risk assessment: A review for multi-sport organizations. *Sensors*, 25(14), 4384.
- Al-Farouni, M., ve Rani, M.S. (2025). Recent Technological Advancements in Healthcare Systems for Sports Personnel. *Advances in Sports Science and Technology*, 161-165.
- Alghurabi, A.M.K., ve Ravikanth, P. (2025). Optimizing Athletic Performance with the Assistance of Healthcare Professional. In *Advances in Sports Science and Technology* (pp. 110-115). CRC Press.
- Alsubaie, A.M., Mazaheri, M., Martinez-Valdes, E., ve Falla, D. (2023). Is movement variability altered in people with chronic non-specific low back pain? A systematic review. *PLoS One*, 18(6), e0287029.
- Altundağ, M.S. (2025). *Giyilebilir Teknolojiler Ve İnsansız Hava Araçlarının Su Sporlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Harran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Ancillao, A. (2018). *Modern functional evaluation methods for muscle strength and gait analysis*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Anderson, L.C., ve Gerrard, D.F. (2005). Ethical issues concerning New Zealand sports doctors. *Journal of medical ethics*, 31(2), 88-92.
- Aroganam, G., Manivannan, N., ve Harrison, D. (2019). Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications. *Sensors*, 19(9), 1983.
- Arzehgar, A., Seyedhasani, S.N., Ahmadi, F.B., Bagheri Baravati, F., Sadeghi Hesar, A., Kachooei, A. R., ve Aalaei, S. (2025). Sensor-based technologies for motion analysis in sports injuries: a scoping review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 15
- Assalve, G., Lunetti, P., Di Cagno, A., De Luca, E. W., Aldegheri, S., Zara, V., Ferramosca, A. (2024). Advanced wearable devices for monitoring sweat biochemical markers in athletic performance: a comprehensive review. *Biosensors*, 14(12), 574.

- Bailey, C. (2019). Longitudinal monitoring of athletes: Statistical issues and best practices. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 1(3), 217-227.
- Bergeron, M.F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C. A., ... & Engebretsen, L. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British journal of sports medicine*, 49(13), 843-851.
- Boardley, I. (2025). Psychology's evolution: Two decades of the world anti-doping code and global doping prevention. *Sport & Exercise Psychology Review*, 20(1).
- Bonato, P., Feipel, V., Corniani, G., Arin-Bal, G., Leardini, A. (2024). Position paper on how technology for human motion analysis and relevant clinical applications have evolved over the past decades: striking a balance between accuracy and convenience. *Gait & posture*, 113, 191-203.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M.C., Cable, N.T. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-161.
- Brewer, C. (2017). *Athletic movement skills: Training for sports performance*. Human Kinetics.
- Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review. *Sensors*, 18(3), 873.
- Camporesi, S., ve McNamee, M. (2018). *Bioethics, genetics and sport*. Routledge.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports medicine*, 38(10), 839-862.
- Cereatti, A., Gurchiek, R., Mündermann, A., Fantozzi, S., Horak, F., Delp, S., ve Aminian, K. (2024). ISB recommendations on the definition, estimation, and reporting of joint kinematics in human motion analysis applications using wearable inertial measurement technology. *Journal of Biomechanics*, 173, 112225.
- Cowin, J., Nimphius, S., Fell, J., Culhane, P., ve Schmidt, M. (2022). A proposed framework to describe movement variability within sporting tasks: A scoping review. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 85.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., ve West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine*, 43(10), 1025-1042.

- Çetinkaya, C. (2025). Giyilebilir Teknolojilerin Sporcu Sağlığına Etkisi. *Spor & Bilim 2025: Sporcu Sağlığı*, 51.
- Da Silva, L. (2024). Wearable technology in sports monitoring performance and health metrics. *Revista De Psicologia Del Deporte (Journal of Sport Psychology)*, 33(2), 250-258.
- Davids, K., Bennett, S., ve Newell, K.M. (Eds.). (2006). *Movement system variability*. Human kinetics.
- Davoren, A. K., Rulison, K., Milroy, J., Grist, P., Fedoruk, M., Lewis, L., Wyrick, D. (2024). Doping prevalence among US elite athletes subject to drug testing under the World Anti-Doping Code. *Sports Medicine-Open*, 10(1), 57.
- De Fazio, R., Mastronardi, V. M., De Vittorio, M., Visconti, P. (2023). Wearable sensors and smart devices to monitor rehabilitation parameters and sports performance: an overview. *Sensors*, 23(4), 1856.
- Di Paolo, S., Lopomo, N. F., Della Villa, F., Paolini, G., Figari, G., Bragonzoni, L., Zaffagnini, S. (2021). Rehabilitation and return to sport assessment after anterior cruciate ligament injury: quantifying joint kinematics during complex high-speed tasks through wearable sensors. *Sensors*, 21(7), 2331.
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., Jones, P.A. (2018). The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: An angle-velocity trade-off. *Sports medicine*, 48(10), 2235-2253.
- Düking, P., Hotho, A., Holmberg, H. C., Fuss, F. K., Sperlich, B. (2016). Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies. *Frontiers in physiology*, 7, 71.
- Gabbett, T.J. (2016). The training injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?. *British journal of sports medicine*, 50(5), 273-280.
- Halson, S.L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44(Suppl 2), 139-147.
- Hauswirth, C., ve Mujika, I. (Eds.). (2013). *Recovery for performance in sport*. Human Kinetics.
- Herring, S.A., Kibler, W.B., Putukian, M., Boyajian-O'Neill, L.A., Chang, C.J., Franks, R.R., ... Sutton, K. (2024). Initial assessment and management of select musculoskeletal injuries: a team physician consensus statement. *Current Sports Medicine Reports*, 23(3), 86-104.
- Humphrey, J.D., ve Delange, S.L. (2004). An introduction to biomechanics. *Solids and Fluids, Analysis and Design*. Springer, Heidelberg, 10.

- Ives, B., Clayton, B., Gale, L., Taylor, W., Leeder, T. M., Nichol, A. J. (2024). 'I'm not the police': practical strategies for sport coach mentors to develop trust and trustworthiness. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 16(2), 151-166.
- Jaén-Carrillo, D., Pérez-Castilla, A., ve García-Pinillos, F. (2024). Wearable and portable devices in sport biomechanics and training science. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(14), 4616.
- James, D.A., ve Petrone, N. (2016). Sensors and wearable technologies in sport: Technologies, trends and approaches for implementation (pp. 1-49). Berlin, Germany: *Springer*.
- Karkazis, K., ve Fishman, J.R. (2017). Tracking US professional athletes: The ethics of biometric technologies. *The American Journal of Bioethics*, 17(1), 45-60.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... & Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 13(2), 240-245.
- Khan, B., Khalid, R. T., Masrur, M. H., Awais, M., Imdad, N., Hilal, M. E., ... & Khoo, B. L. (2025). Advances in polyvinylidene fluoride (PVDF) for self-powered wearable physiological monitoring and energy harvesting applications. *Nano Energy*, 143, 111296.
- Koçlu, A. S., ve Zeki, T.A.Ş. (2024). *Spor ve Etik: Ahlaki Karar Alma Süreçlerinin Sporculardaki Motivasyon Üzerindeki Rolü* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>).
- Kondrič, M., Zagatto, A.M., ve Sekulić, D. (2013). The physiological demands of table tennis: a review. *Journal of sports science & medicine*, 12(3), 362.
- Li, R. T., Kling, S. R., Salata, M. J., Cupp, S. A., Sheehan, J., & Voos, J. E. (2016). Wearable performance devices in sports medicine. *Sports health*, 8(1), 74-78.
- Lu, T. W., ve Chang, C.F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *The Kaohsiung journal of medical sciences*, 28(2), S13-S25.
- Marineau, E., Ducas, J., Mathieu, J., Rodriguez, A. D. P., Descarreaux, M., & Abboud, J. (2024). From novice to expert: how expertise shapes motor variability in sports biomechanics-a scoping review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(8), e14706.
- McNamee, M. (2008). Sports, virtues and vices: Morality plays. *Routledge*.

- McNamee, M., Anderson, L. C., Borry, P., Camporesi, S., Derman, W., Holm, S., ... & Weed, M. (2025). Sport-related concussion research agenda beyond medical science: culture, ethics, science, policy. *Journal of medical ethics*, 51(1), 68-76.
- Migliaccio, G. M., Padulo, J., & Russo, L. (2024). The impact of wearable technologies on marginal gains in sports performance: an integrative overview on advances in sports, exercise, and health. *Applied Sciences*, 14(15), 6649.
- Montull, L., Matas, S., Canton, A., Vives, E., Solé, A., Borrallo, A., & Ensenyat, A. (2025). Novel possibilities of acceleration time series for performance and acute fatigue assessment in uphill trail running. *Sports Biomechanics*, 24(9), 2610-2630.
- Mountjoy, M., Moran, J., Budgett, R., Zideman, D. A., Bahr, R., Bermon, S., ... & Foster, J. (2026). Field-of-Play Emergency Extrication Video Series: co-created by the International Olympic Committee, the Association of Summer Olympic International Federations, the Paris 2024 Organising Committee of the Olympic Games and International Federations. *British Journal of Sports Medicine*, 60(1), 6-10.
- Naughton, M., Salmon, P.M., Compton, H.R., & McLean, S. (2024). Challenges and opportunities of artificial intelligence implementation within sports science and sports medicine teams. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1332427.
- Nijmeijer, E.M., Brals, F.D., Kempe, M., Elferink-Gemser, M.T., & Benjaminse, A. (2025). How are athletes trained to move? A systematic review exploring the effects of implicit and explicit learning on biomechanics of sport-specific tasks. *Journal of biomechanics*, 184, 112671.
- Olsen, R.J., Hasan, S.S., Woo, J.J., Nawabi, D.H., & Ramkumar, P.N. (2025). The fundamentals and applications of wearable sensor devices in sports medicine: a scoping review. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 41(2), 473-492.
- Ölmez, C. (2025). Kas Asimetrisinin Sporda Rolü: Biyomekanik Temeller, Performans Yansımaları ve Yaralanma Risk Dinamikleri. *Hareket ve Antrenman Bilimi Perspektifinden Güncel Araştırmalar*, 33.
- Öner, İ., ve Bingöl, Ş. (2024). Giyilebilir Spor Teknolojilerin Spor Yönetiminde Kullanımı ve Etkileri. *Iğdır Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 7(2), 10-17.
- Papi, E., Koh, W.S., ve McGregor, A.H. (2017). Wearable technology for spine movement assessment: A systematic review. *Journal of biomechanics*, 64, 186-197.

- Passos, J., Lopes, S.I., Clemente, F.M., Moreira, P.M., Rico-González, M., Bezerra, P., & Rodrigues, L.P. (2021). Wearables and Internet of Things (IoT) technologies for fitness assessment: a systematic review. *Sensors*, 21(16), 5418.
- Schmidt, R.A., & Wrisberg, C.A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach*. Human kinetics.
- Seçkin, A. Ç., Ateş, B., ve Seçkin, M. (2023). Review on wearable technology in sports: concepts, challenges and opportunities. *Applied sciences*, 13(18), 10399.
- Seshadri, D.R., Drummond, C., Craker, J., Rowbottom, J.R., & Voos, J.E. (2017). Wearable devices for sports: new integrated technologies allow coaches, physicians, and trainers to better understand the physical demands of athletes in real time. *IEEE pulse*, 8(1), 38-43.
- Seshadri, D.R., Li, R.T., Voos, J.E., Rowbottom, J.R., Alfes, C.M., Zorman, C.A., & Drummond, C.K. (2019). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *NPJ digital medicine*, 2(1), 72.
- Seyhan, S., Açar, G., ve Girginer, F.G. (2025). Sahadan Veriye: Antrenman Biliminde Teknoloji Ve Yenilikçi Uygulamalar. *Spor Bilimlerinde Kuram, Araştırma ve Uygulamalar*, 23.
- Shan, G. (2024). Research on biomechanics, motor control and learning of human movements. *Applied Sciences*, 14(22), 10678.
- Souaifi, M., Dhahbi, W., Jebabli, N., Ceylan, H. İ., Boujabli, M., Muntean, R. I., & Dergaa, I. (2025). Artificial intelligence in sports biomechanics: A scoping review on wearable technology, motion analysis, and injury prevention. *Bioengineering*, 12(8), 887.
- Suo, X., Tang, W., ve Li, Z. (2024). Motion capture technology in sports scenarios: a survey. *Sensors*, 24(9), 2947.
- Şahin, M.Y., Tolukan, E., Güler, H., Altınışık, Ü., ve Saraçoğlu, M. (2024). Atletlerin Giyilebilir Teknolojik Spor Ürünlerine Yönelik Tutumlarının İncelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 7(2), 18-24.
- Tao, W., Liu, T., Zheng, R., & Feng, H. (2012). Gait analysis using wearable sensors. *Sensors*, 12(2), 2255-2283.
- Van Hooren, B., Goudsmit, J., Restrepo, J., & Vos, S. (2020). Real-time feedback by wearables in running: Current approaches, challenges and suggestions for improvements. *Journal of Sports Sciences*, 38(2), 214-230.
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N.J., Robinson, M.A., & Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: a novel framework separating

- physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports medicine*, 47(11), 2135-2142.
- Wong, C., Zhang, Z. Q., Lo, B., & Yang, G.Z. (2015). Wearable sensing for solid biomechanics: A review. *IEEE Sensors Journal*, 15(5), 2747-2760.
- Yang, G., Hong, J., ve Park, S. B. (2024). Wearable device for continuous sweat lactate monitoring in sports: a narrative review. *Frontiers in physiology*, 15, 1376801.
- Yang, L., Amin, O., ve Shihada, B. (2024). Intelligent wearable systems: Opportunities and challenges in health and sports. *ACM Computing Surveys*, 56(7), 1-42.
- Yılmaz, B., Hacıcıferoğlu, S., ve Hacıcıferoğlu, B. (2025). Teknoloji Destekli Spor Eğitimi ve Yönetimi; Dijital Dönüşüm. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 8(3), 126-143.
- Zhang, X., Shan, G., Wang, Y., Wan, B., Li, H. (2019). Wearables, biomechanical feedback, and human motor-skills' learning & optimization. *Applied Sciences*, 9(2), 226.

7. Bölüm

Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Okuryazarlığı, Etik Farkındalık ve Gelecek Perspektifi

Nejla BİÇER*

1. Giriş

Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde sağlık hizmetlerinin sunumu büyük ölçüde vakıf sistemi aracılığıyla yürütülmüştür. Bununla birlikte, bu hizmetlerden toplumun bütün kesimlerinin eşit biçimde yararlandığını söylemek güçtür. Çünkü sağlık hizmetleri daha çok saray çevresi ile askerî yapı ekseninde şekillenmiştir. Dönemin sosyal ve ekonomik koşulları çerçevesinde özel hekimlik uygulamaları da gelişme göstermiştir. Maddi imkânları elverişli olan bireyler, 19. yüzyılın sonlarına kadar kendi konutlarında özel hekimler tarafından muayene edilmekte, tedavi ve bakım hizmetlerini bu şekilde almaktaydı (Çavmak ve Çavmak, 2017). Günümüzde sağlık hizmetleri, dijital dönüşümün en hızlı ve en kapsamlı yaşandığı alanlardan birisidir ve son yıllarda yapay zekâ teknolojilerinin etkisi ile yeniden şekillenmektedir. Tanı, tedavi, bakım planlaması ve sağlık yönetimi süreçlerinde yapay zekâ tabanlı sistemlerin kullanımı giderek artmakta; bu durum sağlık profesyonellerinin bilgi, beceri ve yetkinliklerinin de dönüşmesini zorunlu kılmaktadır (Özdemir ve Bilgin, 2021).

Bu dönüşüm sürecinde öne çıkan temel kavramlardan biri yapay zekâ okuryazarlığıdır. Yapay zekâ okuryazarlığı; bireylerin yapay zekâ sistemlerini anlama, değerlendirme ve etkin şekilde kullanabilme becerilerini kapsayan çok boyutlu bir yeterli alanı olarak tanımlanmaktadır (Demir, 2025). Sağlık profesyonelleri açısından yapay zekâ kavramı, sadece teknik bilgiye sahip olmayı değil; aynı zamanda algoritmik kararların sınırlarını kavrama, veri güvenliği süreçlerini değerlendirme ve hasta bakımına yönelik etkileri analiz edebilme becerisini de içine almaktadır. Fakat literatür, sağlık çalışanlarının yapay zekâ okuryazarlık düzeylerinin genellikle düşük veya orta seviyede olduğunu ve özellikle etik karar alma, veri gizliliği ve algoritmik önyargı konularında önemli bilgi eksiklikleri bulunduğunu ortaya koymaktadır (Esmacilzadeh vd., 2021).

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi, yalnızca teknolojik adaptasyon açısından değil, aynı zamanda hasta güvenliği ve bakım kalitesi açısından da kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Atılğan,

* ORCID: 0009-0000-4926-2325

2025). Nitekim yapılan çalışmalar, sağlık çalışanlarının yapay zekâya karşı genel olarak olumlu tutum geliştirdiğini; ancak bu teknolojilere ilişkin bilgi düzeylerinin yetersiz olduğunu ve eğitim ihtiyacının belirgin şekilde ortaya çıktığını göstermektedir (Orhan ve Büllez, 2024; Seçer, 2024). Bu durum, sağlık sistemlerinde yapay zekâ uygulamalarının etkin ve güvenli kullanımının önündeki önemli engellerden biri olarak kabul edilmektedir.

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanında yaygınlaşması, beraberinde önemli etik tartışmaları da gündeme getirmiştir (Güven, 2024). Veri gizliliği, hasta mahremiyeti, algoritmik önyargı, hesap verebilirlik ve şeffaflık gibi konular, sağlıkta yapay zekâ uygulamalarının temel etik boyutlarını oluşturmaktadır (Khan vd., 2022). Bu bağlamda, etik farkındalık düzeyi yüksek olmayan sağlık profesyonellerinin, yapay zekâ destekli sistemleri yanlış yorumlama veya hatalı karar süreçlerine dahil etme riski bulunmaktadır (Ceylan, 2025). Ayrıca, yapay zekâ sistemlerinin insan merkezli sağlık hizmeti anlayışı ile uyumlu şekilde geliştirilmesi gerektiği vurgulanmakta; aksi durumda sağlık hizmetlerinde mekanikleşme ve insani değerlerin zayıflaması gibi risklerin ortaya çıkabileceği ifade edilmektedir.

Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık meslekleri üzerindeki etkisi yalnızca mevcut uygulamalarla sınırlı kalmayıp, geleceğe yönelik mesleki rollerin yeniden tanımlanmasını da beraberinde getirmektedir (Wiljer ve Hakim, 2019). Yapay zekâ destekli sistemlerin yaygınlaşması, bazı rutin görevlerin otomatikleşmesine yol açarken; sağlık profesyonellerinin daha çok analitik düşünme, etik karar verme ve hasta iletişimi gibi alanlara yönelmesini gerektirmektedir. Bu durum, sağlık eğitim programlarının da yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmakta; özellikle yapay zekâ okuryazarlığı ve etik farkındalık bileşenlerinin müfredatlara entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Yılmaz vd., 2021)

Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ okuryazarlığı, etik farkındalık ve gelecek perspektifi bir bütün olarak ele alınması gereken kritik bir alanı temsil etmektedir. Bu bağlamda, sağlık profesyonellerinin yalnızca teknolojiyi kullanan bireyler değil; aynı zamanda bu teknolojilerin etik, toplumsal ve mesleki etkilerini değerlendirebilen bilinçli aktörler olarak yetiştirilmesi gerekmektedir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekânın Temel Kavramsal Çerçevesi

Yapay zekâ (YZ), insan zekâsını taklit edebilen ve öğrenme, akıl yürütme, problem çözme ve karar verme gibi bilişsel süreçleri gerçekleştirebilen algoritma ve sistemlerin bütünüdür (Tatlı ve Akçöltekin, 2025). Özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi alt alanlar, büyük veri setlerinden anlamlı örüntüler çıkarabilme kapasitesi sayesinde sağlık hizmetlerinde önemli bir dönüşümün

temelini oluşturmaktadır (Khosravi vd., 2024). Sağlık sektöründe yaşanan teknolojik gelişmeler ile dijitalleşme hızlanmış, elektronik sağlık kayıtları, tıbbi görüntüleme sistemleri ve biyomedikal verilerin artması, yapay zekâ uygulamalarının gelişimini ve yaygınlaşmasına destek olmuştur.

Sağlık hizmetlerinde yapay zekânın kavramsal çerçevesi incelendiğinde, bu teknolojinin yalnızca teknik bir araç değil; aynı zamanda klinik karar verme süreçlerini dönüştüren bir paradigma olduğu görülmektedir (Önder, 2025). Yapay zekâ sistemleri, çok boyutlu ve karmaşık veri yapılarını analiz ederek sağlık profesyonellerine destek sunmakta; böylece tanı ve tedavi süreçlerinde daha hızlı ve doğru kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır (Fahim vd., 2025).

Bu bağlamda, sağlık hizmetlerinde yapay zekânın en yaygın kullanım alanlarından biri klinik karar destek sistemleridir (Bulut, 2025). Bu sistemler, hasta verilerini analiz ederek sağlık profesyonellerine tanı, tedavi ve bakım süreçlerinde öneriler sunmaktadır. CDSS yapıları genellikle belirli kurallar veya makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla çalışmakta ve klinik süreçlere entegre şekilde kullanılmaktadır (Alnattah vd., 2025).

Yapay zekânın sağlık alanındaki kullanım alanları yalnızca karar destek sistemleri ile sınırlı değildir (Kesgin, 2025). Literatürde, yapay zekânın sağlık hizmetlerinde beş temel alanda yoğunlaştığı ifade edilmektedir: tanısal görüntüleme, klinik karar destek sistemleri, cerrahi uygulamalar, patoloji ve ilaç geliştirme süreçleri (Ogut vd., 2025). Özellikle tıbbi görüntüleme alanında yapay zekâ algoritmaları, radyolojik verileri analiz ederek hastalıkların erken teşhisinde yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmektedir. Bunun yanı sıra, yapay zekâ sistemleri hasta verilerini analiz ederek risk değerlendirmesi yapmakta, tedavi sonuçlarını öngörmekte ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Borat ve Chowdhury, 2026).

Yapay zekâ uygulamalarının bir diğer önemli boyutu, sağlık hizmetlerinde veriye dayalı karar verme kültürünü güçlendirmesidir (Yılmaz ve Uslu, 2025). Büyük veri analitiği ile entegre çalışan yapay zekâ sistemleri, farklı veri kaynaklarını bir araya getirerek daha kapsamlı analizler yapılmasına olanak tanımaktadır (Al Zo'ubi, 2025).

Yapay zekânın sağlık hizmetlerine entegrasyonu yalnızca teknolojik bir dönüşüm olarak değerlendirilmemelidir. Bu süreç aynı zamanda klinik uygulamaların yeniden yapılandırılmasını, sağlık profesyonellerinin rollerinin değişmesini ve insan-makine etkileşiminin yeniden tanımlanmasını gerektirmektedir (Alami vd., 2020). Yapay zekâ sistemleri, sağlık profesyonellerinin yerine geçmekten ziyade, onların karar verme süreçlerini destekleyen araçlar olarak konumlandırılmaktadır (Tun vd., 2025). Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde yapay zekânın temel kavramsal çerçevesi; veri temelli karar verme, klinik süreçlerin dijitalleşmesi ve insan-makine iş birliği ekseninde şekillenmektedir.

2.2. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Okuryazarlığı

Dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, sağlık profesyonellerinin yalnızca klinik bilgi ve becerilerle değil, aynı zamanda teknolojik yetkinliklerle de donatılmasını zorunlu kılmaktadır (Atılğan, 2025). Bu bağlamda öne çıkan kavramlardan biri olan yapay zekâ okuryazarlığı, bireylerin yapay zekâ sistemlerini anlama, değerlendirme, eleştirel biçimde sorgulama ve etkin bir şekilde kullanabilme kapasitesini ifade etmektedir (Long ve Magerko, 2020).

Yapay zekâ okuryazarlığı, çok boyutlu bir yapı olarak ele alınmakta ve genellikle üç temel bileşen üzerinden açıklanmaktadır: kavramsal anlama, uygulama ve kullanım becerisi ve eleştirel değerlendirme yetkinliği (Ng vd., 2021). Kavramsal anlama, bireyin yapay zekânın temel çalışma prensiplerini, algoritmik yapısını ve sınırlılıklarını kavrayabilmesini ifade ederken; uygulama becerisi, bu sistemlerin mesleki bağlamda etkin şekilde kullanılabilmesini içermektedir. Eleştirel değerlendirme ise yapay zekâ çıktılarının güvenilirliğini sorgulama, veri kaynaklarını değerlendirme ve olası yanlışlıkları fark edebilme yetisini kapsamaktadır. Sağlık profesyonelleri açısından bu üç boyutun birlikte geliştirilmesi, yapay zekâ sistemlerinin güvenli ve etkin kullanımının temel koşulu olarak değerlendirilmektedir (Göranzon ve Josefson, 2012).

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ okuryazarlığının önemi, özellikle klinik karar verme süreçlerinde belirgin hale gelmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler, sağlık profesyonellerine tanı ve tedavi süreçlerinde öneriler sunmakta; ancak bu önerilerin doğrudan kabul edilmesi yerine, klinik bağlam içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir (Giordano vd., 2021). Bu noktada, sağlık profesyonelinin yapay zekâ sistemlerinin nasıl çalıştığını anlaması ve bu sistemlerin sınırlılıklarının farkında olması büyük önem taşımaktadır (Topol, 2019). Aksi durumda, otomasyon yanlılığı olarak adlandırılan durum ortaya çıkabilmekte ve bireyler yapay zekâ çıktılarının doğruluğunu sorgulamadan kabul edebilmektedir. Bu durum, özellikle hasta güvenliği açısından önemli riskler barındırmaktadır.

Yapay zekâ okuryazarlığı, aynı zamanda etik farkındalık ile doğrudan ilişkili bir kavramdır. Yapay zekâ sistemlerinin kullandığı verilerin niteliği, algoritmaların tasarımı ve çıktılarının yorumlanması gibi süreçler, etik açıdan çeşitli sorunları beraberinde getirebilmektedir (Dağışan, 2025). Bu nedenle, yapay zekâ okuryazarlığına sahip bir sağlık profesyonelinin, yalnızca teknik bilgiye değil; aynı zamanda etik değerlendirme becerisine de sahip olması gerekmektedir (Floridi vd., 2018). Özellikle hasta mahremiyeti, veri güvenliği ve algoritmik önyargı gibi konular, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımının etik boyutunu şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ okuryazarlığı; teknolojik bilgi, eleştirenle dűřünme ve etik farkındalığın kesişiminde yer alan kritik bir yetkinlik alanıdır. Yapay zekâ uygulamalarının sağlık hizmetlerine entegrasyonunun başarılı olabilmesi, bu alanda görev yapan profesyonellerin söz konusu teknolojileri doğru anlama, etkin kullanma ve eleştirenle biçimde değerlendirme becerilerine sahip olmalarına bağlıdır (Sönmez, 2026).

2.3. Yapay Zekâ ve Etik Farkındalık

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamalarının giderek yaygınlaşması, yalnızca teknolojik bir dönüşümü değil; aynı zamanda etik boyutu güçlü olan çok katmanlı bir süreci de beraberinde getirmektedir (El Arab vd., 2025). Sağlık hizmetleri, doğası gereği insan yaşamı, mahremiyet ve güven gibi temel değerlerle doğrudan ilişkili olduğundan, yapay zekâ sistemlerinin bu alanda kullanımı etik açıdan dikkatle değerlendirilmesi gereken bir konudur (Obasa, 02023). Bu bağlamda, etik farkındalık, sağlık profesyonellerinin yapay zekâ uygulamalarının doğurabileceği etik sorunları tanıma, analiz etme ve bu sorunlara karşı bilinçli kararlar alabilme yetisini ifade etmektedir (Floridi vd., 2018).

Geleneksel tıp etiği, büyük ölçüde yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet ilkeleri üzerine temellenmektedir (Beauchamp ve Childress, 1994). Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, bu klasik etik ilkelerin yeniden yorumlanmasını gerekli kılmaktadır. Örneğin, yapay zekâ destekli bir klinik karar destek sisteminin önerdiği tedavi planının uygulanması durumunda, ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçlardan kimin sorumlu olacağı konusu, etik ve hukuki açıdan önemli bir tartışma alanı oluşturmaktadır (Schönberger, 2019). Bu durum, özellikle hesap verebilirlik ilkesinin yapay zekâ bağlamında yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Mittelstadt vd., 2016).

Yapay zekâ uygulamalarının sağlık hizmetlerinde doğurduğu en önemli etik sorunlardan biri veri gizliliği ve hasta mahremiyetidir (Asıl, 2025). Yapay zekâ sistemleri, yüksek doğruluk oranlarıyla çalışabilmek için büyük miktarda veriye ihtiyaç duymakta ve bu veriler çoğu zaman hassas sağlık bilgilerini içermektedir. Bu durum, hasta verilerinin korunması ve yetkisiz erişimlere karşı güvenliğinin sağlanması gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır (Price ve Cohen, 2019).

Bir diğer önemli etik sorun ise algoritmik önyargı olarak karşımıza çıkmaktadır (Temur, 2025). Yapay zekâ sistemleri, eğitildikleri veri setlerinin özelliklerini yansıttıkları için, veri setlerinde bulunan sistematik hatalar veya temsil eksiklikleri, algoritmaların taraflı sonuçlar üretmesine neden olabilmektedir (Obermeyer vd., 2019). Sağlık hizmetlerinde bu durum, belirli hasta gruplarının yanlış değerlendirilmesi veya dezavantajlı konuma düşmesi gibi ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin, belirli etnik gruplara ait verilerin yeterince temsil

edilmemesi, bu gruplar için geliştirilen tanı ve tedavi önerilerinin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması süreçlerinde adalet ilkesinin gözetilmesi büyük önem taşımaktadır (Chin vd., 2023).

Yapay zekâ uygulamalarında öne çıkan bir diğer etik tartışma alanı ise şeffaflık ve açıklanabilirlik konusudur (Karaman, 2026). Özellikle derin öğrenme temelli sistemler, çoğu zaman “kara kutu” olarak nitelendirilmekte ve bu sistemlerin nasıl karar verdiği tam olarak anlaşılammamaktadır (Samek vd., 2017). Sağlık hizmetlerinde kullanılan bir sistemin karar mekanizmasının açıklanamaması, hem sağlık profesyonellerinin hem de hastaların bu sistemlere duyduğu güveni zedeleyebilmektedir. Bu bağlamda, açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımları, etik açıdan önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Kelley vd., 2015).

Etik farkındalık, yalnızca potansiyel sorunların bilinmesini değil; aynı zamanda bu sorunlara karşı sorumlu ve bilinçli bir yaklaşım geliştirilmesini de kapsamaktadır (Montgomery ve Walker, 2012). Sağlık profesyonellerinin yapay zekâ destekli sistemleri kullanırken eleştirel bir bakış açısına sahip olması, bu sistemlerin sunduğu önerileri klinik bağlam içerisinde değerlendirmesi ve gerektiğinde bu önerileri sorgulaması gerekmektedir. Bu durum, yapay zekâ okuryazarlığı ile etik farkındalık arasındaki güçlü ilişkiyi de ortaya koymaktadır (Topol, 2019).

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu sürecinde kurumsal ve yönetsel düzeyde etik çerçevelerin oluşturulması da büyük önem taşımaktadır (El Arab vd., 2025). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), yapay zekânın sağlık alanında etik kullanımına yönelik olarak insan merkezlilik, şeffaflık, kapsayıcılık ve hesap verebilirlik gibi temel ilkeleri önermektedir (WHO, 2023). Bu ilkeler doğrultusunda geliştirilen politikalar ve rehberler, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımının etik sınırlar içerisinde kalmasını sağlamaya yönelik önemli bir yol gösterici niteliği taşımaktadır. Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımı, etik farkındalığın vazgeçilmez bir bileşen haline gelmesine neden olmuştur.

2.4. Sağlık Mesleklerinde Dönüşüm ve Gelecek Perspektifi

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, yalnızca klinik süreçlerde değil; aynı zamanda sağlık mesleklerinin yapısında, rol tanımlarında ve yetkinlik gereksinimlerinde köklü değişimlere yol açmaktadır (Olawade vd., 2024). Dijitalleşme ile birlikte sağlık hizmetleri daha veri odaklı, hızlı ve sistematik bir yapıya dönüşürken, bu dönüşüm sağlık profesyonellerinin mesleki rollerinin yeniden tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli sistemlerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, bir yandan iş süreçlerinde verimliliği artırırken; diğer yandan insan gücünün niteliğine ilişkin beklentileri de değiştirmektedir (Topol, 2019).

Sağlık mesleklerinde yaşanan dönüşümün en belirgin boyutlarından biri, rutin ve tekrarlayan görevlerin otomasyonudur (Suazo Galdames ve Chaple Gil, 2025). Yapay zekâ sistemleri, veri analizi, görüntü yorumlama ve bazı idari süreçlerde insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltarak, sağlık profesyonellerinin zamanlarını daha karmaşık ve insani yönü güçlü görevlere ayırmalarına olanak tanımaktadır (Frey ve Osborne, 2017). Özellikle radyoloji, patoloji ve laboratuvar hizmetleri gibi veri yoğun alanlarda yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, bu mesleklerin iş yapış biçimlerini önemli ölçüde dönüştürmektedir (Önder, 2025). Ancak bu dönüşüm, mesleklerin tamamen ortadan kalkmasından ziyade, yeniden yapılandırılması ve yeni becerilerle zenginleştirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

Bu süreçte öne çıkan temel kavramlardan biri insan ve yapay zekâ iş birliği dir. Yapay zekâ sistemleri, sağlık profesyonellerinin yerine geçen araçlar olarak değil; onların karar verme süreçlerini destekleyen yardımcı sistemler olarak konumlandırılmaktadır (Hartikainen vd., 2024). Bu yaklaşım, sağlık hizmetlerinde insan faktörünün önemini korurken, teknolojinin sunduğu avantajlardan da en üst düzeyde yararlanılmasını mümkün kılmaktadır (Jiang vd., 2017). Özellikle klinik karar destek sistemleri aracılığıyla sunulan öneriler, sağlık profesyonellerinin deneyimi ve klinik sezgisi ile birleştiğinde daha etkili sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, geleceğin sağlık hizmetlerinde “teknoloji destekli insan merkezli bakım” anlayışının ön plana çıkacağını göstermektedir (Bright vd.,2012).

Gelecek perspektifi açısından değerlendirildiğinde, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde daha geniş bir kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir. Özellikle kişiselleştirilmiş tıp, uzaktan sağlık hizmetleri (tele sağlık) ve büyük veri analitiği gibi alanlarda yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması beklenmektedir (Davenport & Kalakota, 2019). Bu gelişmeler, sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir, etkin ve hasta odaklı hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin kontrolsüz ve etik ilkelere uygun olmayan şekilde kullanılması, sağlık sistemleri açısından çeşitli riskleri de beraberinde getirebilir. Bu nedenle, gelecekte yapay zekâ uygulamalarının düzenlenmesi, denetlenmesi ve etik çerçevede yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

3. Sonuç

Sonuç olarak, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ okuryazarlığı, etik farkındalık ve gelecek perspektifi birbirinden bağımsız değil; aksine karşılıklı etkileşim içinde gelişen ve sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik öneme sahip bütüncül bir yapı oluşturmaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık alanındaki hızlı yayılımı, yalnızca teknik uyum süreçlerini değil, aynı zamanda sağlık profesyonellerinin bilişsel, etik ve mesleki yetkinliklerinin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, sağlık çalışanlarının yapay

zekâyı yalnızca bir araç olarak kullanmaları değil; aynı zamanda bu sistemlerin sınırlarını, potansiyel risklerini ve etik sonuçlarını eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirebilen bilinçli aktörler olarak yetiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, eğitim programlarının yapay zekâ okuryazarlığı ve etik bileşenler doğrultusunda güncellenmesi, kurumsal düzeyde etik rehberlerin oluşturulması ve insan merkezli sağlık hizmeti anlayışının korunması, bu dönüşüm sürecinin sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi için temel gereklilikler arasında yer almaktadır. Nihayetinde, yapay zekâ destekli sağlık hizmetlerinin başarısı; teknoloji ile insan faktörü arasında dengeli, şeffaf ve etik temellere dayanan bir iş birliğinin kurulmasına bağlıdır.

Kaynakça

- Al Zo'ubi, M. (2025). Review of 2024 publications on the applications of artificial intelligence in rheumatology. *Clinical rheumatology*, 44(4), 1427-1438.
- Alami, H., Lehoux, P., Auclair, Y., de Guise, M., Gagnon, M. P., Shaw, J., ... ve Fortin, J. P. (2020). Artificial intelligence and health technology assessment: anticipating a new level of complexity. *Journal of medical Internet research*, 22(7), e17707.
- Alnattah, A., Jajroudi, M., Fadafen, S. A. N., Manzari, M. N., Eslami, S., Fadafen, S. A. N., ve Manzari, M. N. (2025). Artificial intelligence in clinical decision-making: a scoping review of rule-based systems and their applications in medicine. *Cureus*, 17(8).
- Asıl, S. (2025). Yapay Zekâ Etiği: Temel İlkeler, Sorunlar Ve Disiplinlerarası Yaklaşımlar. *İnönü Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi (İnif E-Dergi)*, 10(1), 152-175.
- Atılğan, E. (2025). *Sağlık Ekonomisi Perspektifinde Dijital Dönüşüm*. Efe Akademi Yayınları.
- Beauchamp, T. L., ve Childress, J. F. (1994). *Principles of biomedical ethics*. Edicoes Loyola.
- Borat, S., ve Chowdhury, S. (2026). Artificial Intelligence-Driven Clinical Decision Support Systems for Precision Oncology: A Comprehensive Review. *In Silico Research in Biomedicine*, 100265.
- Bulut, C. (2025). Sağlık Kurumlarında Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı. *Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 11(1), 27-37.
- Ceylan, A. (2025). Yapay Zekânın Sağlık İletişiminde Kullanımı: Fırsatlar, Tehditler ve Öneriler. *Journal of Medical Topics and Updates*, 4(2), 54-61.
- Chin, M. H., Afsar-Manesh, N., Bierman, A. S., Chang, C., Colón-Rodríguez, C. J., Dullabh, P., ... Ohno-Machado, L. (2023). Guiding principles to address the impact of algorithm bias on racial and ethnic disparities in health and health care. *JAMA Network Open*, 6(12), e2345050.
- Çavmak, Ş., ve Çavmak, D. (2017). Türkiye'de Sağlık Hizmetlerinin Tarihsel Gelişimi Ve Sağlıkta Dönüşüm Programı. *Sağlık Yönetimi Dergisi*, 1(1), 48-57.
- Dağışan, A. (2025). Dijital Okuryazarlık İle Yapay Zekâ Okuryazarlığı Arasındaki İlişkide Bilgi Ve İletişim Teknolojilerine Yönelik Tutumun Aracı Rolü. *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim (Teke) Dergisi*, 14(1), 238-251.

- Davenport, T., ve Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future healthcare journal*, 6(2), 94-98.
- Demir, G. (2025). Yapay zekâ okuryazarlığı: Kütüphaneler için yeni bir paradigma. *Bilgi Dünyası*, 26(1), 183-222.
- El Arab, R. A., Al Moosa, O. A., ve Sagbakken, M. (2025). Economic, ethical, and regulatory dimensions of artificial intelligence in healthcare: an integrative review. *Frontiers in Public Health*, 13, 1617138.
- Esmailzadeh, P., Mirzaei, T., ve Dharanikota, S. (2021). Patients' perceptions toward human-artificial intelligence interaction in health care: experimental study. *Journal of medical Internet research*, 23(11), e25856.
- Fahim, Y. A., Hasani, I. W., Kabba, S., ve Ragab, W. M. (2025). Artificial intelligence in healthcare and medicine: clinical applications, therapeutic advances, and future perspectives. *European Journal of Medical Research*, 30(1), 848.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... ve Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Frey, C. B., ve Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. *Technological forecasting and social change*, 114, 254-280.
- Giordano, C., Brennan, M., Mohamed, B., Rashidi, P., Modave, F., ve Tighe, P. (2021). Accessing artificial intelligence for clinical decision-making. *Frontiers in digital health*, 3, 645232.
- Göranzon, B., ve Josefson, I. (Eds.). (2012). *Knowledge, skill and artificial intelligence*. Springer Science & Business Media.
- Güven, A. (2024). Yapay zekâ uygulamalarının kamu yönetimindeki rolü ve önemi. *Enderun*, 8(2), 127-151.
- Hartikainen, M., Spurava, G., ve Väänänen, K. (2024). Human-AI collaboration in smart manufacturing: key concepts and framework for design. In *International Conference on Hybrid Human-Artificial Intelligence* (pp. 162-172). IOS Press BV.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4).
- Karaman, M. (2026). Etik, İnsan Hakları ve Yapay Zekâ. *Yapay Zekâ Çağında Sosyal Hizmet: Uygulama ve Gelecek*, 67.
- Kelley, M., James, C., Alessi Kraft, S., Korngiebel, D., Wijangco, I., Rosenthal, E., Lee, S. S. J. (2015). Patient perspectives on the learning health system:

- the importance of trust and shared decision making. *The american journal of bioethics*, 15(9), 4-17.
- Kesgin, K. (2025). Yapay Zekâ Tabanlı Karar Destek Sistemlerinde Teknik, Etik ve Yönetişimsel Yaklaşımlar: Çok Sektörlü Bir Derleme Çalışması. *International Journal of Management Information Systems and Computer Science*, 9(1), 29-48.
- Khan, A. A., Badshah, S., Liang, P., Waseem, M., Khan, B., Ahmad, A., ... ve Akbar, M. A. (2022, June). Ethics of AI: A systematic literature review of principles and challenges. In *Proceedings of the 26th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (pp. 383-392).
- Khosravi, M., Zare, Z., Mojtabaeian, S. M., ve Izadi, R. (2024). Artificial intelligence and decision-making in healthcare: a thematic analysis of a systematic review of reviews. *Health services research and managerial epidemiology*, 11, 23333928241234863.
- Long, D., ve Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-16).
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., ve Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big data & society*, 3(2), 2053951716679679.
- Montgomery, D., ve Walker, M. (2012). Enhancing ethical awareness. *Gifted child today*, 35(2), 95-101.
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., ve Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100041.
- Obasa, A. E. (2023). The ethics of artificial intelligence in healthcare settings. *Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa*.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., ve Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.
- Ogut, E. (2025). Artificial intelligence in clinical medicine: challenges across diagnostic imaging, clinical decision support, surgery, pathology, and drug discovery. *Clinics and practice*, 15(9), 169.
- Olawade, D. B., David-Olawade, A. C., Wada, O. Z., Asaolu, A. J., Adereni, T., Ling, J. (2024). Artificial intelligence in healthcare delivery: Prospects and pitfalls. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 3, 100108.
- Orhan, M., ve Bülez, A. (2024). Sağlık personellerinin yapay zekâ ile ilgili düşüncelerinin değerlendirilmesi. *Kesit Akademi*, 8(33), 52-69.

- Önder, O. (2025). Klinik Karar Destek Sistemleri Bağlamında Tıpta Yapay Zeka Kullanımında Etik Sorun Alanları. *Doktora Tezi*.
- Özdemir, L., ve Bilgin, A. (2021). Sağlıkta yapay zekânın kullanımı ve etik sorunlar. *Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi*, 8(3), 439-445.
- Price, W. N., ve Cohen, I. G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature medicine*, 25(1), 37-43.
- Samek, W., Wiegand, T., ve Müller, K. R. (2017). Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models. *arXiv preprint arXiv:1708.08296*.
- Schönberger, D. (2019). Artificial intelligence in healthcare: a critical analysis of the legal and ethical implications. *International Journal of Law and Information Technology*, 27(2), 171-203.
- Seçer, M. B. (2024). Sağlık alanında öğrenim gören üniversite öğrencilerinin sağlıkta yapay zekâ uygulamaları ve ChatGPT farkındalığı, yapay zekâ kullanımına yönelik görüşleri ve teknostres düzeylerinin incelenmesi: kesitsel bir çalışma. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, 9(4), 856-866.
- Sönmez, K. (Ed.). (2026). *21. Yüzyılda Sağlık Yönetimi Dijitalleşme, Politika ve Stratejik Yönetim*. Livre de Lyon.
- Suazo Galdames, I. C., & Chaple Gil, A. M. (2025, April). The Impact of Artificial Intelligence on Healthcare Professions: Automation and Job Displacement Risks. In *International Conference in Information Systems and Medicine* (pp. 267-301). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Tatlı, S., ve Akçöltekin, A. (Eds.). (2025). *Öğrencilerin Eleştirel Düşünme Becerileri Üzerinde Yapay Zekâ Kullanımının Etkileri*. Livre de Lyon.
- Temur, S. (2025). Eğitimde yapay zekâ kullanımı: Etik sorunlar ve çözümler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (74), 568-595.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Tun, H. M., Rahman, H. A., Naing, L., ve Malik, O. A. (2025). Trust in artificial intelligence-based clinical decision support systems among health care workers: systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e69678.
- Wiljer, D., ve Hakim, Z. (2019). Developing an artificial intelligence-enabled health care practice: rewiring health care professions for better care. *Journal of medical imaging and radiation sciences*, 50(4), S8-S14.
- World Health Organization. (2023). *Regulatory considerations on artificial intelligence for health*. World Health Organization.

- Yılmaz, E., ve Uslu, Y. (2025). Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zeka Entegrasyonu: Sosyoteknik Faktörlerin Swara Ve Ahp Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. *Journal Of The Cukurova University Institute Of Social Sciences*, 34.
- Yılmaz, Y., Yılmaz, D. U., Yıldırım, D., Korhan, E. A., ve Kaya, D. Ö. (2021). Yapay zekâ ve sağlıkta yapay zekânın kullanımına yönelik sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinin görüşleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 12(3), 297-308.

8. Bölüm

Acil Sağlık Hizmetlerinde Dijital Sistemler, Risk Yönetimi ve Etik İlkeler

Hayriye ÇAKMAK*

1. Giriş

Sağlık çalışanları, bireylerin sağlık hizmetlerinden etkili bir şekilde yararlanabilmeleri için kritik bir role sahiptirler (Korkmaz ve Dereceli, 2025). Acil sağlık hizmetleri ise, zamanla yarışılan, yüksek riskli faktörler barındıran ve en kritik kararların saniyeler içerisinde alınmış olduğu dinamik bir sağlık hizmet alanıdır. Son yıllarda sağlık sistemlerinde yaşanan dijital dönüşüm, acil sağlık hizmetlerinin yapısını ve işleyişini köklü şekilde değiştirmiştir. Özellikle de yapay zekâ, büyük veri analitiği, mobil sağlık uygulamaları ve nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojilerin yaygın hale gelmesi, hasta bakım süreçlerinin hızlanarak, karar destek mekanizmalarının güçlenmesine ve hizmet kalitesinin artış göstermesine katkı sunmaktadır (Jiang vd., 2017). Bununla beraber, bu teknolojik gelişmeler sadece fırsatlar sunmakla kalmaz, aynı zamanda yeni risk alanlarını ve etik tartışmaları da beraberinde getirmektedir.

Dijital sistemlerin acil sağlık hizmetlerine entegrasyonu ile hasta verilerinin gerçek zamanlı izlenerek, olay yerinden hastaneye kadar bilgi aktarımının hızlanarak klinik karar verme süreçlerinin desteklenmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Elektronik sağlık kayıtları ve karar destek sistemleri, sağlık profesyonellerine daha hızlı ve daha doğru karar alma olanakları sağlayarak klinik performansın artırılmasına katkıda bulunmaktadır (Buntin vd., 2011; Kruse vd., 2017). Bununla birlikte, bu sistemlerin kullanımı; veri güvenliği, sistem hataları, algoritmik önyargı ve siber tehditler gibi çok boyutlu riskleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle sağlık alanında kullanılan dijital teknolojilerin karmaşık yapısı, risk yönetimini daha stratejik ve bütüncül bir yaklaşımla ele almayı zorunlu kılmaktadır (Guidance, 2021).

Risk yönetimi, acil sağlık hizmetlerinde hasta güvenliğinin sağlanması ile hizmet sürekliliğinin korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Dijital sistemlerin kullanımının artış göstermesiyle beraber, risklerin sadece klinik hatalarla sınırlı olmadığı; aynı zamanda bilgi güvenliği ihlalleri, sistem kesintileri ve teknolojik bağımlılık gibi unsurları da içerdiği görülmektedir (Carayon vd.,

* ORCID:0009-0009-3079-3957

2018). Bu sebeple, risk yönetimi süreçlerinin dijital sağlık bağlamında yeniden ele alınması ve sistematik yaklaşımlarla desteklenmesi gerekmektedir.

Öte yandan, dijitalleşmenin beraberinde getirmiş olduğu etik sorunlar da acil sağlık hizmetlerinde giderek daha fazla önem arz etmektedir. Hasta mahremiyeti, veri gizliliği, algoritmik kararların şeffaflığı ve sağlık hizmetlerinde eşitlik gibi konular, dijital sağlık uygulamalarının etik boyutunu oluşturmaktadır (Floridi vd., 2018). Özellikle yapay zekâ temelli sistemlerin karar süreçlerine dâhil olması, sorumluluk, hesap verebilirlik ve adalet ilkeleri açısından yeni tartışmaları gündeme getirmektedir (Karaman, 2026).

Sonuç olarak, acil sağlık hizmetlerinde dijital sistemlerin kullanımı; hizmet kalitesini artırma potansiyeli taşıırken, beraberinde önemli riskler ve etik sorumluluklar da getirmektedir. Bu nedenle, dijital dönüşüm sürecinin etkin bir risk yönetimi yaklaşımı ve güçlü etik ilkelerle desteklenmesi, sürdürülebilir ve güvenli sağlık hizmeti sunumu açısından büyük önem taşımaktadır (Sarıyıldız, 2025).

2. Genel Bilgiler

2.1. Acil Sağlık Hizmetlerinde Dijital Sistemler

Acil sağlık hizmetlerinde dijital sistemler, sağlık hizmetlerinin hızını, doğruluğunu ve koordinasyonunu artırmayı hedefleyen teknolojik altyapılar olarak tanımlanırken (Atobatele vd., 2019) bu sistemler; elektronik sağlık kayıtları, mobil sağlık uygulamaları, karar destek sistemleri, tele tıp uygulamaları ile gerçek zamanlı veri izleme teknolojilerini içine almaktadır. Özellikle de acil sağlık hizmetleri gibi zamanın kritik olduğu zamanlarda, dijital sistemlerin etkin bir şekilde kullanımı hasta bakım kalitesine doğrudan etki etmektedir (Albahri vd., 2018).

Elektronik sağlık kayıt sistemleri, dijital sağlık sistemlerinin en temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Yorulmaz ve Meral, 2025). EHR sistemleri, hastaya ait klinik ve idari verilerin dijital ortamda saklanması, paylaşılmasını ve analiz edilmesini mümkün kılmaktadır (Finnegan ve Mountford, 2025). Bu sistemler sayesinde sağlık profesyonelleri hastaya ait güncel bilgilere hızlı bir biçimde erişebilmekte, bu da özellikle acil durumlarda doğru ve aynı zamanda hızlı karar alınmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca EHR sistemlerinin, klinik iş akışlarını iyileştirerek hasta güvenliğini artırdığı ve bakım kalitesini yükselttiği çeşitli çalışmalarla da ortaya konmuştur (Uslu ve Stausberg, 2021; Torab-Miandoab vd., 2025).

Acil sağlık hizmetlerinde dijital sistemlerin bir diğer önemli boyutu ise, karar destek mekanizmalarıdır (Bulut, 2025). Klinik karar destek sistemleri, sağlık

profesyonellerine tanı ve tedavi süreçlerinde rehberlik ederek hata oranlarını azaltmakta ve klinik kararların doğruluk düzeyinin artmasını sağlamaktadır (Castaneda vd., 2015). Bu sistemler, büyük veri analitiği ve yapay zekâ temelli algoritmalarla desteklenerek, hastaya özgü öneriler sunabilmekte ve aynı zamanda özellikle acil durumlarda hızlı karar alma ihtiyacı göz önüne alındığında, bu tür sistemlerin sağlık hizmetlerinin etkinliğine önemli katkılar sağladığı da görülmektedir (Beeler vd., 2014).

Acil sağlık hizmetlerinde kullanılan mobil teknolojiler ve gerçek zamanlı veri aktarım sistemleri, olay yerinden hastaneye bilgi akışını hızlandırarak bakım sürecinin sürekliliğini sağlamaktadır (Hajbakri, 2024). Ambulans bilgi sistemleri, hasta verilerinin hastane ekiplerine önceden iletilmesine olanak tanımakta ve böylece müdahale sürecinin daha planlı ve etkili bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunmaktadır. Bu tür sistemler, özellikle kritik vakalarda zaman kaybını azaltarak hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeline sahiptir (Gündemir, 2025).

Dijital sistemlerin sağlamış olduğu avantajlara rağmen, bu teknolojilerin kullanımı bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Veri güvenliği, sistem entegrasyonu, yüksek maliyetler ve kullanıcı adaptasyonu gibi sorunlar, dijital sistemlerin etkin kullanımını etkileyen temel faktörler arasında bulunmaktadır (Sandhe vd., 2025; Negro-Calduch vd., 2021). Ayrıca, sistem hataları ya da veri girişindeki eksiklikler, özellikle acil sağlık hizmetlerinde ciddi sonuçlara sebep olabilmektedir.

2.2. Dijital Sistemlerin Sağladığı Fırsatlar ve Karşılaşılan Riskler

Dijital sistemlerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, özellikle acil sağlık hizmetlerinde önemli fırsatlar sunmakta ve hizmet sunumunun niteliğinde değişimler yaratmaktadır (Çevik, 2025). Bu sistemler sayesinde hasta verilerine hızlı erişilmekte, klinik karar alma süreçleri desteklenerek sağlık hizmetlerinin koordinasyonu güçlenmektedir. Elektronik sağlık kayıtları, karar destek sistemleri ve mobil sağlık teknolojileri, sağlık çalışanlarına zaman kazandırmakta müdahale süreçlerinin hızlanmasını sağlayarak hasta güvenliğini artırmaktadır (Buntin vd., 2011; Kruse vd., 2017). Özellikle acil durumlarda doğru bilgiye anında erişim sağlamak, hayati öneme sahip kararların daha isabetli bir biçimde alınmasını sağlamaktadır.

Dijital sistemlerin yaygınlaşmış olması çeşitli riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu risklerin başında veri güvenliği ve hasta mahremiyeti ile ilgili sorunlar gelmektedir (Özbeş, 2022). Sağlık verilerinin dijital ortamlarda saklanarak paylaşılması, siber saldırılara ve veri ihlallerine karşı kırılganlık yaratmaktadır. Özellikle hassas sağlık verilerine yetkisiz ve ehli olmayan kişilerin erişmesi, bireysel ve kurumsal düzeyde ciddi sonuçlara sebep olabilmektedir

(Kruse vd., 2017). Bu nedenle, sağlık sistemlerinde güçlü bilgi güvenliği politikalarının oluşturulması ve uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Diğer bir önemli risk ise, sistem hataları ile teknolojik bağımlılıktır. Dijital sistemlerde meydana gelebilecek teknik arızalar, yazılım hataları ya da veri girişindeki eksiklikler, özellikle de acil sağlık hizmetlerinde ciddi klinik hatalara sebep olabilmektedir. Sağlık çalışanlarının teknolojik sistemlere aşırı bağımlı hale gelmesi de kritik düşünme becerilerinin zayıflamasına sebep olabilmektedir (Carayon vd., 2018). Aynı zamanda dijital sağlık teknolojilerinde algoritmik önyargı ve eşitsizlik riski de dikkat çeken bir diğer sorun olarak görülmektedir (Atılgan, 2025). Yapay zekâ temelli sistemlerin eğitildiği veri setlerindeki dengesizlikler, belirli hasta grupları için hatalı veya eksik sonuçlar üretilmesine neden olabilmektedir (Obermeyer vd., 2019). Bu durum, sağlık hizmetlerinde adalet ve eşitlik ilkelerinin zedelenmesine yol açabilmektedir. Dolayısıyla, dijital sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde etik ve bilimsel standartların gözetilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, dijital sistemler acil sağlık hizmetlerinde hız, doğruluk ve verimlilik açısından önemli fırsatları sunarken; veri güvenliği, sistem güvenilirliği, teknolojik bağımlılık ve etik sorunlar gibi farklı riskleri de beraberinde getirmektedir.

2.3. Acil Sağlık Hizmetlerinde Risk Yönetimi

Günümüzde, sağlık hizmetlerinin içerisinde acil sağlık hizmetlerinin yeri ile önemi giderek artış göstermektedir (Paksoy, 2016). Acil sağlık hizmetlerinde risk yönetimi, hasta güvenliğinin sağlanması, hizmet kalitesinin artırılması ve sistem sürekliliğinin korunması açısından kritik bir öneme sahiptir (Güneş, 2025). Risk yönetimi; potansiyel tehlikelerin önceden belirlenmesi, analiz edilmesi, kontrol altına alınması ve sürekli izlenmesini kapsayan sistematik bir süreç olarak tanımlanmaktadır (WHO, 2019).

Acil sağlık hizmetlerinde riskler çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Klinik hatalar, iletişim kopuklukları, ekipman problemleri ve çevresel faktörler, en sık karşılaşılan risk unsurları içinde yer almaktadır (Cosby, 2003). Bunun yanı sıra, dijital sistemlerin yaygın hale gelmesi ile beraber siber güvenlik tehditleri, veri kaybı ve sistem kesintileri gibi yeni risk çeşitleri de ortaya çıkmıştır. Bu durum, risk yönetiminin sadece klinik süreçlerle sınırlı kalmayıp, teknolojik ve organizasyonel boyutları da kapsayacak şekilde genişletilmesini zorunlu kılmaktadır (Carayon vd., 2018).

Risk yönetimi süreci genellikle risklerin tanımlanması, analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi aşamalarından meydana gelmektedir. Bu süreçte, sağlık kuruluşlarının riskleri sistematik olarak raporlaması ve analiz etmesi büyük öneme sahiptir (Pascarella vd., 2021). Özellikle olay bildirim

sistemleri, hataların görünür hale getirilmesine ve benzer olayların tekrarının önlenmesine katkı sunmaktadır (Reason, 2000).

Acil sağlık hizmetlerinde risk yönetiminin etkinliği, büyük ölçüde insan faktörüne bağlıdır. Sağlık profesyonellerinin eğitim düzeyleri, deneyimleri, iletişim becerileri ve ekip çalışmasına yatkınlıkları, risklerin ortaya çıkma olasılığına doğrudan etki etmektedir (Hsiao vd., 2018). İnsan faktörüne dayalı hataların önlenmesi amacı ile standart protokollerin geliştirilmesi, simülasyon temelli eğitimlerin yaygın hale getirilmesi ve ekip içi iletişimin güçlendirilmesi önerilmektedir (Gaba, 2000). Bu bağlamda, risk yönetimi sadece teknik önlemlerle değil, aynı zamanda davranışsal ve örgütsel yaklaşımlarla da desteklenmelidir.

Dijital sistemlerin kullanılması, risk yönetimi süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri izleme sistemleri, erken uyarı mekanizmaları ve klinik karar destek araçları, potansiyel risklerin daha erken tespit edilmesine imkân sağlamaktadır (Luo vd., 2025). Bununla beraber dijital sistemlerin kendisinin de bir risk kaynağı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem hataları, yanlış veri girişleri veya algoritmik hatalar, özellikle acil durumlarda ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, dijital sistemlerin güvenilirliği, düzenli denetimler ve kullanıcı eğitimleri ile desteklenmelidir (Guidance, 2021).

Risk yönetiminde proaktif yaklaşımların benimsenmesi, acil sağlık hizmetlerinde güvenliğin artırılmasında önemli bir stratejidir. Olası risklerin ortaya çıkmadan önce belirlenmesi ve önleyici tedbirlerin alınması, reaktif yaklaşımlara kıyasla daha etkili sonuçlar sağlamaktadır. Bu kapsamda, kök neden analizi ve hata türü ve etkileri analizi gibi yöntemler, sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Alshammari vd., 2025; Modes, 2022).

2.4. Dijital Sağlık Uygulamalarında Etik İlkeler

Günümüzde dijital sağlık uygulamalarının hızlı bir biçimde yaygınlaşması, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli kolaylıklar sağlarken, beraberinde de yeni etik sorumlulukları da gündeme getirmektedir (Abernethy vd., 2022). Özellikle acil sağlık hizmetleri gibi zaman baskısının yüksek olduğu ortamlarda, dijital teknolojilerin kullanılması etik ilkelerin daha dikkatli bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, hasta haklarının korunması, veri güvenliğinin sağlanması ve sağlık hizmetlerinde adaletin gözetilmesi, dijital sağlık uygulamalarının temel etik bileşenleri arasında bulunmaktadır (WHO, 2019).

Dijital sağlık uygulamalarında en temel etik ilkelerden biri, hasta mahremiyeti ile veri gizliliğinin sağlanmasıdır. Elektronik sağlık kayıtları, mobil sağlık uygulamaları ve yapay zekâ sistemleri aracılığı ile toplanan sağlık verileri son derece hassas bilgiler barındırmaktadır (Atalay, 2021). Bu verilerin yetkisiz

erişime karşı korunması ve sadece belirli amaçlar doğrultusunda kullanılması etik bir zorunluluktur. Veri gizliliğinin ihlal edilmesi, bireylerin kişisel ve sosyal yaşamlarında ciddi problemler doğurabilmektedir. Bu sebeple, sağlık verilerinin işlenmesinde güvenlik protokollerinin uygulanması ve yasal düzenlemelere uyulması büyük öneme sahiptir (Kruse vd., 2017).

Diğer bir önemli ilke bilgilendirilmiş onamdır. Dijital sağlık uygulamalarında bireylerin verilerinin ne şekilde toplandığı, işlendiği ve kullanıldığı konusunda açık ve anlaşılır bir şekilde bilgilendirilmesi gereklidir (Ceylan, 2025). Özellikle yapay zekâ temelli sistemlerin kullanıldığı durumlarda, bireylerin bu sistemlerin işleyişi hakkında yeterli donanıma sahip olmamaları etik sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, kullanıcıların bilinçli karar verebilmeleri için şeffaflık ilkesinin gözetilmesi gerekmektedir (Floridi vd., 2018).

Adalet ve eşitlik ilkeleri de dijital sağlık uygulamalarının etik boyutunda önemli bir yere sahiptir. Dijital teknolojilere erişimde yaşanan eşitsizlikler, sağlık hizmetlerine erişimde de farklılıklara neden olabilmektedir. Özellikle de kırsal bölgelerde yaşayan kişiler ya da dijital okuryazarlığı düşük olan gruplar, bu teknolojilerden yeterince yararlanamayabilmektedirler. Ayrıca, yapay zekâ sistemlerinin eğitildiği veri setlerindeki dengesizliklerde, belirli gruplara karşı sistematik hatalara sebep olabilmektedir. Bu durum, sağlık hizmetlerinde eşitlik ilkesinin zedelenmesine sebep olabilmektedir (Obermeyer vd., 2019; Nickel vd., 2023).

Dijital sağlık uygulamalarında bir diğer önemli etik konu, hesap verebilirlik ve sorumluluktur (Kınış vd., 2026). Özellikle yapay zekâ temelli sistemlerin karar süreçlerine dâhil olması, ortaya çıkabilecek hatalarda sorumluluğun kimde olduğu sorusunu gündeme taşımaktadır. Sağlık profesyonelleri, yazılım geliştiriciler ve kurumlar arasında sorumluluğun nasıl paylaşılacağı, etik ve hukuki açıdan net bir şekilde ön plana çıkarılmalıdır. Bu bağlamda, dijital sistemlerin sadece teknik açıdan değil, aynı zamanda etik ve hukuki çerçevede de değerlendirilmesi önemlidir (Wilhelm vd., 2025; Tun vd., 2025).

Şeffaflık ilkesi de dijital sağlık uygulamalarının güvenilirliğini artıran önemli bir unsurlar arasında yer almaktadır. Yapay zekâ ve algoritma temelli sistemlerin karar mekanizmalarının anlaşılabilir olması, sağlık profesyonellerinin ve hastaların bu sistemlere duyduğu güvenin artmasına katkı sağlamaktadır. “Kara kutu” olarak nitelendirilen, nasıl çalıştığı anlaşılmayan sistemler, etik açıdan önemli sorunlar yaratabilmektedir. Bu nedenle, dijital sağlık teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde açıklanabilirlik ve denetlenebilirlik ilkelerinin gözetilmesi gerekmektedir (Adjekum vd., 2018; Yorulmaz ve Meral, 2025).

3. Sonuç

Acil sağlık hizmetlerinde dijital sistemlerin yaygın hale geliyor olması, hizmet sunumu anlamında hız, doğruluk ve koordinasyon açısından önemli kazanımlar doğurmuş; bununla beraber risk yönetimi ve etik ilkelerin öneminin daha görünür hale gelmesini sağlamıştır. Bu teknolojilerin etkin, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için güçlü bir risk yönetimi anlayışı ve sağlam bir etik çerçeve ile desteklenmesi gerektiği önemlidir. Özellikle hasta güvenliği, veri gizliliği ve hizmet eşitliği gibi temel unsurların korunması, dijital dönüşüm sürecinin başarısını belirleyen kritik faktörler içinde bulunmaktadır.

Bu sebeple, acil sağlık hizmetlerinde dijitalleşmenin insan merkezli bir yaklaşımla ele alınmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Teknolojik gelişmeler ne kadar ileri düzeyde olursa olsun, sağlık hizmetlerinin temelinde insan hayatı ve etik sorumluluklar bulunmaktadır. Sonuç olarak, dijital sistemlerin kullanımında sadece teknik yeterlilik değil; aynı zamanda etik farkındalık, mesleki sorumluluk bilinci ve sürekli eğitim de ön planda tutulmalıdır. Ancak bu şekilde, dijitalleşmenin sunduğu olanaklardan en üst düzeyde yararlanılırken, olası risklerin en aza indirildiği güvenli ve sürdürülebilir bir acil sağlık hizmeti yapısı meydana getirilebilir.

Kaynakça

- Abernethy, A., Adams, L., Barrett, M., Bechtel, C., Brennan, P., Butte, A., ... Valdes, K. (2022). The promise of digital health: then, now, and the future. *NAM perspectives*, 2022, 10-31478.
- Adjekum, A., Blasimme, A., ve Vayena, E. (2018). Elements of trust in digital health systems: scoping review. *Journal of medical Internet research*, 20(12), e11254.
- Albahri, O. S., Albahri, A. S., Mohammed, K. I., Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Hashim, M., Salman, O. H. (2018). Systematic review of real-time remote health monitoring system in triage and priority-based sensor technology: Taxonomy, open challenges, motivation and recommendations. *Journal of medical systems*, 42(5), 80.
- Alshammari, O. M. Z., Alshammari, M. S. M., Alharbi, B. K. S., Alanazi, A. H. M., Almutairi, M. M. H., Alanazi, M. A. K., ... Aldhafeeri, B. M. A. (2025). Assessing Occupational Safety Risks And Prevention Strategies Among Ambulance Personnel In The Saudi Red Crescent Authority In Light Of The Objectives Of Vision 2030. *The Review of Diabetic Studies*, 358-371.
- Atalay, H. N. (2021). Mahremiyet Kapsamında Kişisel Sağlık Verilerinin Korunması Ve Depolanması. *Journal Of Academic Perspective On Social Studies*, (1), 1-20.
- Atılğan, E. (2025). *Sağlık Ekonomisi Perspektifinde Dijital Dönüşüm*. Efe Akademi Yayınları.
- Atobatele, O. K., Hungbo, A. Q., ve Adeyemi, C. H. R. I. S. T. I. A. N. A. (2019). Digital health technologies and real-time surveillance systems: transforming public health emergency preparedness through data-driven decision making. *IRE Journals*, 3(9), 417-21.
- Beeler, P. E., Bates, D. W., ve Hug, B. L. (2014). Clinical decision support systems. *Swiss medical weekly*, 144(5152), w14073-w14073.
- Bulut, C. (2025). Sağlık Kurumlarında Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı. *Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 11(1), 27-37.
- Buntin, M. B., Burke, M. F., Hoaglin, M. C., ve Blumenthal, D. (2011). The benefits of health information technology: a review of the recent literature shows predominantly positive results. *Health affairs*, 30(3), 464-471.
- Carayon, P., Wooldridge, A., Hose, B. Z., Salwei, M., ve Benneyan, J. (2018). Challenges and opportunities for improving patient safety through human factors and systems engineering. *Health Affairs*, 37(11), 1862-1869.
- Castaneda, C., Nalley, K., Mannion, C., Bhattacharyya, P., Blake, P., Pecora, A., ... Suh, K. S. (2015). Clinical decision support systems for improving

- diagnostic accuracy and achieving precision medicine. *Journal of clinical bioinformatics*, 5(1), 4.
- Cosby, K. S. (2003). A framework for classifying factors that contribute to error in the emergency department. *Annals of emergency medicine*, 42(6), 815-823.
- Çevik, B. (2025). *Tele sağlık uygulamalarının hekim ve hasta iletişimi üzerine etkisi* (Master's thesis, Üsküdar University (Turkey)).
- Finnegan, H., ve Mountford, N. (2025). 25 years of electronic health record implementation processes: scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e60077.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Gaba, D. M. (2000). Structural and organizational issues in patient safety: a comparison of health care to other high-hazard industries. *California Management Review*, 43(1), 83-102.
- Guidance, W. H. O. (2021). Ethics and governance of artificial intelligence for health. *World Health Organization*, 1-165.
- Gündemir, E. (2025). *Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetlerinde Yalın Yönetim: Ordu İli Örneği* (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Güneş, H. (2025). Sağlık Hizmetlerinde Risk Analizi: Temel Kavramlar, Yöntemler Ve Örnek Uygulamalar Üzerine Bir Derleme. *Sdü Sağlık Yönetimi Dergisi*, 7(2), 190-210.
- Hajbakri, M. (2024). Sağlık Hizmetlerinde Dijital Devrim Olan “Teletıp ve e-Sağlık” Sistemlerinin Biyomedikal Uygulamalar İçin Geliştirilmesi.
- Hsiao, H., Chang, J., ve Simeonov, P. (2018). Preventing emergency vehicle crashes: status and challenges of human factors issues. *Human factors*, 60(7), 1048-1072.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4).
- Karaman, M. (2026). Etik, İnsan Hakları ve Yapay Zekâ. Yapay Zekâ Çağında Sosyal Hizmet: Uygulama ve Gelecek, 67.
- Kınış, Z., Denizli, F., ve Boztosun, D. (2026). *Dijital Sağlık Teknolojilerinin Sürdürülebilir Sağlık Sistemlerine Katkısı: Türkiye Odaklı Bir İnceleme*. Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences, (Advanced Online Publication), 1575-1596.

- Korkmaz, A.K., ve Dereceli, E. (2025). Sağlık çalışanlarının bedensel hareketlilik ve ruhsal iyi oluş üzerindeki dinamik etkileşimi: İş yerinde sağlıklı yaşamın psikososyal dönüşümü. *Ulusal Spor Bilimleri Dergisi*, 9(2), 74-96
- Kruse, C. S., Mileski, M., Vijaykumar, A. G., Viswanathan, S. V., Suskandla, U., & Chidambaram, Y. (2017). Impact of electronic health records on long-term care facilities: systematic review. *JMIR medical informatics*, 5(3), e35.
- Kruse, C. S., Smith, B., Vanderlinden, H., ve Nealand, A. (2017). Security techniques for the electronic health records. *Journal of medical systems*, 41(8), 127.
- Luo, L., Song, Y., Liu, Y., & Jiang, X. (2025). The research on intelligent safety risk assessment and early warning mechanisms for power systems based on big data and artificial intelligence technology. *Advances in Resources Research*, 5(2), 666-688.
- Modes, F. (2022). Effects Analysis (FMEA) Tool. Institute for Healthcare Improvement.
- Negro-Calduch, E., Azzopardi-Muscat, N., Krishnamurthy, R. S., ve Novillo-Ortiz, D. (2021). Technological progress in electronic health record system optimization: Systematic review of systematic literature reviews. *International journal of medical informatics*, 152, 104507.
- Nickel, P. J., Loosman, I., Frank, L., ve Vinnikova, A. (2023). Justice and empowerment through digital health: Ethical challenges and opportunities. *Digital Society*, 2(3), 42.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., ve Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.
- Özbey, İ. B. (2022). Dijitalleşme, sosyal medya ve risk toplumu. *İmgelem*, 6(10), 141-158.
- Paksoy, V. M. (2016). Acil Sağlık Hizmetlerinde Uluslararası Uygulama Modellerinin Karşılaştırması: Anglo-Amerikan ve Franko-Alman Modeli. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 4(1), 6-24.
- Pascarella, G., Rossi, M., Montella, E., Capasso, A., De Feo, G., Botti, G., ... & Morabito, A. (2021). Risk analysis in healthcare organizations: methodological framework and critical variables. *Risk management and healthcare policy*, 2897-2911.
- Reason, J. (2000). Human error: models and management. *Bmj*, 320(7237), 768-770.

- Sandhe, D. S. K., Krisnana, I., & Pradanie, R. (2025). Innovations for Successful Electronic Medical Records (EMR) Implementation in Hospitals: Inovasi untuk Keberhasilan Implementasi Rekam Medis Elektronik (EMR) di Rumah Sakit. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(2), 10-21070.
- Sarıyıldız, A. Y. (2025). Sağlıkta Dijital Dönüşüm Ve. Sağlık Hukuku Temel Kavramlar, Uygulamalar, *Güncel Trendler Ve Gelecek Perspektifi*, 135.
- Torab-Miandoab, A., Samad-Soltani, T., Jodati, A., Akbarzadeh, F., ve Rezaei-Hachesu, P. (2025). The impact of electronic medical records on clinical documentation: A case study. *Journal of education and health promotion*, 14(1), 246.
- Tun, H. M., Rahman, H. A., Naing, L., ve Malik, O. A. (2025). Trust in artificial intelligence–based clinical decision support systems among health care workers: systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e69678.
- Uslu, A., ve Stausberg, J. (2021). Value of the electronic medical record for hospital care: update from the literature. *Journal of medical Internet research*, 23(12), e26323.
- Wilhelm, C., Steckelberg, A., ve Rebitschek, F. G. (2025). Benefits and harms associated with the use of AI-related algorithmic decision-making systems by healthcare professionals: a systematic review. *The Lancet Regional Health–Europe*, 48.
- World Health Organization. (2019). Patient safety: Global action on patient safety. Geneva: WHO.
- Yorulmaz, M., ve Meral, K. K. (2025). Sağlık Kurumlarında Kalite Yönetimi ve Teknoloji Entegrasyonu. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment*, 9(2), 117-130.

9. Bölüm

Çevre Sağlığında Yapay Zekâ Uygulamaları: İzleme, Risk Değerlendirme ve Etik Yaklaşımlar

Hayriye Nurcan SÖBÜTAY*

1. Giriş

Çevre sağlığı, insan sağlığını etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik çevresel faktörlerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınmasını kapsayan çok disiplinli bir alandır (Yassi, 2001). Küresel ölçekte artış gösteren çevre kirliliği, iklim değişikliği, hızlı kentleşme ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaşması, çevresel risklerin daha karmaşık ve dinamik hale gelmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, geleneksel izleme ve değerlendirme metodları çoğu zaman yetersiz kalarak; daha hızlı, doğru ve öngörülebilir sistemlere ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Bu ihtiyaç, son dönemlerde yapay zekâ teknolojilerinin çevre sağlığı alanında kullanımını önemli ölçüde artırmıştır (WHO, 2023; Saxena, 2025).

Yapay zekâ; büyük veri setlerini analiz edebilme, örüntüleri tanımlayabilme ve geleceğe yönelik tahminlerde bulunabilme kapasitesi sayesinde çevre sağlığı uygulamalarında dönüştürücü bir role sahiptir. Özellikle hava kalitesi izleme, su kirliliği analizi, atık yönetimi ile bulaşıcı hastalıkların çevresel belirleyicilerinin incelenmesi gibi alanlarda YZ tabanlı sistemler yaygın şekilde kullanılmaktadır (Alotaibi ve Nassif, 2024). Örneğin, makine öğrenmesi algoritmaları, hava kirlleticilerin zamansal ve mekânsal dağılımını yüksek doğrulukla tahmin edebilmekte ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Pan vd., 2020). Benzer şekilde, uydu verileri ve sensör ağlarından elde edilen büyük veri kümeleri, YZ destekli analizlerle işlenerek çevresel risklerin daha hızlı tespit edilmesine imkân tanımaktadır (Alotaibi ve Nassif, 2024).

Çevre sağlığında YZ uygulamalarının önemli bir diğer katkısı ise, risk değerlendirme süreçlerinin güçlendirilmesidir. Geleneksel risk değerlendirme yaklaşımları çoğunlukla statik verilere dayanırken, YZ sistemleri dinamik veri akışlarını entegre ederek daha kapsamlı ve gerçek zamanlı analizler sağlayabilmektedir. Bu durum, özellikle afetler, salgınlar ve çevresel krizler gibi hızlı müdahale gerektiren durumlarda karar vericilere önemli avantajlar sağlamaktadır (Zhu vd., 2023; Bari vd., 2023). Bununla beraber, YZ uygulamalarının doğruluğu büyük ölçüde veri kalitesi ile algoritmik şeffaflığa

* ORCID:0000-0001-8604-3308

bağlıdır; bu da beraberinde birçok etik ve yönetim sorunlarını gündeme getirmektedir.

Günümüzde YZ'nin çevre sağlığında kullanımına ilişkin etik tartışmalar, veri gizliliği, algoritmik önyargı, hesap verebilirlik ve adalet gibi konular etrafında yoğunlaşmaktadır. Özellikle hassas çevresel ve sağlık verilerinin kullanımı, bireysel mahremiyetin korunması açısından kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, YZ sistemlerinin karar alma süreçlerinde şeffaf olmaması, elde edilen sonuçların güvenilirliğini ve kabul edilebilirliğini ciddi bir şekilde sorgulatmaktadır (Floridi vd., 2018; Akinrinola vd., 2024). Bu nedenle, çevre sağlığı alanında YZ uygulamalarının geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde etik ilkelerin ve uluslararası standartların gözetilmesi önem arz etmektedir. Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojileri çevre sağlığı alanında izleme, risk değerlendirme ve karar destek süreçlerini daha verimli ve daha etkin hale getirme potansiyeline sahiptir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Çevre Sağlığında Yapay Zekâ Uygulamalarına Genel Bakış

Çevre sağlığı kavramı, insan sağlığını etkileyen çevresel faktörlerin belirlenmesi, izlenmesi ve yönetilmesine odaklanan dinamik bir bilim alanı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde çevresel sorunların kapsamı ile karmaşıklık düzeyi arttıkça, bu sorunların çözümünde kullanılan yöntemlerin de daha gelişmiş ve bütüncül olması gerekliliği doğmuştur. Bu noktada yapay zekâ, büyük veri analizi, örüntü tanıma ve öngörü geliştirme kapasitesi sayesinde çevre sağlığı alanında önemli bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çeşitli kaynaklardan elde edilen karmaşık veri setlerini hızlı ve etkin bir biçimde analiz edebilme yeteneği, YZ'nin geleneksel yöntemlere kıyasla daha güçlü bir araç haline gelmesine katkıda bulunmuştur (Panteli vd., 2024; Olawade, 2024; Chibueze Izah, 2025).

Tüm dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler birçok disiplin tarafından yakından takip edilmektedir (Aydın, 2024). Özellikle yapay zekâ uygulamaları çevre sağlığı bağlamında en çok izleme ve değerlendirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay zekâ (YZ), çevre ve toprak bilimlerinde izleme, analiz ve karar verme süreçleri için yeni çözümler sunan, giderek daha fazla kabul gören yenilikçi bir araç olarak görülmektedir (Yu vd., 2025) . Bu durum, özellikle çevresel maruziyetlerin insan sağlığı üstündeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Yapay zekânın çevre sağlığı alanındaki kullanım alanları sadece veri analizi ile sınırlı kalmamaktadır. YZ sistemleri, çevresel risklerin modellenmesinde, kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılmasında daha ileri düzey uygulamalarda da aktif rol oynamaktadır. Örneğin,

hava kirliliğine bağılı sağılık risklerinin değerlendirilmesinde kullanılan yapay zekâ modelleri, kirleticilerin dağılımını analiz ederek toplum sağılığı üzerindeki olası etkileri öngörebilmektedir (Patil ve Agrawal, 2026).

Çevre sağılığında yapay zekâ uygulamalarının önemli bir diğer boyutuda, çok kaynaklı veri entegrasyonunu mümkün kılıyor olmasıdır. Uydu görüntüleri, epidemiyolojik veriler, meteorolojik ölçümler ve biyolojik göstergeler gibi farklı veri çeşitleri, Yapay zekanın sayesinde entegre edilerek daha kapsamlı analizler yapılabilmektedir. Bu durum, özellikle çevresel faktörlerin sağılık üstündeki çok boyutlu etkilerinin değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır (Guo vd., 2025) . Aynı zamanda Yapay zekâ, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağılayarak doğal afetler, salgınlar ve çevresel krizler gibi durumlarda hızlı müdahale imkânları sunmaktadır (Sarker ve Jahan, 2025).

Yapay zekâ uygulamalarının çevre sağılığı alanında yaygınlaşmasının bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Bu sistemlerin etkinliği büyük ölçüde veri kalitesine ve erişilebilirliğine bağılıdır. Eksik ya da hatalı veriler, Yapay zekâ modellerinin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Veri gizliliği, algoritmik önyargı ve sistemlerin şeffaflığı gibi konular, çevre sağılığında Yapay zekâ kullanımına ilişkin önemli etik tartışmaları gündeme getirmektedir (Olawade vd., 2024; Kumar, 2024). Bu sebeple, yapay zekâ teknolojilerinin çevre sağılığı alanında etkin ve güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için teknik gelişmelerin yanı sıra etik ve yönetsel çerçevelerin de güçlendirilmesi gerekmektedir.

2.2. Çevresel İzleme Süreçlerinde Yapay Zekâ Kullanımı

Çevresel izleme, hava, su, toprak ve ekosistem bileşenlerine ilişkin verilerin sistematik olarak toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanmasını kapsayan temel bir süreçtir (Wiersma, 2004). Geleneksel izleme yaklaşımları genel olarak sınırlı sayıda ölçüm noktası ve periyodik veri toplama yöntemlerine dayanırken, günümüzde artan veri hacmi ve teknolojik gelişmeler bu süreçlerin daha dinamik ve bütüncül bir yapıya dönüşmesine sebep olmuştur. Bu dönüşümde yapay zekâ (YZ), büyük ve heterojen veri setlerini işleyebilme kapasitesi sayesinde çevresel izleme sistemlerinin etkinliğini önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır (WHO, 2024).

YZ'nin çevresel izleme süreçlerinde kullanımı, öncelikle veri toplama altyapılarının çeşitlenmesi ile mümkün hale gelmiştir (Alotaibi ve Nassif, 2024). Nesnelerin interneti (IoT) tabanlı sensör ağları, uzaktan algılama sistemleri ile uydu teknolojileri aracılığı ile çevresel parametrelere ilişkin yüksek hacimli veriler sürekli olarak üretilmektedir. Bu verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmesi ise makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları sayesinde meydana

gelmektedir. Örneğin, hava kalitesi izleme çalışmalarında YZ modelleri, partikül madde ve gaz kirleticilerin zamansal ve mekânsal dağılımını analiz ederek kısa ve uzun vadeli tahminler sağlayabilmektedir (Pan vd., 2020).

Benzer biçimde, su kalitesi izleme süreçlerinde de yapay zekâ tabanlı sistemler giderek yaygın hale gelmektedir. Nehirler, göller ve içme suyu kaynaklarından elde edilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik veriler, yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilerek kirleticilerin tespiti ve sınıflandırılması sağlanmaktadır. Makine öğrenmesi modelleri, su kalitesindeki değişimleri öngörebilmekte ve olası kirlilik olaylarına karşı erken uyarı mekanizmalarının geliştirilmesine katkı sunmaktadır (Murillo vd., 2020).

Uzaktan algılama ve uydu verilerinin yapay zeka ile entegrasyonu, çevresel izleme süreçlerine yeni bir boyut kazandırmıştır (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023). Uydu görüntülerinden elde edilen büyük ölçekli veriler, arazi kullanımı değişimleri, ormansızlaşma, su kütlelerindeki değişim ve iklimle ilişkili çevresel etkilerin analizinde kullanılmaktadır. Derin öğrenme teknikleri, bu görüntüler üzerinde yüksek doğrulukla sınıflandırma ve nesne tanıma işlemleri gerçekleştirerek çevresel değişimlerin hızlı bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu tür uygulamalar, özellikle geniş coğrafi alanların izlenmesi gereken durumlarda geleneksel yöntemlere kıyasla önemli üstünlükler sunmaktadır (Alotaibi ve Nassif, 2024; Tariq vd., 2025).

Çevresel izleme süreçlerinde yapay zekânın sağlamış olduğu katkılardan birisi de, gerçek zamanlı veri analizi ve karar destek mekanizmalarının geliştirilmesidir. Sürekli veri akışı sağlayan sensör sistemleri ile entegre çalışan yapay zeka algoritmaları, anlık değişimleri tespit ederek ilgili kurumlara hızlı müdahale olanağı sağlamaktadır. Örneğin, ani hava kirliliğindeki artışlar, su kaynaklarında toksik madde sızıntıları ya da endüstriyel kazalar gibi durumlar, yapay zekâ destekli sistemlerin sayesinde erken aşamada tespit edilebilmektedir (Islam, 2025; Singh ve Singh, 2026).

Yapay zekâ sistemlerinin başarısı büyük ölçüde veri kalitesine ve veri erişimine bağlıdır. Eksik, hatalı veya dengesiz veri setleri, model performansını olumsuz etkileyebilmekte ve yanlış sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, farklı veri kaynaklarının entegrasyonu sırasında teknik uyumsuzluklar ortaya çıkabilmekte ve bu durum analiz süreçlerini zorlaştırabilmektedir. Bunun yanı sıra, yüksek maliyetli altyapı gereksinimleri ve teknik uzmanlık ihtiyacı da YZ uygulamalarının yaygınlaştırılmasında önemli engeller arasında yer almaktadır (Martín vd., 2023; Floridi vd., 2018). Sonuç olarak, yapay zekâ çevresel izleme süreçlerini daha hızlı, kapsamlı ve öngörülebilir bir duruma getirerek çevre sağlığı alanında önemli bir dönüşüm sağlamaktadır.

2.3. Yapay Zekâ Destekli Çevresel Risk Değerlendirme

Çevresel risk değerlendirme, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilecek çevresel faktörlerin tanımlanması, bu faktörlere maruziyetin analiz edilmesi ve olası etkilerin sistematik biçimde değerlendirilmesini kapsayan temel bir süreçtir (Briggs, 2008). Geleneksel risk değerlendirme yaklaşımları genellikle sınırlı veri setlerine ve statik modellere dayanmakta olup; bu durum, özellikle hızlı değişen çevresel koşullar karşısında analizlerin güncelliğini ve doğruluğunu sınırlayabilmektedir. Bu bağlamda yapay zekâ, büyük veri setlerini işleyebilme, karmaşık ilişkileri ortaya çıkarabilme ve öngörü geliştirebilme kapasitesi sayesinde çevresel risk değerlendirme süreçlerine yeni bir boyut kazandırmaktadır (Turcinovic, 2025; Pouikli ve Tsakalogianni, 2025).

Yapay zekâ destekli risk değerlendirme yaklaşımları, farklı veri kaynaklarının entegrasyonuna dayanmaktadır (Aladağ, 2024). Meteorolojik veriler, hava ve su kalitesi ölçümleri, uydu görüntüleri, epidemiyolojik kayıtlar ve sosyo demografik göstergeler gibi çok boyutlu veri setleri, makine öğrenmesi algoritmaları aracılığı ile beraber analiz edilebilmektedir. Bu sayede çevresel maruziyetlerin insan sağlığı üstündeki etkileri daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmekte ve riskin mekânsal ile zamansal dağılımı daha yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir (Yang vd., 2020).

3. Sonuç

Bu kitap bölümde ele alınmış olan konular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, yapay zekânın çevre sağlığı alanında sadece teknik bir araç olmanın ötesine geçmiş olduğu ve yapay zekâ uygulamalarının giderek daha belirleyici bir rol üstlenmeye başladığı görülmektedir. Özellikle çevresel izleme ve risk değerlendirme aşamalarında yapay zekânın sağlamış olduğu hız, kapsam ve öngörü kapasitesi, bu teknolojinin gelecekte çevre sağlığı uygulamalarının ayrılmaz bir parçası haline geleceğine işaret etmektedir. Fakat burada asıl dikkat çeken detay ise, teknolojinin sunduğu olanaklardan ziyade, bu olanakların nasıl ve ne ölçüde doğru kullanılmış olduğudur.

Yapay zekâ, doğru veri ve doğru yaklaşım ile kullanıldığında çevresel risklerin erken tespiti, önlenmesi ve yönetilmesinde güçlü bir destek sağlamaktadır. Buna karşılık, veri kalitesine bağımlılığı, sistemlerin şeffaf olmaması ve etik sınırların her zaman net çizilememesi gibi durumlar, bu teknolojinin sorgulanmasını da gerekli kılmaktadır. Geline bu noktada, yapay zekânın sunduğu sonuçlara koşulsuz güvenmek yerine, eleştirel bir bakış açısı ile değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Çünkü çevre sağlığı doğrudan insan yaşamını etkileyen bir alan olup, alınan her kararın toplumsal karşılığı bulunmaktadır.

Çevre sağlığı gibi çok boyutlu bir alanda sadece teknolojik gelişmelere odaklanmak yeterli kalmamaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının etkili olabilmesi, disiplinlerarası bir anlayışın benimsenmesi, uzmanlık alanları arasında iş birliğinin gclendirilmesi ve etik ilkelerin uygulama süreçlerine entegre edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu bağlamda, teknolojik ilerleme ile insan odaklı yaklaşım arasında bir denge kurulması gerektiği söylenebilir.

Sonuç olarak, evre sağlığı alanında yapay zekâ uygulamaları önemli fırsatlar sunmakla beraber, bu fırsatların sürdürülebilir ve güvenilir bir Şekilde değerlendirilebilmesi bilinçli, dengeli ve sorumlu bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Gelecekte bu alanda yapılacak olan çalışmaların, sadece teknolojik kapasiteyi artırmaya değil, aynı zamanda etik, Şeffaf ve insan merkezli sistemler geliştirmeye odaklanacak olması, evre ve insan sağlığının korunması açısından belirleyici olacaktır.

Kaynakça

- Akinrinola, O., Okoye, C. C., Ofodile, O. C., ve Ugochukwu, C. E. (2024). Navigating and reviewing ethical dilemmas in AI development: Strategies for transparency, fairness, and accountability. *GSC Advanced Research and Reviews*, 18(3), 050-058.
- Al Masmoudi, Y., Tallou, A., Ouaisa, M., ve Ouaisa, M. (2025). Applications of Machine Learning and Artificial Intelligence in Soil and Environmental Sciences: Methods, Challenges, and Future Perspectives. In *Climate Resilience: Impact of Quantum Computing and Artificial Intelligence on Urban Planning* (pp. 231-256). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Aladağ, M.T.E. (2024). Kurumsal Yönetişim ve Yapay Zekâ: PotansiYel Fırsatlar Ve Zorluklar. *Denetişim*, (31), 18-32.
- Alotaibi, E., ve Nassif, N. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. *Discover Artificial Intelligence*, 4(1), 84.
- Aydın, M. S. (2024). Kamu hizmetlerinin sunumunda yapay zekâ kullanımı. *Uluslararası Sosyal Siyasal ve Mali Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 171-186.
- Bari, L. F., Ahmed, I., Ahamed, R., Zihan, T. A., Sharmin, S., Pranto, A. H., ve Islam, M. R. (2023). Potential use of artificial intelligence (AI) in disaster risk and emergency health management: A critical appraisal on environmental health. *Environmental health insights*, 17, 11786302231217808.
- Chibueze Izah, S. (2025). Smart technologies in environmental monitoring: Enhancing real-time data for health management. In *Innovative Approaches in Environmental Health Management: Processes, Technologies, and Strategies for a Sustainable Future* (pp. 199-224). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Çakmakçı, M. F., ve Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan algılama, yapay zekâ ve geleceğin akıllı tarım teknolojisi trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
- Floridi, L., Cowsls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... ve Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Guo, Z., Huang, L., Yan, J., Zhang, H., Jia, X., Li, M., ve Li, H. (2025). Artificial intelligence technology in environmental research and health: Development and prospects. *Environment international*, 109788.

- Islam, F. S. (2025). The role of artificial intelligence in environmental monitoring for sustainable development and future perspectives. *Journal of Global Ecology and Environment*, 21(2), 164-179.
- Karaoğlu, A. (2024). Yapay Zekâ İle Çevre Koruma: Orman Yangınları, Sel Ve Afet. Sürdürülebilir Gelecek İçin Çevre, Enerji Ve Yapay Zekâ Küresel Çözümler Ve Stratejiler, 125.
- Kumar, A. (2024). United nations environment programme (UNEP). *Yearbook of International Environmental Law*, 35(1), yvaf054.
- Martín, L., Sánchez, L., Lanza, J., ve Sotres, P. (2023). Development and evaluation of Artificial Intelligence techniques for IoT data quality assessment and curation. *Internet of Things*, 22, 100779.
- Murillo, F. J., Kenchington, E., Koen-Alonso, M., Guijarro, J., Kenchington, T. J., Sacau, M., ... Rapp, H. T. (2020). Mapping benthic ecological diversity and interactions with bottom-contact fishing on the Flemish Cap (northwest Atlantic). *Ecological Indicators*, 112, 106135.
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., Ige, A. O., Egbewole, B. I., Olojo, A., ve Oladapo, B. I. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 12, 100114.
- Pan, H., Huo, W., Wang, M., Zhang, J., Meng, L., Kumar, K. R., ve Devi, N. L. (2020). Insight into the climatology of different sand-dust aerosol types over the Taklimakan Desert based on the observations from radiosonde and A-train satellites. *Atmospheric Environment*, 238, 117705.
- Panteli, D., Buttigieg, S., Adib, K., Ladewig, K., Azzopardi-Muscat, N., ve McKee, M. (2024). Artificial intelligence in public health: lessons from the EPH Conference. *Eurohealth*, 30(3), 13-18.
- Patil, P., ve Agrawal, P. (2026). AI Assessment of Health Risk Based on Air Pollution: An Epidemiological Review. *Environmental Sciences Europe*.
- Pouikli, K., ve Tsakalogianni, I. (2025). AI as an Environmental Challenge: Mapping Safeguards in EU Environmental and Climate Law to Address the ‘Silence’ in the EU AI Act. *European Energy and Environmental Law Review*, 34(2).
- Sarker, S., ve Jahan, F. (2025). AI-driven MIS applications in environmental risk monitoring: a systematic review of predictive geographic information systems. *ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship*, 1(01), 81-97.
- Saxena, V. (2025). Water quality, air pollution, and climate change: investigating the environmental impacts of industrialization and urbanization. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(2), 73.

- Singh, M., ve Singh, S. (2026). Role of artificial intelligence for environment protection: An analysis.
- Tariq, S., Zafar, R., Ali, A., Haider, T., Muzzamil, M., ve ur Rehman, M. S. (2025). Advanced Satellite Based Environmental Monitoring Systems: AI-Assisted Integrated Analysis of Land, Water, and Atmospheric Dynamics. *Global Research Journal of Natural Science and Technology*.
- Turcinovic, T. (2025). Environmental Considerations in the EU's Artificial Intelligence Act: An Analysis of the AI Act's Approach to Regulating the Negative Environmental Impact of AI.
- Wiersma, G. B. (Ed.). (2004). Environmental monitoring. *CRC press*.
- World Health Organization. (2023). *Regulatory considerations on artificial intelligence for health*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: large multi-modal models. WHO guidance*. World Health Organization.
- Yang, W., Park, J., Cho, M., Lee, C., Lee, J., ve Lee, C. (2020). Environmental health surveillance system for a population using advanced exposure assessment. *Toxics*, 8(3), 74.
- Yassi, A. (2001). Basic environmental health. *Oxford University Press*.
- Zhu, L., Chattopadhyay, S., Elijah Akanbi, O., Lobo, S., Panthi, S., Malayil, L., ... ve Sapkota, A. R. (2023). Biochar and zero-valent iron sand filtration simultaneously removes contaminants of emerging concern and *Escherichia coli* from wastewater effluent. *Biochar*, 5(1), 41.

10. Bölüm

Histoloji Eğitiminde Dijitalleşme Süreci ve Yapay Zekâ Entegrasyonu

Şengül ŞENTÜRK*

1. Giriş

Histoloji, hücrelerin, dokuların ve organların mikroskopik düzeydeki yapısal organizasyonunu inceleyen temel bir tıp bilimidir. Sağlık bilimleri eğitiminde histoloji; anatomi, fizyoloji ve patoloji arasında köprü kurarak normal yapının anlaşılmasını ve patolojik değişimlerin yorumlanmasını mümkün kılar. Bu bağlamda histoloji atlasları ve temel başvuru kitapları, normal doku mimarisinin standart ve sistematik biçimde öğrenilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Özellikle klasik histoloji atlasları, mikroskopik yapıların morfolojik özelliklerini görsel ve kavramsal düzeyde bütünleştirerek öğrenmeyi desteklemektedir (Sobotta, 2022). Bu nedenle histoloji eğitimi yalnızca teorik bilgi aktarımıyla sınırlı olmayıp, mikroskopik yapıların doğrudan gözlemlendiği laboratuvar uygulamalarıyla desteklenmek zorundadır. Histolojik yapıların doğru tanınması ve yorumlanması, özellikle sağlık hizmetleri alanında eğitim alan öğrenciler için mesleki yeterliliğin temel bileşenlerinden biridir (Bancroft ve Gamble, 2007).

Yapay zekâ (YZ), insan benzeri öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme süreçlerinin bilgisayar sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmesini amaçlayan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Özellikle makine öğrenmesi ve bunun bir alt dalı olan derin öğrenme yaklaşımlarının gelişmesi, büyük ölçekli ve karmaşık veri kümelerinin analizinde önemli ilerlemeler sağlamıştır. Derin öğrenme algoritmaları, başta evrimsel sinir ağları (convolutional neural networks, CNN) olmak üzere çok katmanlı mimarileri sayesinde tıbbi görüntülerdeki karmaşık yapısal örüntüleri otomatik olarak öğrenebilmekte; sınıflandırma, nesne tespiti ve segmentasyon gibi görevlerde yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmektedir (Gurcan vd., 2009; Litjens vd., 2017). Sağlık alanında dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte dijital patoloji, sanal mikroskopi ve tüm slayt görüntülerinin (whole-slide images, WSI) yaygınlaşması, yapay zekâ temelli görüntü analiz yöntemlerinin histoloji ve patoloji alanlarında uygulanabilirliğini artırmıştır (Dee, 2009; Hamilton vd., 2012). Bu teknolojik gelişmeler yalnızca klinik tanı süreçlerini dönüştürmekle kalmamış, aynı zamanda eğitim ortamlarını

* ORCID:0000-0003-4330-0700

da etkilemiş; histoloji laboratuvar eğitiminde dijital ve yapay zekâ destekli öğrenme yaklaşımlarının geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Topol, 2019; Kiran vd., 2023).

Histoloji eğitimi bağlamında yapay zekânın önemi, mikroskopik görüntülerin karmaşık doğasıyla doğrudan ilişkilidir. Histolojik kesitlerde hücresel ve doku düzeyindeki yapıların ayırt edilmesi, deneyim ve tekrar gerektiren bir süreçtir. Geleneksel eğitimde bu süreç büyük ölçüde öğretim elemanının yönlendirmesine ve öğrencinin bireysel gözlem becerisine bağlıdır. Ancak öğrenci sayılarının artması, laboratuvar altyapısının sınırlı olması ve bireysel geri bildirim olanaklarının kısıtlılığı, bu yaklaşımın etkinliğini azaltabilmektedir (Keskin vd., 2015).

Histoloji laboratuvar eğitiminde yapay zekâ destekli sistemler, bu noktada yenilikçi çözümler sunan önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Otomatik doku sınıflandırma, hücresel yapıların etiketlenmesi, öğrenciye anlık geri bildirim sağlanması ve bireyselleştirilmiş öğrenme ortamlarının oluşturulması, yapay zekânın eğitimdeki potansiyel katkıları arasında yer almaktadır. Bu kitap bölümünde; öncelikle histoloji eğitiminde kullanılan mikroskopik sistemler ve dijitalleşme süreci ele alınmakta, ardından dijital ve sanal mikroskopi uygulamaları ile Türkiye ve dünyadaki güncel eğitim yaklaşımları değerlendirilmektedir. Devamında yapay zekânın histolojik görüntü analizi yoluyla eğitim süreçlerine entegrasyonu kuramsal ve uygulamalı boyutlarıyla incelenmekte, son olarak mobil uygulamalar bağlamında bireyselleştirilmiş öğrenme olanakları tartışılarak geleceğe yönelik olası katkılar ortaya konulmaktadır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Histoloji Eğitiminde Kullanılan Mikroskoplar ve Genel Özellikleri

Histoloji eğitiminde en yaygın kullanılan araç ışık mikroskobudur. Işık mikroskopları, görünür ışık kullanarak biyolojik dokuların büyütülmüş görüntülerinin elde edilmesini sağlayan optik sistemler olup; objektif ve oküler mercek kombinasyonları sayesinde genellikle $40\times-1000\times$ aralığında büyütme olanağı sunmaktadır. Çözünürlük, kontrast ve alan derinliği gibi temel optik özellikler, hücre çekirdeği, sitoplazma, hücre sınırları ve doku organizasyonu gibi histolojik yapıların ayırt edilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle hematoksilin-eozin (H&E) başta olmak üzere rutin histolojik boyamalarla hazırlanmış preparatlar, ışık mikroskobu altında hücre ve doku mimarisinin temel özelliklerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Eğitimde ışık mikroskobunun kullanımı, öğrencilerin yalnızca histolojik yapıların tanınmasını değil, aynı zamanda mikroskobun optik bileşenleri, ışık ayarları, odaklama

mekanizmaları ve büyütme sistemleri gibi temel mikroskopi prensiplerini uygulamalı olarak öğrenmelerini sağlamaktadır. Bu süreç, öğrencilerde görsel dikkat, üç boyutlu algı ve morfolojik yorumlama becerilerinin gelişmesine katkıda bulunmakta; histolojik yapıların doğru tanınması ve yorumlanmasına yönelik temel görsel hafızanın oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır (Bancroft ve Gamble, 2007; Ross ve Pawlina, 2014; Can, 2018; Sobotta, 2022;).

Bununla birlikte, klasik ışık mikroskopisi çoğunlukla tek kullanıcıya yönelik olması, preparat sayısının sınırlılığı, laboratuvar ortamına mekânsal bağımlılık ve öğretim elemanı rehberliğinin zorunlu olması gibi nedenlerle, özellikle kalabalık öğrenci gruplarında bazı pedagojik sınırlılıklar barındırmaktadır. Bu sınırlılıkların, öğrencilerin bireysel öğrenme hızlarına uygun çalışma ve tekrar yapma olanaklarını kısıtladığı; öğrenme sürecinde standardizasyonun sağlanmasını zorlaştırdığı bildirilmektedir (Keskin vd., 2015). Günümüzde artan öğrenci sayıları ve değişen öğrenme alışkanlıkları dikkate alındığında, histoloji laboratuvar eğitiminde daha esnek, erişilebilir ve öğrenci merkezli yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Floresan ve konfokal mikroskoplar histoloji eğitiminde daha çok ileri düzey ve araştırma odaklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Floresan mikroskopi, belirli hücresel yapıların floresan boyalar (floroforlar) ile işaretlenmesine dayanır. Bu boyalar, belirli bir dalga boyundaki ışıkla uyarıldıklarında daha uzun dalga boyunda ışık yayarlar. Mikroskop sisteminde bu süreci kontrol eden “filtre küpü” bulunur. Bu yapı; uyarıcı ışığı seçen eksitasyon filtresi, uyarıcı ve yayılan ışığı birbirinden ayıran dikroik ayna ve sadece yayılan ışığın görüntülenmesini sağlayan emisyon filtresinden oluşur. Bu sayede zayıf floresan sinyal, güçlü uyarıcı ışıktan ayrıştırılarak yüksek kontrastlı bir görüntü elde edilir (URL 1, URL 2, URL 3). Bu yaklaşım; immünfloresan işaretleme ile hücre içi protein lokalizasyonu, hücre iskeleti organizasyonu veya belirli hücre popülasyonlarının seçici gösterimi gibi “moleküler düzeyde görselleştirme” gerektiren öğretim hedeflerinde belirgin avantaj sağlar (Sanderson vd., 2014,). Bununla birlikte floresan mikroskopide fotobleakaj (sinyalin zamanla azalması), fototoksiste, dokunun ofloresansı ve uygun işaretleyici/protokol gereksinimi gibi sınırlılıklar; özellikle standart lisans laboratuvarlarında kullanım sıklığını etkileyebilmektedir (Sanderson vd., 2014; Can, 2018).

Konfokal mikroskopi ise floresan mikroskopinin ileri bir formu olarak, lazerle noktasal aydınlatma ve odak dışı ışığı bastıran pinhole (iğne deliği) mekanizması sayesinde optik kesitleme (optical sectioning) yapar; böylece kalın örneklerde “bulanıklık” azalır, kontrast artar ve ardışık Z-stack kesitlerinden üç boyutlu rekonstrüksiyon mümkün olur (URL 4; Elliot, 2020). Konfokal sistemlerde pinhole çapı ve sayısal açıklık (NA) gibi parametreler, özellikle aksiyel

çözünürlük ve görüntü kontrastı üzerinde belirleyicidir; pinhole büyüdükçe optik kesitleme zayıflayabilir, buna karşılık sinyal artabilir-bu denge, eğitim/uygulama amacına göre optimize edilir (URL 5, URL 6). Konfokal görüntüleme; doku içindeki hücre-hücre/hücre-matriks ilişkilerinin derinlik boyunca izlenmesi, çoklu floroforlarla aynı örnekte birden fazla hedefin eş zamanlı gösterimi ve nicel ölçüm yaklaşımlarının desteklenmesi açısından güçlüdür (Jonkman vd, 2020, Elliot, 2020). Buna karşın sistem maliyeti, lazer güvenliği, bakım/kalibrasyon gereksinimi ve veri üretim hızının yüksek olması (büyük hacimli görüntü dosyaları) gibi nedenlerle konfokal mikroskopi çoğu kurumda rutin lisans histoloji laboratuvarının sınırlı bir parçası olarak kalmakta, daha çok ileri düzey eğitim ve araştırma modüllerinde kullanılmaktadır (Can, 2018; Elliot, 2020).

Bu bağlamda dijital görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, ışık mikroskobunun sunduğu temel morfolojik altyapıyı koruyarak histoloji eğitime yeni olanaklar kazandırmıştır. Dijital ve sanal mikroskopi sistemleri, geleneksel mikroskop temelli eğitimin doğal bir uzantısı ve tamamlayıcısı olarak gelişmiş; histolojik preparatların dijital ortama aktarılmasıyla mekân bağımsız, standartlaştırılmış ve etkileşimli öğrenme ortamlarının oluşturulmasını mümkün kılmıştır. Böylece histoloji eğitimi yalnızca fiziksel laboratuvarla sınırlı kalmayıp, dijital platformlar üzerinden sürdürülebilir ve öğrenci merkezli öğrenme yaklaşımlarını destekleyen bir yapıya evrilmiştir. Bu dönüşüm, aynı zamanda histolojik görüntülerin ileri analiz yöntemleri ve yapay zekâ uygulamalarıyla bütünleştirilmesine de zemin hazırlamaktadır.

2.2. Dijital ve Sanal Mikroskopi

Son yıllarda dijital mikroskoplar ve sanal mikroskopi (virtual microscopy) sistemleri, histoloji eğitiminde önemli bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Dijital mikroskop, optik mikroskoplara entegre edilen bir kamera ve bilgisayar yazılımı aracılığıyla görüntülerin dijital ortama aktarılmasını sağlayan sistemdir; bu sayede görüntüler bilgisayar ekranından izlenebilir, kaydedilebilir ve paylaşılabilir. Dijital mikroskoplar, öğretim elemanının aynı görüntü üzerinde tüm öğrencilere eş zamanlı açıklama yapabilmesine olanak tanıyarak sınıf içi etkileşimi artırmaktadır (Hamilton vd., 2012). Buna ek olarak, dijital mikroskoplar eğitimde donanım maliyetlerini düşürme ve hazırlanan görüntülerin arşivlenebilmesi gibi avantajlar sunar; bu durum özellikle gelişmekte olan ülkelerde laboratuvar altyapısı sınırlı olan kurumlar için önemlidir.

Sanal mikroskopi (virtual microscopy) ise dijital mikroskopiden bir adım öteye giderek, cam preparatların tüm slayt görüntüleme (whole-slide imaging, WSI) teknolojisi kullanılarak çok yüksek çözünürlükte taranmasını ve bu dijital

görüntülerin özel yazılımlar aracılığıyla bilgisayar, tablet veya web tarayıcısı üzerinden incelenmesini mümkün kılar. Sanal mikroskopide kullanıcılar, klasik mikroskop kullanımına benzer biçimde büyütme değiştirebilir, alanlar arasında gezinebilir ve aynı slaytı eş zamanlı olarak birden fazla öğrenci ya da eğitmenle birlikte görüntüleyebilir. Bu yaklaşım, bilgisayar ağı üzerinden erişilebilen görüntülerin yüksek çözünürlükte olması sayesinde optik mikroskop deneyimini dijital ortamda yeniden üretir ve öğrencilerin dijital slayt setlerine mekân bağımsız erişimini sağlar (URL 8).

Sanal mikroskopi, preparatların fiziksel olarak zarar görmesi, kaybolması veya zamanla bozulması gibi geleneksel laboratuvar sorunlarını ortadan kaldırarak eğitim materyallerinin sürdürülebilirliğini ve standardizasyonunu artırmaktadır. Ayrıca birçok üniversite, kendi sanal mikroskopi arşivlerini ve çevrim içi platformlarını geliştirerek öğrencilere zaman ve mekân sınırlaması olmadan preparatlara erişim olanağı sunmaktadır. Örneğin Hacettepe Üniversitesi Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı'nın sanal mikroskopi platformu, bölüm arşivindeki 165'e yakın doku preparatını dijital ortamda erişilebilir kılmaktadır (URL 9). Bu doğrultuda geliştirilen çevrim içi sanal mikroskopi platformları, histoloji eğitiminde erişilebilirliği artırmaktadır. Örneğin Histology.be gibi platformlar, histoloji ve patoloji slaytlarının yüksek çözünürlükte taranarak web üzerinden interaktif biçimde incelenmesine olanak tanımakta; klasik laboratuvar altyapısı gereksinimini azaltarak öğrencilerin mekânsal olarak bağımsız öğrenimini desteklemektedir (URL 7).

Pedagojik açıdan, sanal mikroskopi sistemlerinin histoloji eğitimine entegrasyonu, erişilebilirlik, verimlilik ve etkileşimli öğrenme açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Öğrenciler mekân bağımsız olarak histolojik kesitlere erişebilir, kendi öğrenme hızlarına uygun çalışma yapabilir ve görüntüler üzerinde işaretleme, not alma veya karşılaştırma gibi etkileşimli etkinliklerde bulunabilir. Bu durum, öğrenci merkezli öğrenme yaklaşımını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda öğrencilerin kendi kendine öğrenme becerilerini de güçlendirir (URL 8). Araştırmalar, sanal mikroskopi tabanlı sınıfların ulaşılabilirliği, kendi kendine öğrenme fırsatları ve erişim kolaylığı nedeniyle, geleneksel mikroskopi tabanlı sınıflarla karşılaştırıldığında memnuniyet ve öğrenme çıktılarında avantajlar sunduğunu göstermiştir (Francis vd., 2023).

Bunun yanı sıra, dijital ve sanal mikroskopi altyapısı, histolojik görüntülerin yapay zekâ tabanlı analiz yöntemleriyle bütünleştirilmesine de zemin hazırlamaktadır. Otomatik doku ve hücre tanıma, segmentasyon, sınıflandırma ve öğrenci performans geri bildirim mekanizmaları gibi yapay zekâ uygulamaları, hem eğitim hem de klinik uygulamalar açısından yeni fırsatlar sunmaktadır (Gurcan vd., 2009; Litjens vd., 2017; Kiran vd., 2023). Bu entegrasyon, histoloji

laboratuvar eğitimini dijitalleşmenin ötesine taşıyarak akıllı öğrenme ortamlarının geliştirilmesini mümkün kılar.

2.3. Türkiye’de Histoloji Eğitimi

Türkiye’de histoloji eğitimi, eğitim basamaklarına göre farklı derinlik ve kapsamda yapılandırılmakta; mikroskop kullanımı ise tüm düzeylerde temel olmakla birlikte içerik ve amaç bakımından farklılaşan bir bileşen olarak yer almaktadır. Eğitim süreci ön lisans düzeyinde teknik uygulama ağırlıklı olarak başlamakta, lisans düzeyinde sistematik ve kuramsal bir temele oturmakta; lisansüstü ve asistanlık aşamalarında ise belirgin biçimde araştırma temelli ve uzmanlaşmaya yönelik bir yapıya dönüşmektedir. Bu yapı, mikroskopun teknik bir araçtan bilimsel üretim aracına evrilen işlevsel dönüşümünü de yansıtmaktadır.

Ön lisans düzeyinde özellikle Meslek Yüksekokulları ve Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları bünyesindeki Patoloji Laboratuvar Teknikleri ve Tıbbi Laboratuvar Teknikleri programlarında mikroskop kullanımı doğrudan mesleki uygulama becerisi kazandırmaya yöneliktir. Bu programlarda öğrenciler ışık mikroskopunun optik ve mekanik bileşenlerini tanımakta, doğru odaklama tekniklerini uygulamakta, büyütme basamaklarını etkin biçimde kullanmakta ve preparatları sistematik olarak incelemeyi öğrenmektedir. Doku takibi, bloklama, mikrotomi ve rutin boyama işlemleri sonrasında kesitlerin mikroskopik kalite kontrolü eğitimin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (URL 10; URL 11; URL 12). Bu düzeyde mikroskop eğitiminin temel amacı, ilgili laboratuvarlarda görev alabilecek teknik personelin cihaz hâkimiyetini ve preparat değerlendirme yeterliliğini geliştirmektir. Dolayısıyla mikroskop, ön lisans düzeyinde öncelikle teknik doğruluk ve standart iş akışının güvenli yürütülmesini sağlayan bir mesleki yeterlilik aracıdır.

Lisans düzeyinde histoloji eğitimi daha sistematik ve kuramsal bir çerçeveye oturmaktadır. Tıp ve diş hekimliği fakültelerinde mikroskop kullanımı, hücre doku organ ilişkisini kavrama ve yapı–fonksiyon bağlantısını analiz etme amacıyla yapılandırılmaktadır. Öğrenciler ışık mikroskobu altında normal doku organizasyonunu tanımlamakta; bu yapıları embriyolojik köken ve fizyolojik işlevlerle ilişkilendirebilmektedir. Dijital mikroskopi uygulamalarının pedagojik katkısını inceleyen Keskin vd., (2015), dijital sistemlerin kullanım kolaylığı, görüntü netliği ve sınavda anlaşılabilirlik açısından daha yüksek memnuniyet sağladığını; buna karşın ışık mikroskopunun “kullanım keyfi” boyutunda daha yüksek puan aldığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, dijital sistemlerin erişilebilirlik ve görsel standardizasyon avantajları sunduğunu; ancak manuel mikroskop kullanımının deneyimsel öğrenme ve aktif keşif duygusu açısından

özgün bir katkı sağladığını göstermektedir. Buna paralel olarak Kökbaş vd., (2024), laboratuvar temelli yüz yüze uygulamanın öğrenme kalıcılığı ve uygulama becerilerinin gelişimi açısından çevrim içi veya yalnızca teorik yöntemlere kıyasla daha etkili olabileceğini bildirmiştir. Bu iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, lisans düzeyinde mikroskop eğitiminin dijital sistemlerin sağladığı erişim ve görsel avantajlar ile yüz yüze uygulamanın psikomotor ve deneyimsel katkısını birleştiren hibrit modellerle daha dengeli biçimde yürütülmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Bu dijitalleşme sürecinin kurumsal ölçekteki örneklerinden biri, Hacettepe Üniversitesi tarafından geliştirilen sanal mikroskopi platformudur. Histolojik preparatların dijital ortama aktarılmasıyla oluşturulan bu sistemler, öğrencilere zaman ve mekân sınırlaması olmaksızın tekrar ve karşılaştırmalı analiz yapma imkânı sunmaktadır (URL 9). Sanal mikroskopi özellikle bireysel öğrenme hızına uyum ve görüntü standardizasyonu açısından lisans eğitimini destekleyen önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda dijital patoloji alanında geliştirilen akademik platformlar da eğitim süreçlerine entegre edilmektedir. Taranmış tüm slayt görüntülerinin (Whole Slide Imaging, WSI) çevrim içi ortamda incelenmesine ve etkileşimli tartışma yürütülmesine olanak tanıyan PATHOCLASS platformu, dijital mikroskopi uygulamalarını destekleyen örnek sistemlerden biri olarak değerlendirilmektedir (URL 17). Benzer şekilde, İstinye Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde dijital mikroskopi destekli patoloji uygulamaları yürütülmüş; öğrencilerin dijital ortamda slayt inceleyerek etkileşimli değerlendirme yapmaları sağlanmıştır (URL 18). Bu tür uygulamalar, dijital mikroskopi altyapısının yalnızca patoloji eğitiminde değil, histoloji derslerinde de uyarlanabilir bir model sunduğunu göstermektedir.

Yüksek lisans düzeyinde histoloji eğitimi belirgin biçimde araştırma temelli bir yapıya dönüşmektedir. Bu aşamada mikroskop yalnızca gözlemsel bir araç değil, bilimsel veri üretim sistemidir. Işık mikroskopisinin yanı sıra floresan, konfokal ve elektron mikroskopisi gibi ileri görüntüleme teknikleri öğretilmekte; histokimyasal ve immünohistokimyasal analizler deneysel araştırmaların temel bileşeni haline gelmektedir. Türkiye'de histoloji ve embriyoloji lisansüstü programları, mikroskopik teknikleri deneysel tasarım, veri analizi ve bilimsel yayın üretimi ile bütünleştiren araştırma odaklı eğitim modelleri sunmaktadır (URL 13a; URL 13b; URL 14; URL 15; URL 16). Bu düzeyde mikroskop, hipotez testine dayalı özgün bilimsel katkının merkezinde yer almaktadır.

Doktora ve asistanlık aşamasında mikroskop eğitimi, yöntem geliştirme, protokol optimizasyonu ve bağımsız araştırma yürütme yeterlilikleriyle daha ileri bir uzmanlık boyutuna ulaşmaktadır (TUKMOS, 2022). Böylece mikroskop,

eğitim aracından araştırma ve akademik üretim aracına dönüşen çok katmanlı bir sistem halini almaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye’de histoloji eğitiminde dijital uygulamalara yönelik bir yönelim gözlenmekle birlikte, bu dönüşümün kurumlar arasında homojen ve tam anlamıyla yerleşmiş olduğu söylenemez. Dijital mikroskopi ve sanal platformlar bazı kurumlarda eğitim sürecini destekleyici araçlar olarak kullanılmakta; ancak yüz yüze mikroskop başı uygulamanın özellikle psikomotor beceri ve deneyimsel öğrenme açısından önemini koruduğu görülmektedir (Keskin vd., 2015; Kökbaş vd., 2024). Patoloji alanında uygulanan (URL 18) dijital mikroskopi örneklerinin histoloji eğitimine de uyarlanabilir (URL 9) olduğu dikkate alındığında, gelecekte dijital ve geleneksel yaklaşımların pedagojik hedeflerle uyumlu ve dengeli biçimde bütünleştirilmesi önem taşımaktadır. Bu basamaklı ve bütüncül yapı, mikroskobun eğitim ve araştırma ekseninde çok boyutlu bir akademik araç olarak konumunu sürdürdüğünü göstermektedir.

2.4. Dünyada Histoloji Eğitimi

Uluslararası düzeyde histoloji eğitimi, giderek dijitalleşen ve öğrenci merkezli öğrenme yaklaşımlarına dayalı bir yapıya evrilmektedir. Sanal mikroskopi sistemleri, birçok üniversitede geleneksel ışık mikroskobunun yerini almış veya hibrit modellerle birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönüşüm, öğrencilerin histolojik görüntülere daha sık, esnek ve mekândan bağımsız erişimini mümkün kılmaktadır (Dee, 2009; Hamilton vd., 2012).

Bu bağlamda, web tabanlı dijital histoloji platformları eğitim sürecinde önemli bir yer edinmiştir. Örneğin, Histology.be bünyesinde geliştirilen “Digital Microscope (d-microscope)” sistemi, Namur Üniversitesi öncülüğünde Belçika’da geliştirilmiş akademik bir projedir. Bu platform, özellikle gelişmekte olan ülkelerde histoloji ve patoloji eğitimine erişimi artırmayı hedefleyen uluslararası iş birlikleri kapsamında tasarlanmıştır. Sistem, yüksek çözünürlüklü olarak taranmış histolojik ve patolojik preparatları çevrimiçi ortamda sunmakta; kullanıcıların gerçek bir mikroskop kullanımına benzer şekilde görüntü üzerinde yakınlaştırma (zoom) ve alanlar arasında gezinme (pan) işlemleri yapmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kardiyovasküler sistemden sinir sistemine kadar geniş bir doku koleksiyonu sunarak, öğrencilerin organ sistemlerini sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla incelemesine imkân tanımaktadır (URL 7).

Buna ek olarak, Histology Guide, Minnesotal Üniversitesi kökenli bilim insanları tarafından geliştirilen histoloji atlasına dayanan bağımsız bir dijital histoloji platformudur. Bu sistem, tarayıcı tabanlı bir sanal mikroskopi laboratuvarı olarak yüksek çözünürlüklü tüm preparat görüntülerini kullanıcıya sunmakta ve gerçek mikroskop deneyimini simüle eden bir arayüz sağlamaktadır.

Kullanıcılar farklı büyütme düzeyleri arasında geçiş yapabilmekte ve preparat üzerinde serbestçe gezinerek doku yapılarını ayrıntılı biçimde inceleyebilmektedir. Bu özellikler, öğrenmenin tekrar edilebilirliğini artırmakta ve öğrenciye kendi hızında ilerleme imkânı sunmaktadır (URL 19).

Bu tür dijital platformlar, geleneksel histoloji laboratuvarlarının maliyet, preparat temini ve bakım gibi sınırlılıklarını azaltırken, öğrencilerin morfolojik değerlendirme becerilerini geliştiren etkileşimli bir öğrenme ortamı oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapay zekâ destekli dijital patoloji uygulamaları da eğitim alanında giderek daha fazla yer bulmaktadır. Otomatik yapı tanıma ve görüntü analizi algoritmaları, öğrencilerin morfolojik yapıları daha hızlı ve doğru şekilde tanımlamasına katkı sağlamakta ve öğrenme sürecini destekleyen geri bildirim mekanizmaları sunmaktadır (Gurcan vd., 2009; Kiran vd., 2023).

Sonuç olarak, dijital platformlar ve yapay zekâ destekli sistemlerin entegrasyonu, histoloji eğitimini daha erişilebilir, standartlaştırılabilir ve etkileşimli bir yapıya dönüştürmektedir.

2.5. Yapay Zekânın Histoloji Eğitimine Uyarlanması

Yapay zekâ uygulamalarının histoloji eğitimine entegrasyonu, yüksek kaliteli ve iyi anotasyonlanmış dijital görüntü veri setlerinin oluşturulmasıyla başlamaktadır. Bu bağlamda manuel anotasyon, histolojik görüntüler üzerinde doku ve hücrel yapıların uzmanlar tarafından işaretlenmesi, sınırlarının belirlenmesi ve etiketlenmesi sürecini ifade etmekte olup, yapay zekâ modellerinin eğitimi için “altın standart” (ground truth) veriyi oluşturmaktadır. Derin öğrenme tabanlı algoritmalar, bu referans veriler üzerinden öğrenerek histolojik görüntülerde doku ve hücrel yapıların otomatik olarak tanınmasını mümkün kılmakta ve bu sayede eğitim süreçlerinde nesnel ve tekrarlanabilir değerlendirmeler sunmaktadır (Litjens vd., 2017). Bununla birlikte, bu sistemlerin etkin şekilde eğitilebilmesi için uzmanlar tarafından gerçekleştirilen manuel anotasyon süreçleri hâlen temel veri kaynağını oluşturmaktadır.

Güncel çalışmalar, özellikle gigapiksel düzeydeki histopatolojik görüntülerde geliştirilen yapay zekâ modellerinin, yalnızca hücrel yapıları tanımakla kalmayıp aynı zamanda patolojik değişiklikleri yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini göstermektedir. Örneğin, çok ölçekli analiz yaklaşımı (pyramid tiling) ve uzamsal farkındalık (spatial awareness) içeren derin öğrenme modelleri, geniş doku alanlarını kısa sürede analiz ederek manuel değerlendirmelere kıyasla hem daha hızlı hem de daha tutarlı sonuçlar üretebilmektedir (Greeley vd., 2024). Bununla birlikte, histopatolojik veri setlerinde sıkça karşılaşılan sınıf dengesizliği (örneğin normal doku alanlarının

patolojik alanlara göre çok daha fazla olması) model performansını etkileyebilecek kritik bir sorun olup, güncel yaklaşımlarda çok ölçekli örnekleme ve veri artırma stratejileri ile bu sorun büyük ölçüde kontrol altına alınabilmektedir (Greeley vd., 2024).

Bu gelişmeler, histoloji eğitiminde öğrencilerin yalnızca sınırlı mikroskop alanlarına değil, tüm preparat üzerinden bütüncül değerlendirme yapabilmelerine olanak tanımaktadır. Eğitim amaçlı geliştirilen sistemler, öğrencinin hatalı tanımlamalarını analiz edebilmekte, performansını izleyebilmekte ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sunabilmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli uygulamalar, farklı büyütme düzeylerinde (multi-scale) inceleme imkânı sağlayarak öğrencilerin morfolojik farkındalığını artırmaktadır.

Bununla birlikte etik, veri güvenliği, algoritmik yanlılık ve model şeffaflığı gibi konular, yapay zekâ uygulamalarının eğitimde kullanımında dikkatle ele alınması gereken kritik başlıklardır (Aggarwal vd., 2025). Ayrıca, geliştirilen modellerin eğitim ortamından klinik uygulamalara aktarılabilmesi için farklı veri setleri ve gerçek hasta materyalleri üzerinde kapsamlı doğrulama (validasyon) çalışmalarının yapılması gerekliliği devam etmektedir (Greeley vd., 2024). Özellikle eğitim verilerinin temsil gücü ve çeşitliliği, bu modellerin güvenilirliği ve genellenebilirliği açısından belirleyici olmaktadır.

2.6. Histoloji Eğitiminde Dijital ve Mobil Uygulamalar

Histoloji eğitiminin dijitalleşme süreci, sanal mikroskopi, dijital patoloji ve yapay zekâ destekli analiz yaklaşımlarının gelişimi ile paralel olarak ilerlemekte; bu dönüşümün en erişilebilir ve öğrenci merkezli bileşenlerinden birini mobil uygulamalar oluşturmaktadır. Önceki bölümlerde ele alınan dijital mikroskopi ve yapay zekâ temelli sistemler, çoğunlukla kurumsal altyapılar ve laboratuvar temelli uygulamalar üzerinden yürütülürken, mobil uygulamalar bu teknolojilerin bireysel öğrenme düzeyine indirgenmiş ve günlük öğrenme pratiklerine entegre edilmiş biçimini temsil etmektedir. Bu yönüyle mobil histoloji uygulamaları, dijital dönüşümün son halkası olarak değerlendirilebilir.

Mobil histoloji uygulamaları, temelde dijital atlas, sanal mikroskopi ve etkileşimli öğrenme araçlarını bir araya getiren bütüncül platformlardır. Bu bağlamda dijital atlasların histoloji eğitimindeki rolü, klasik kaynaklardan günümüze uzanan bir süreklilik göstermektedir. Özellikle Atlas And Epitome Of Human Histology And Microscopic Anatomy gibi temel atlaslar, normal doku mimarisinin sistematik ve standart bir şekilde öğrenilmesinde referans kaynaklar olarak kabul edilmekte; bu yapıların dijital ortama aktarılması ise öğrenme sürecini daha erişilebilir ve tekrar edilebilir hale getirmektedir (Sobotta, 2022). Nitekim dijital teknolojiler kullanılarak histolojik dokuların görselleştirilmesine

yönelik çalışmalar, bu dönüşümün pedagojik temelini güçlendirmektedir (Kaya, 2024).

Bu kapsamda öne çıkan AnatLab Histology (2023) ve Medical Histology (EduLabStudio, 2026) gibi uygulamalar, klasik histoloji atlaslarının dijital ortama uyarlanmış örnekleri olarak değerlendirilebilir. Bu tür uygulamalar, yüksek çözünürlüklü histolojik preparatları sistematik bir yapı içerisinde sunarak öğrencilerin normal doku mimarisini tekrar edilebilir ve erişilebilir bir biçimde öğrenmesine olanak tanımaktadır. Sanal mikroskopi sistemleriyle benzer şekilde, kullanıcıya büyütme, alan değiştirme ve detay inceleme imkânı sunmaları, bu uygulamaları yalnızca pasif bir atlas olmaktan çıkararak etkileşimli bir öğrenme aracına dönüştürmektedir.

Buna karşın, öğrenme sürecinin değerlendirme ve pekiştirme boyutunu güçlendiren uygulamalar da önemli bir yer tutmaktadır. SecondLook Histology (University of Michigan Medical School, 2022) ve Histo! (Histo Inc., 2023) gibi uygulamalar, öğrencilerin histolojik yapı tanıma becerilerini ölçmeye yönelik quiz tabanlı sistemler sunmaktadır. Bu uygulamalar, tekrar ve aktif öğrenme ilkeleri doğrultusunda öğrencinin bilgi düzeyini sürekli olarak değerlendirmesine olanak tanımakta; özellikle sınav odaklı öğrenme süreçlerinde önemli katkılar sağlamaktadır. Öğrencinin hatalarını fark etmesi ve geri bildirim alabilmesi, öğrenme sürecinin kalıcılığını artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Mobil öğrenmenin sürekliliğini destekleyen bir diğer önemli yaklaşım ise erişilebilirlik odaklı uygulamalardır. LearnHistology (2022) gibi uygulamalar, internet bağlantısına ihtiyaç duymadan çalışabilmeleri sayesinde öğrenmenin zaman ve mekân bağımsızlığını daha ileri bir düzeye taşımaktadır. Bu durum, özellikle laboratuvar dışında tekrar yapma imkânını artırmakta ve öğrencilerin bireysel öğrenme hızlarına uygun çalışma ortamları oluşturmaktadır.

Son yıllarda mobil uygulamalar içerisinde en dikkat çekici gelişmelerden biri ise yapay zekâ destekli öğrenme sistemlerinin ortaya çıkmasıdır. Bu bağlamda Microlab (2024), histoloji eğitiminde yeni nesil bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu tür uygulamalar, yalnızca statik görüntü sunmakla kalmayıp, kullanıcıya görüntü analizi, soru-cevap etkileşimi ve bireyselleştirilmiş geri bildirim gibi ileri düzey öğrenme olanakları sağlamaktadır. Böylece öğrenciler, histolojik yapıları yalnızca tanımlamakla kalmayıp, aynı zamanda analiz etme ve yorumlama becerilerini de geliştirme fırsatı bulmaktadır. Bu durum, yapay zekâ destekli sistemlerin histoloji eğitiminde üst düzey bilişsel becerilerin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mobil histoloji uygulamaları; dijital atlaslar, sanal mikroskopi sistemleri ve yapay zekâ temelli analiz yaklaşımlarının bir araya geldiği entegre öğrenme araçları olarak öne çıkmaktadır. Bu

uygulamalar, öğrencilerin görsel tanıma becerilerini geliştirmekte, öğrenmeyi süreklilik kazandırmakta ve bireyselleştirilmiş öğrenme süreçlerini desteklemektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin tek başına yeterli olmadığı; önceki bölümlerde vurgulanan laboratuvar temelli uygulamalar, mikroskop başı deneyim ve öğretim elemanı rehberliği ile birlikte kullanıldığında en yüksek pedagojik etkiye ulaştığı açıktır.

Sonuç olarak, histoloji eğitiminde dijitalleşme süreci; ışık mikroskobundan sanal mikroskopiye, oradan yapay zekâ destekli sistemlere ve nihayetinde mobil öğrenme uygulamalarına uzanan çok katmanlı bir dönüşümü ifade etmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Histoloji eğitiminde geleneksel mikroskopi temelli yaklaşımdan dijital ve sanal mikroskopi uygulamalarına, oradan da yapay zekâ destekli görüntü analizine uzanan dönüşüm şematik olarak gösterilmektedir. Bu dönüşüm; erişilebilirlik, standardizasyon, etkileşimli öğrenme ve kişiselleştirilmiş geri bildirim olanaklarını güçlendirmektedir. Şekil, yazar tarafından oluşturulmuştur. Görsel tasarım sürecinde yapay zekâ destekli araçlardan yararlanılmıştır (OpenAI, 2026).

Mobil uygulamalar bu dönüşümün en erişilebilir bileşeni olarak, gelecekte histoloji eğitiminde hibrit ve akıllı öğrenme modellerinin vazgeçilmez bir parçası olmaya adaydır. Bu nedenle, mobil uygulamaların eğitim programlarına pedagojik hedeflerle uyumlu biçimde entegre edilmesi, hem öğrenme kalitesinin artırılması hem de sürdürülebilir eğitim modellerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

3. Sonuç

Histoloji eğitimi, hücre, doku ve organ düzeyinde yapısal organizasyonun anlaşılmasına dayanan ve sağlık bilimleri eğitiminin temel taşlarından birini oluşturan disiplinler arası bir alandır. Bu eğitim süreci, geleneksel olarak ışık mikroskopuna dayalı laboratuvar uygulamaları ile şekillenmiş; öğrencilerin morfolojik değerlendirme becerilerinin gelişiminde doğrudan gözlem ve deneyim belirleyici bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, artan öğrenci sayıları, sınırlı laboratuvar olanakları ve değişen öğrenme alışkanlıkları, histoloji eğitiminde daha esnek, erişilebilir ve öğrenci merkezli yaklaşımlara duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur.

Bu doğrultuda gelişen dijital mikroskopi ve sanal mikroskopi sistemleri, histolojik preparatların yüksek çözünürlükte dijital ortama aktarılmasını sağlayarak eğitimde önemli bir paradigma değişimi yaratmıştır. Bu sistemler, öğrencilere mekân ve zaman bağımsız erişim, tekrar edilebilirlik ve standartlaştırılmış öğrenme olanakları sunmakta; aynı zamanda etkileşimli ve öğrenci merkezli öğrenme ortamlarının gelişimine katkı sağlamaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeyde bu teknolojilerin eğitim programlarına entegrasyonu, histoloji eğitiminde öğrenme süreçlerinin daha sistematik ve erişilebilir hale gelmesine olanak tanımıştır.

Dijitalleşme sürecinin bir diğer kritik bileşeni ise yapay zekâ destekli görüntü analiz sistemleridir. Derin öğrenme temelli algoritmaların histolojik görüntüler üzerinde yüksek doğrulukla sınıflandırma, segmentasyon ve analiz gerçekleştirebilmesi, hem klinik uygulamalar hem de eğitim süreçleri açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu sistemler, öğrencilerin yalnızca görsel tanıma becerilerini değil, aynı zamanda analitik düşünme, yorumlama ve karar verme yetkinliklerini de geliştirmektedir. Bununla birlikte, veri kalitesi, anotasyon süreçleri, etik ilkeler, algoritmik yanlılık ve model güvenilirliği gibi konular, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenli kullanımında dikkatle ele alınması gereken temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Mobil öğrenme uygulamaları ise bu dijital dönüşümün en erişilebilir ve bireyselleştirilmiş öğrenmeye en uygun bileşenini oluşturmaktadır. Dijital atlaslar, sanal mikroskopi araçları, quiz tabanlı sistemler ve yapay zekâ destekli uygulamalar, öğrencilerin öğrenme süreçlerini laboratuvar ortamının ötesine taşıyarak süreklilik kazandırmaktadır. Bu uygulamalar, öğrenmenin zaman ve mekândan bağımsız hale gelmesini sağlamakta, bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimlerini desteklemekte ve öğrenci motivasyonunu artırmaktadır. Ancak bu teknolojilerin tek başına yeterli olmadığı; en yüksek pedagojik etkinin, geleneksel mikroskopi uygulamaları ile dijital ve yapay zekâ temelli sistemlerin bütüncül ve dengeli bir yaklaşımla birlikte kullanılmasıyla sağlanabileceği açıktır.

Sonuç olarak, histoloji eğitimi; geleneksel mikroskop temelli yaklaşımlardan dijital ve yapay zekâ destekli öğrenme ortamlarına doğru çok katmanlı ve dinamik bir dönüşüm süreci içerisinde. Bu dönüşüm, yalnızca teknolojik bir yenilenmeyi değil, aynı zamanda pedagojik yaklaşımların yeniden yapılandırılmasını da ifade etmektedir. Gelecekte histoloji eğitiminin; hibrit öğrenme modelleri, akıllı eğitim sistemleri ve yapay zekâ destekli bireyselleştirilmiş öğrenme yaklaşımları ile daha da gelişeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, dijital ve mobil teknolojilerin eğitim programlarına pedagojik hedeflerle uyumlu, bilinçli ve sürdürülebilir bir biçimde entegre edilmesi, hem öğrenme kalitesinin artırılması hem de çağdaş eğitim modellerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, yapay zekâ destekli sistemlerin yalnızca yardımcı bir teknoloji olarak değil, öğrenme süreçlerini destekleyen ve yönlendiren bir eğitim bileşeni olarak değerlendirilmesinin, gelecekte histoloji eğitimine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

- Aggarwal A, Bharadwaj S, Corredor G, Pathak T, Badve S, Madabhushi A (2025). Artificial intelligence in digital pathology-time for a reality check. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 22, 283–291. <https://doi.org/10.1038/s41571-025-00991-6>.
- AnatLab. (2023). *AnatLab Histology* [Mobile app]. App Store.
- Bancroft, J. D., ve Gamble, M. (2007). *Theory and practice of histological techniques*. 6th edition, London Churchill Livingstone.
- Can A (2018) Yaşam Bilimlerinde A'dan Z'ye Mikroskopi. Ankara Nobel Tıp Yayınevleri.
- Dee, FR (2009). Virtual microscopy in pathology education. *Human Pathology*, 40(8), 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.humpath.2009.04.010>.
- EduLabStudio, 2026. *Medical Histology* [Mobile app]. Google Play.
- Elliot AD (2020). Confocal Microscopy: Principles and Modern Practices. *Curr Protoc Cytom*. 2020 March ; 92(1): e68. <https://doi.org/10.1002/cpcy.68> .
- Francis DV, Charles AS, Jacob TM, Ruban A, Premkumar PS, Rabi S (2023). Virtual microscopy as a teaching-learning tool for histology in a competency-based medical curriculum. *Medical Journal Armed Forces India* 79:156-164. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2022.02.002>.
- Greeley C, Holder L, Nilsson EE, Skinner MK (2024). Scalable deep learning artificial intelligence histopathology slide analysis and validation. *Scientific Reports* 14:26748. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76807-x>.
- Gurcan MN, Boucheron L, Can A, Madabhushi A, Rajpoot N, Yener B. (2009). Histopathological image analysis: a review. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2009; 2: 147–171. <https://doi.org/10.1109/RBME.2009.2034865>
- Hamilton, PW., Wang Y, McCullough S. (2012). Virtual microscopy and digital pathology in training and education. *APMIS* 120: 305-315. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2011.02869.x>.
- Histo Inc. (2023). *Histo!* [Mobile app]. App Store.
- Jonkman J, Brown CM, Wright GD, Anderson KI, North AJ. (2020). Tutorial: guidance for quantitative confocal microscopy, *Nature Protocols*. <https://doi.org/10.1038/s41596-020-0313-9>.
- Kaya SE (2024). Temel histolojik dokuların dijital teknikler kullanılarak görselleştirilmesi. Ondokuz mayıs üniversitesi lisansüstü eğitim enstitüsü histoloji ve embriyoloji ana bilim dalı Yüksek Lisans Tezi, Yök Tez No: 882462.

- Keskin İ, Özbek H, Ulaş N, Müdok T.(2015). Geleneksel Mikroskop Eğitiminden Dijital Mikroskop Eğitime Geçiş. Tıp Eğitimi Dünyası, cilt.14, sa.42, ss.27-32.
- Kiran N, Sapna F, Kiran F, et al. (2023) Digital Pathology: Transforming Diagnosis in the Digital Age. Cureus 15(9): e44620. <https://doi.org/10.7759/cureus.44620>.
- Kökbaş U, Özmen P, Bozkurt Ö, Alkan I. Temel Tıp Bilimleri Uygulama Eğitiminde Farklı Metotların Etkinliğinin Karşılaştırılması. Tıp Eğitimi Dünyası. 2024;23(71):94-103. <https://doi.org/10.25282/ted.1479633>.
- LearnHistology. (2022). *LearnHistology* [Mobile app]. Google Play.
- Litjens, G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi P, Ghafoorian M, van der Laak J, Ginneken B, Sánchez CI. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>.
- Microlab. (2024). *Microlab: Histology Slides & AI* [Mobile app]. Google Play.
- OpenAI. (2026). ChatGPT (GPT-5.3) [Large language model]. <https://chat.openai.com>
- Ross MH, Pawlina W. (2014) Histology: A Text and Atlas with Correlated Cell and Molecular Biology (6th edition), Çeviri ed: Barış Baykal, Palme Yayıncılık.
- Sanderson MJ, Smith I, Parker I, Bootman MD (2014). Fluorescence Microscopy, Cold Spring Harb Protoc.; 2014(10): pdb.top071795. <https://doi.org/10.1101/pdb.top071795>.
- Sobotta J. (2022). *Atlas And Epitome Of Human Histology And Microscopic Anatomy*. Legare Street Press.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. 1st Edition. Basic Books.
- TUKMOS (2022). Tıpta Uzmanlık Kurulu Müfredat Oluşturma ve Standart Belirleme Sistemi Histoloji ve Embriyoloji Eğitimi Uzmanlık Eğitimi Çekirdek Müfredatı.
- University of Michigan Medical School. (2022). *SecondLook Histology* [Mobile app]. App Store.
- URL 1. ZEISS (2023). https://pages.zeiss.com/rs/896-XMS-794/images/ZEISS-Microscopy_Technology-Note_Principles-of-Fluorescence.pdf
- URL 2. Nikon MicroscopyU. (t.y.). <https://www.microscopyu.com/techniques/fluorescence/introduction-to-fluorescence-microscopy>

- URL 3. Evident Scientific (Olympus) (t.y.).
<https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/knowledge-hub/lightandcolor/fluoroexcitation>
- URL 4. Nikon MicroscopyU. (t.y.).
<https://www.microscopyu.com/tutorials/laser-scanning-confocal-microscopy>
- URL 5. Evident Scientific (Olympus). (t.y.).
<https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/knowledge-hub/techniques/confocal/resolutionintro>
- URL 6. Leica Microsystems. (t.y.). <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/life-science/microscope-resolution-concepts-factors-and-calculation>
- URL 7. University of Namur. (t.y.). <https://www.histology.be/content/dmh.html>
- URL 8. Wikipedia. (t.y.). https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_microscopy
- URL 9. Hacettepe Üniversitesi. (t.y.).
https://histoloji.hacettepe.edu.tr/tr/sanal_mikroskopi_platformu_hak-1
- URL 10. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi. (t.y.). *Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı.*: <https://myo.adu.edu.tr/ayasaghiz/tr/birimler/tibbi-laboratuvar-teknikleri-programi-4033>
- URL 11. Beykent Üniversitesi. (t.y.). *Patoloji Laboratuvar Teknikleri Programı.*
<https://myo.beykent.edu.tr/programlar/tibbi-hizmetler-ve-teknikler/patoloji-laboratuvar-teknikleri>
- URL 12. Marmara Üniversitesi. (t.y.). *Patoloji Laboratuvar Teknikleri Program Tanıtımı.* <https://meobs.marmara.edu.tr/ProgramTanitim/saglik-hizmetleri-meslek-yuksekokulu/patoloji-laboratuvar-teknikleri-121-154-0>
- URL 13a. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi. (t.y.). *Histoloji ve Embriyoloji Yüksek Lisans Programı genel bilgiler.* <https://akts.adu.edu.tr/programme-detail/4/5461/general-information/>
- URL 13b. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi. (t.y.). *Veteriner Histoloji ve Embriyoloji Yüksek Lisans Programı dersleri.*
<https://enstitü.adu.edu.tr/saglik/tr/birimler/veterinerlik-histoloji-ve-embriyoloji-yuksekk-lisans-programi-5407/dersler>
- URL 14. İstanbul Üniversitesi. (t.y.). *Histoloji ve Embriyoloji yüksek lisans ders programı.*
[https://ebs.istanbul.edu.tr/home/dersprogram/?id=10575&birim=histoloji_ve_embriyoloji_tezli_yuksekk_lisans_programi_\(orgun_ogretim\)&yil=2025](https://ebs.istanbul.edu.tr/home/dersprogram/?id=10575&birim=histoloji_ve_embriyoloji_tezli_yuksekk_lisans_programi_(orgun_ogretim)&yil=2025)

- URL 15. Ege Üniversitesi. (t.y.) *Histoloji ve Embriyoloji lisansüstü program detayları*.
<https://ebp.ege.edu.tr/DereceProgramlari/Detay/2/60017/4320/932001>
- URL 16. Ankara Üniversitesi. (t.y.) *Histoloji ve Embriyoloji Yüksek Lisans Programı*. <https://www.ankara.edu.tr/programlar/3/902/3415-1041>
- URL 17. Virasoft. (t.y.). <https://www.virasoft.com/tr/cozumler/akademik-platformlar/pathoclass>
- URL 18. İstinye Üniversitesi. (t.y.). *Dijital mikroskopi uygulaması*.
<https://www.istinye.edu.tr/tr/tip/haberler/dijital-mikroskopi-uygulamasi>
- URL 19. University of Minnesota. (t.y.). <https://histologyguide.com/>

11. Bölüm

Sağlık Yönetiminde Yapay Zekâ: Stratejik Karar Alma ve Liderlik Perspektifi

Ali ALU*

1. Giriş

Günümüzde sağlık sektörü, teknolojik yeniliklerin en yoğun hissedildiği alanlardan başından gelmektedir (Imanova, 2025). Sağlık hizmetlerinin giderek daha da karmaşık bir hal alması ve hastanelerin klinik, finansal ve operasyonel açılardan yüksek baskı altında olması, dijital dönüşümü bir seçenektan ziyade stratejik bir zorunluluk haline gelmesine neden olmuştur (Kocaman, 2025). Klasik yönetim anlayışıyla ileri düzey teknolojinin kullanıldığı, yoğun veri akışının olduğu ve hız baskısının olduğu süreçleri yönetme konusunda ihtiyaçlara yeterli düzeyde cevap verememektedir. Özellikle COVID-19 pandemi süreciyle birlikte, sağlıkta dijitalleşme süreçlerini ve tele-sağlık vb. e-sağlık uygulama ciddi bir şekilde yaygınlaşmaya başlamıştır. Yaşanılan bu dönüşüm sadece teknik bir ilerleme değil; aynı zamanda stratejik yönetim, iş gücü becerileri, etik standartlar ve hasta güvenliği gibi çok boyutlu unsurları içeren bir paradigma değişimini beraberinde getirmiştir (Göde, A. 2025). Dolayısıyla günümüz sağlık kurumları eğer sürdürülebilir devamlı olacak bir başarıyı elde etmek istiyorlarsa dünyada yaşanan dijital dönüşümü kurum vizyonuna entegre edip bu süreci bilinçli bir stratejik planlama ile yönetmek zorundadırlar (Bryson, 2018).

Bu bağlamda Yapay zekâ, sağlık hizmetlerinin hem klinik hem de yönetsel alanlarında stratejik bir dönüştürücü güç olarak ön plana çıkmaya başlamıştır (Akalin ve Veranyurt, 2021). Günümüzde sağlık kurumların birçok süreçlerinde kullanılmaya başlanan yapay zeka özellikle Klinik düzeyde hastalıkların erken teşhisi, hastalık tahmini, bireyselleştirilmiş tedavi planlaması ve görüntüleme analitiği gibi alanlarda tanı doğruluğunu artırarak daha önceleri sıkça görülen tıbbi hataları azalttığı görülmektedir (Göde, A. 2025). Özellikle onkoloji, radyoloji ve kardiyoloji gibi uzmanlık alanlarında hizmet veren profesyonellere derin öğrenme modelleri ile onları desteklemek argümanlar sunmaktadır (Hoşgör ve Güngördü, 2022).

Yönetsel açıdan yapay zeka ise, karar destek sistemleri aracılığıyla operasyonel verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadır. Sağlık kurumlarında hasta

* ORCID:0000-0002-7608-2976

tedavi ve bakımıyla ilgili akışın yönetilmesi, kaynak planlaması, yatak tahsisi ve personel programlama gibi süreçlerde yöneticilere anlık veri analizi sağlayarak tahminleme kapasitesinin artmasını sağlamaktadır. Bunların yanı sıra insan kaynakları yönetiminde yetenek yönetimi, performans değerlendirme ve öğrenme sürecini bireye uyarlayarak iş gücü verimliliğini yükselmesini sağlamaktadır (Karatop vd. 2025). Özetlemek gerekirse yapay zeka, sağlık hizmetlerinin hem kalitesini artırmasını hem de maliyet etkinliğini sağlayan ve yöneticilere daha isabetli kararlar alma imkânı sunan önemli bir teknolojik altyapıdır (Akalin ve Veranyurt, 2021). Bu çalışma, sağlık yönetiminde yapay zekânın stratejik karar alma süreçlerindeki rolünü ve liderlik perspektifindeki yansımalarını bütüncül bir çerçevede incelemeyi amaçlamaktadır. Sağlık yöneticilerinin yapay zekâ teknolojilerini stratejik hedeflerle nasıl uyumlu hale getirebileceği ve bu süreçte gereken dijital liderlik yetkinlikleri hakkında bilgi verilecektir.

2.Genel Bilgiler

2.1.Yapay Zekâya Genel Bakış

Yapay zekayla ilgili birçok tanım olmasına rağmen bunlara arasında en genel tanımı; bir bilgisayarın veya bilgisayar destekli bir sistemin; insan benzeri şekilde algılama, öğrenme, muhakeme yürütme, karar alma ve problem çözme gibi bilişsel işlevleri yerine getirebilme kapasitesi olarak ifade edilmektedir (Akça, 2023;Joshi vd., 2024; Bozkurt, 2025). Li (2022) göre makine öğrenimi, veri madenciliği ve akıllı algoritma teknolojisi kullanılarak insan beyninin düşünme modunu simüle etme süreci olarak tanımlamaktadır. Yapay zekâ, kişilere karmaşık ve sürekli değişen problemleri çözme yeteneği kazanmasını sağlamaktadır. Başka bir deyişle, normal şartlarda insan zekâsı gerektiren karmaşık görevlerin makineler tarafından otonom veya yarı otonom şekilde icra edilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Mammadova, 2023).

Yapay zeka teknolojileri, birbirini destekleyen çeşitli alt alanlara ayrılmış kategorilerden oluşmaktadır. Makine Öğrenmesi; Yapay zekânın en önemli alt kategorilerinin başında makine öğrenmesi gelmektedir. Bu süreç Verilerden öğrenen ve bu verilere dayalı tahminlerde bulunan algoritmalar kullanılarak işleyiş sağlanmaktadır (Harkut ve Kasat, 2019). Derin öğrenme de, makine öğreniminin bir alt kümesi olup genellikle katmanlar halinde düzenlenmiş düğümlerden oluşan bir ağ yapısı üzerine kurulmuştur. Her katman, bir sonraki katmanı etkinleştirmek için yeterli büyüklükte bir girdi gerektirir ve bu yapı, verileri işlemek için insan beynindeki nöron yapısını taklit eden çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanarak işleyiş sağlar. Karmaşık veri analitiği gibi alanlarda insan kapasitesine eşdeğer sonuçlar verdiği için özellikle görüntü

tanıma için yaygın olarak kullanılmaktadır (Mammadova, 2023). Doğal Dil İşleme; İnsan dilini makineler tarafından anlaşılır, işlenebilir ve üretilebilir hale getiren teknoloji olarak ifade edilmektedir. Günümüzde sohbet robotları (chatbotlar) ve sanal asistanlarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Bahja, 2020; Akturan, 2024; Kotkar ve Potdar, 2024). Uzman Sistemler ise belirli bir uzmanlık alanındaki (örneğin tıbbi teşhis) insan bilgisini kopyalayarak, içinde çıkılması zor karmaşık sorunlara çözüm bulmak ve kişilere sorunla ilgili tavsiyelerde bulunmak üzere oluşturulmuş mekanizmadır (Warwick, 2013; Sarker, 2021).

Yapay zeka günümüzde sağlık alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sağlık alanında kullanımın genel çerçevesine bakıldığında yapay zekânın, hem klinik hem de yönetsel süreçlerde sıkça faydalandığı görülmektedir. Klinik Uygulama süreçlerinde yapay zekâ; erken teşhis, hastalık tahmini, tıbbi görüntüleme analizi (radyoloji, onkoloji vb.) ve bireyselleştirilmiş tedavi planlaması süreçlerinde teşhis ve tanının doğruluk ve güvenilirliğini artırarak yaşanabilecek tıbbi hataları büyük oranda azaltmaktadır. Robotik cerrahi ve genomik veri analizi gibi ileri düzey uygulamalarla hasta bakım kalitesinin artmasını sağlamaktadır (Göçmen, 2022; Gómez-González, 2020; Gasmi, 2022). Ayrıca operasyonel ve yönetsel uygulama süreçlerinde hastane yönetiminde yapay zeka destekli karar destek sistemleri sayesinde; kaynak planlaması, yatak tahsisi, personel programlama ve hasta akış yönetimi gibi süreçler sayesinde verimlilik büyük oranda artmaktadır. İnsan kaynakları tarafından yapılan performans değerlendirmelerin nesnel verilere dayalı yapıldığı için daha adil yapılması sağlanmaktadır (Kocaman, 2025; Karatop vd. 2025). Yapay zeka; yöneticilere özellikle stratejik karar alma süreçlerinde gerçek zamanlı veri analizi ve öngörücü modelleme sunarak isabetli tercihler yapmalarına yardımcı olmaktadır (Haque, 2025; Mhlanga, 2025). Bunlarla birlikte yapay zeka; halk sağlığı ve epidemiyoloji alanı içinde büyük bir önem arz etmektedir. Büyük veri analitiği sayesinde salgın hastalıkların yayılımını tahmin etme (COVID-19 örneğinde olduğu gibi) ve proaktif sağlık politikaları geliştirme süreçlerinde hayati bir araç olarak faydalanılmaktadır (Göçmen, 2022).

2.2.Sağlık Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamaları

Sağlık yönetiminde yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı hem klinik hem de idari süreçlerde verimliliği artıran, hata oranlarını azaltan ve karar verme mekanizmaların isabetli kararlar vermesine yardımcı olan stratejik bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Kocaman, 2025). Klinik Uygulamalarda yapay zekânın kullanımı erken teşhis, hastalık tahmini, tıbbi görüntüleme analizi gibi birçok kolaylık sağlamaktadır. Özellikle, radyoloji, onkoloji ve kardiyoloji gibi

alanlarda yapay zeka tabanlı teşhis sistemlerinin doğruluk oranlarını artırarak erken tanı ve teşhise katkı sağladığı ortaya konulmuştur (Hoşgör ve Güngördü, 2022). Ayrıca derin öğrenme tabanlı görüntü analiz modelleri sayesinde verilerini değerlendirerek, kanser gibi kritik hastalıkların teşhisinde önemli katkılar sağladığı görülmüştür (Gómez-González, 2020). Bunlarla birlikte Öte yandan klinik karar destek sistemlerin erken uyarı özellikleri sayesinde farmakoloji ve ilaç geliştirme süreçlerinde de önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Yapay zeka tabanlı modelleme ve simülasyon teknikleri sayesinde ilaç etkileşimleri, hastaya özel dozaj ayarlamaları ve bireyselleştirilmiş tedavi planlamaları günümüzde daha güvenilir bir hale geldiği görülmektedir (Gasmi, 2022).

Operasyonel ve yönetsel gibi hastane yönetimi uygulamalarında da sıkça yapay zeka destekli karar destek sistemlerinde faydalanılmaktadır. Özellikle sağlık kurumların kaynak planlaması, yatak tahsisi, personel programlama ve hasta akış yönetimi gibi süreçlerde verimliliği gibi süreçlerde birçok kolaylık sağlamaktadır (Smithson vd., 2024; Paterson vd., 2024). Bu bağlamda yapay zeka, hastane yöneticilerine daha planlama, karar verme ve kaynakların tahsisi gibi süreçlerde birçok kolaylıklar sağlamaktadır (Haque, 2025). İnsan kaynakları tarafında ise performans değerlendirme ve iş gücü planlaması gibi süreçler nesnel veriler kullanarak gerçekleştiği için yapılan değerlendirmelerin ve personel işe alım süreçlerin daha adil ve güvenilir bir şekilde yapılmasına yardımcı olmaktadır (Karatop vd. 2025). Yapay zeka mekanizmaları sayesinde personel alım ve performans değerlendirme süreçleri şeffaf ve adaletli bir şekilde yapıldığı için çalışanın kuruma olan bağlılığı güçlenmekte, kurumda kalıcılık oranı yükselmekte ve sağlık sektörünün değişen ihtiyaçlarına uyum sağlayabilen nitelikli personel yetiştirilmesine yardımcı olmaktadır (Brown, 2022; Robinson ve Lee, 2024). Bunlarla birlikte eğitim planlama, sanal eğitim platformları ve performans yönetimi gibi alanlarda da yapay zekâ araçların sıkça faydalandığı görülmektedir (Düzcü vd., 2024).

Yapay zeka araçları stratejik karar alma ve liderlik süreçlerinde sağlık yöneticilerine daha doğru, hızlı ve gelecek tahmini konularda doğru ve isabetli kararlar vermesi konusunda destek olmaktadır (Haque, 2025). Çünkü yönetici çoğu zaman iş süreçlerinde belirsizlikler, hız baskısı ve veri yoğunluğu ile karşı karşıya kalmaktadır. Yaşanılan bu olumsuz durumlarda yapay zeka mekanizmaları sorunların nasıl çözülebileceği konusunda yöneticilere pratik çözümler sunmaktadır (Smithson vd., 2024). Yapay zekâ tabanlı yönetim uygulamalarının; erken öngörüleme modelleri, klinik karar destek sistemleri, operasyonel süreçlerin otomatikleştirilmesi, stratejik karar alma, insan kaynağı planlaması, hasta güvenliğinin güçlendirilmesi, izlem mekanizmaları ile kalite

göstergelelerinin anlık değerlendirilmesi gibi sağladığı olanaklar, hastane yöneticilerini daha analitik ve veri temelli bir yönetsel anlayış benimsemeye sevk etmektedir (Bulut, 2025).

2.3.Etik ve Hukuki Boyut

Sağlık yönetiminde yapay zekâ mekanizmalarının kullanılması stratejik karar almada entegrasyon, operasyonel verimlilik ve klinik süreçlerde birçok fayda ve kolaylık sağlamış olsa bile, bu araçların kullanılması beraberinde önemli etik ve hukuki sorumluluklar ortaya çıkardığı görülmektedir (Hickok ve Maslej, 2023). Özellikle sağlık kurumların yapay zeka teknolojilerini uzun vadeli olarak kurma entegre edip kullanabilmeleri için veri güvenliğini sağlayıp hesap verebilir şeffaf bir sistem üretilip sorunlara önleyici bir yönetim anlayışıyla ele almaları gerekmektedir (Göde, 2025).

Yapay zekâ uygulamalarında veri güvenliği sağlık kurumlarında hasta gizliliği açısından büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü yapay zeka kullanımı, veri gizliliği ve etik sorunlarla ilgili çeşitli endişelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle, çalışan performansıyla ilgili yapılan değerlendirme ve analiz süreçlerinde çalışan haklarının ihlal edilme riskiyle karşı karşıya kalabilir (Wang, 2021). Sağlık kuruluşları, hasta verilerini analiz ederken Genel Veri Koruma Tüzüğü ve Kişisel Verilerin Korunması Kanunu gibi yasal çerçevelere taviz vermeden tam olarak bağlı olması gerekmektedir (Önder, 2022; Yiğit vd., 2023).

Modellerin eğitimi, araştırma vb. amaçlar için kullanılan verilerin paylaşımında yasal izin ve onamların alınması büyük bir önem taşımaktadır. Kullanıcı verilerinin yetkisiz kişilere karşı güvenlik tedbirlerin alınıp verilerin korunması, hem etik bir zorunluluk hem de kamusal güvenin tesisinde kritik öneme sahiptir (Önder, 2022). Ayrıca yapa zeka altyapısına dışardan gelebilecek gelebilecek saldırılara karşı verilerin bütünlüğünü korumak ve tutarlığını güvence altına almak için siber güvenlik protokollerin sürekli güncellenmesi büyük bir önem arz etmektedir (Stanford Institute for Human-Centered AI, 2023). Ortaya çıkabilecek tehditlere karşı kurum içi denetim mekanizmalarının kurulması gerekmektedir. Gerekirse kurumun bağımsız uzmanların da dış dış denetim yapabilmesini sağlayacak bir anlayışın benimsenmelidir. Bu vb. iç ve dış tedbirler ortaya çıkabilecek tehditlerin tespiti ve düzeltilmesi açısından hayati bir öneme sahiptir (Imanova, 2025).

Günümüzde yapay zekanın kurumsal ve toplumsal alanlarda yaygın bir şekilde kullanılması beraberinde hatalı çıktılar durumunda yani etik ve yasal ihlal söz konusu olduğunda nasıl bir yol izleneceği tartışmalarını da ortaya çıkarmaktadır. Çünkü yapay zeka sistemleri otonom karar verme kabiliyetine

sahip olduğu için yapısı gereği öngörölmeven sonuçlarında ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Böyle bir durumda hem kurumlar hem de bireyler için risk ve sorumluluk söz konusu olmaktadır. Örneğin yapay zeka araç ve mekanizmalarının kullanılarak yapılan tıbbı uygulamada ortaya çıkan yanlış teşhis yada operasyonel hata durumunda sorumluluğun kime olacağına karmaşık soruların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Yükümlüğün kişide mi, yazılımcıda mı yoksa sistem sahibinde mi olacağı konusunda halen bir kesinlik yoktur (Vasilev ve Szpoper, 2018). Ortaya çıkan bu sorun bazı hukuki tartışmaları beraberinde getirmiştir. Avrupa Parlamentosu, yapay zeka ajanlarına sorumluluk atfetmek amacıyla ‘elektronik kişilik’ statüsünü gündeme almıştır (Somenkov, 2019). Bununla birlikte, uzmanlar yapay destekli kararlarda ortaya çıkan etik ikilemlerin üstesinde gelmek ve hesap verebilirliği sağlamak için insan denetiminin önemini ortaya koymaktadır (Brynjolfsson vd. 2023).

2.4.Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar

Sağlık yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının stratejik karar alma süreçlerine entegrasyonu, operasyonel verimliliği artırma gibi süreçlere birçok katkılar sağlamış olsa bile uygulama aşamasında çeşitli yapısal ve insan kaynaklı engellerin ortaya çıktığı görölmektedir (Bulut, 2025). Bu zorlukların üstesinde gelmek için, kurumların dijital dönüşüm ve entegrasyonu sürdürülebilir başarıyı sağlamak için büyük bir önem arz etmektedir (Göde, 2025).

Yapay zeka sistemlerin etkili ve verimli vir şekilde çalışabilmesi için güçlü teknoloji ve teknik altyapı gereklidir. Donanım ve sistem yetersizliği ve karmaşık setleri çözümlenecek güçlü makinelerinin olmaması önemli bir engel teşkil etmektedir (Mammadova, 2023). Özellikle az gelişmiş ülkelerde teknik altyapı eksikliğinden dolayı bu sistemlerin uygulanabilirliği zorlaşmaktadır (Deperlioğlu vd., 2016). Sağlık yönetiminin iç ve dış çevre unsurlarından etkilenen çok boyutlu ve sürekli değişen yapısına anlık olarak uyum sağlayabilecek esnek sistem altyapılarının geliştirilmesi, karmaşık ve emek gerektiren bir süreç olarak değerlendirilmektedir(Mammadova, 2023). Var olan bilgi sistemlerinin yapay zekâ temelli altyapılarla entegre edilmesi ve veri ağlarının güvenlik esasları doğrultusunda birbirleriyle bağlantılı hale getirilmesi, ileri düzey teknik bilgi ve uzmanlık gerektiren bir süreçtir (Ekinci vd., 2021).

Yapay zekanın bilişim sistemlerine entegrasyonu sürecinde yaşanan en büyük zorlukların başında çalışan ve yöneticilerin bu dönüşüme uyum sağlamamasından dolayı ortaya çıkan psikolojik ve örgütsel dirençtir. Kurum çalışanları arasında yapay zekanın işlerini ellerinden alacağı işsiz kalınacağı korkusu yaygınlaşmaya başlamıştır (Chui vd. 2022; Dwivedi vd. 2021). Bazı yöneticiler, yapay zekâ uygulamalarının karar alma süreçlerindeki bireysel yetki

alanlarını daraltabileceği ya da uzun yıllara dayanan mesleki deneyim ve sezgisel değerlendirmelerini işlevsiz hale getirebileceği düşüncesiyle kaygı taşımaktadır (Akturan, 2024).

Yapay zekâ modellerinin etkinliği, kullanıldıkları veri kaynaklarının kalite düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Eğitim sürecinde kullanılan veri setlerinin yetersiz, eksik ya da güncelliğini yitirmiş bilgiler içermesi, sistem çıktılarının hatalı olmasına neden olabilmekte ve uygulamanın beklenen başarıya ulaşmasını engelleyebilmektedir. Veri kalitesinin yetersiz olması durumunda algoritmalar yöneticilere güvenilir ve isabetli öneriler sunamamakta, buna bağlı olarak yanlış değerlendirmeler ve hatalı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Mammadova, 2023). Veri paylaşımı ve mahremiyet konusundaki sınırlılıklar, özellikle kişisel verilerin korunmasına ilişkin Kişisel Verileri Koruma Kanunu ve ile açık rıza yükümlülükleri nedeniyle, yapay zekâ modellerinin eğitilmesinde ihtiyaç duyulan verilere erişimi zorlaştırmaktadır (Esmailzadeh vd. 2021).

3.Sonuç ve Öneriler

Sağlık yönetiminde yapay zekâ, yalnızca teknolojik bir gelişme olarak değil, hastane yönetişimi ile liderlik anlayışını yeniden şekillendiren stratejik bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Yapay zekâ tabanlı uygulamalar; tanısal süreçlerde doğruluk oranını yükselterek tıbbi hata riskini azaltmakta, hasta hareketliliğinin daha etkin yönetilmesini sağlamakta ve kaynak kullanımına ilişkin yönetsel kararlarda anlık veri temelli analiz desteği sunmaktadır. Güncel çalışmalar, yapay zekânın hastane yöneticilerinin karar verme kapasitesini güçlendiren gerçek zamanlı operasyonel zekâ ve öngörülse yönetim imkânları sağladığını göstermektedir. Bu teknolojik değişim, geleneksel olarak sezgiye dayanan liderlik yaklaşımından uzaklaşarak; veri odaklı, analitik düşünceyi önceleyen ve teknoloji ile entegre çalışan dijital liderlik anlayışının benimsenmesini gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte sürecin sürdürülebilir biçimde ilerleyebilmesi, veri mahremiyeti, algoritmik yanlılık, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi etik ve hukuksal sorunların etkin biçimde yönetilmesine bağlıdır. Güncel araştırmalar, yapay zekânın insan liderliğini tamamen ikame etmesinden çok, yöneticilerin etik değerlendirme ve sezgisel karar verme kapasitesi ile yapay zekânın analitik işlem gücünü bir araya getiren hibrit yönetim modellerinin daha işlevsel ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Sağlık yöneticilerinin yapay zekâ entegrasyonunu başarılı biçimde yönetebilmesi için yerine getirmesi gereken temel stratejik sorumluluklar ve uygulama adımları çeşitli boyutlarda ele alınmaktadır. Öncelikle yöneticiler ile klinik çalışanların yapay zekâ teknolojilerinin çalışma prensipleri, sağlayacağı katkılar ve olası sınırlılıkları konusunda bilgi düzeylerinin artırılması amacıyla

eğitim programları, seminerler ve uygulamalı atölye çalışmaları planlanmalıdır. Bu sayede kurum genelinde teknolojiye yönelik farkındalık ve kabul düzeyi güçlendirilebilecektir.

Bunun yanında, yapay zekânın sunduğu veri işleme ve analitik değerlendirme kapasitesinin; insanın empati kurma, sezgisel düşünme ve etik muhakeme becerileriyle dengelendiği hibrit liderlik anlayışının benimsenmesi gerekmektedir. Böyle bir yaklaşım, teknoloji ile insan merkezli yönetim arasında işlevsel bir denge kurulmasına katkı sağlayacaktır.

Entegrasyon sürecinin etkinliği açısından değişim yönetimine odaklanması da önemli bir gerekliliktir. Çalışanların yeni sistemlere karşı geliştirebileceği uyum sorunlarını ve direnç davranışlarını azaltmak için personelin karar ve uygulama süreçlerine aktif katılımı sağlanmalı, sürekli gelişim ve öğrenmeyi destekleyen kurumsal bir iklim oluşturulmalıdır.

Ayrıca yapay zekâ destekli sistemlere duyulan güvenin artırılması için karar mekanizmalarının işleyişi konusunda açıklık sağlanmalı, algoritmaların nasıl sonuç ürettiği anlaşılır biçimde paylaşılmalı ve tüm kritik aşamalarda insan denetiminin sürdürülmesine özen gösterilmelidir.

Son olarak yapay zekâ yatırımlarının kurumun genel stratejik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi, veri yönetişimi politikalarının güçlendirilmesi ve hasta bilgilerinin korunmasına yönelik kapsamlı güvenlik önlemleri ile etik denetim mekanizmalarının oluşturulması sağlık yöneticilerinin öncelikli sorumluluk alanları arasında yer almaktadır.

Kaynakça

- Akalın, B., ve Veranyurt, U. (2021). Sağlık hizmetleri ve yönetiminde yapay zekâ. *Acta Infologica*, 5(1), 231-240.
- Akça, C. (2023). Yetenek yönetiminde yapay zekâ uygulamaları. *Ahi Evran Akademi*, 4(1), 49-63
- Akturan, A. (2024). Yapay zekânın işletme yönetimi ve liderlik üzerindeki etkileri: Bir literatür incelemesi. *Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 1305-1348.
- Bahja, M. (2020). Natural language processing applications in business. E-Business-higher education and intelligence applications. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92203>
- Bozkurt, H. G. (2025). Somut Olmayan Kültürel Miras Alanında Yapay Zeka, Veri Analitiği ve Makine Öğrenmenin Potansiyeli: Yenilikçi Yöntemler ve Uygulamalar. *Dünya İnsan Bilimleri Dergisi*, 2025(2), 305-322.
- Brown, T. (2022). Predictive analytics in human resources: A guide to strategic planning. *Journal of Business Strategy*, 43(2), 134-148.
- Brynjolfsson, E., Li, D., ve Raymond, L. R. (2023). Generative AI at work (No. w31161). National Bureau of Economic Research.
- Bryson, J. M. (2018). *Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations* (5th ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Bulut, C. (2025). Sağlık Kurumlarında Yapay Zekâ Destekli Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 11(1), 27-37.
- Chui, M., Hall, B., Mayhew, H., Singla, A., Sukharevsky, A., & by McKinsey, A. I. (2022). The state of AI in 2022-and a half decade in review. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review#/>
- Deperlioğlu, O., Güraksın, G., ve Köse, A. (2016). Web tabanlı klinik karar destek sistemleri: Yapıları ve özellikleri. *Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 20, 112-124.
- Düzcü, T., Bayram, V., ve Önder, E. (2024). Hastanelerde stratejik insan kaynakları yönetim süreçlerinde yapay zekâ uygulamaları. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(30), 85-110. <https://doi.org/10.38155/ksbd.1377969>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., ... ve Williams, M. D. (2021). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International journal of information*

- management, 57, 101994. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>
- Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8 (2), 2024, s.1305-1348.
- Ekinci, Y., Tutgul Ünal, A., ve Tathan, N. (2021). Dijital Sağlık Okuryazarlığı Üzerine Bir Alanyazın İncelemesi. *Bayterek Uluslararası Akademik Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 148–165. <https://doi.org/10.48174/buaad.42.1>
- Esmailzadeh, P., Mirzaei, T., ve Dharanikota, S. (2021). Patients' Perceptions Toward Human–Artificial Intelligence Interaction in Health Care: Experimental Study. *Journal of Medical Internet Research*, 23(11), 1–21. <https://doi.org/10.2196/25856>
- Gasmi, A. (2022). Deep learning and health informatics for smart monitoring and diagnosis. arXiv preprint, arXiv:2208.03143. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.03143>
- Gómez-González, E., Gomez, E., Márquez-Rivas, J., Guerrero-Claro, M., Fernández-Lizaranzu, I., Relimpio-López, M. I., ... ve Capitán-Morales, L. (2020). Artificial intelligence in medicine and healthcare: a review and classification of current and near-future applications and their ethical and social impact. arXiv preprint arXiv:2001.09778. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.09778>
- Göçmen, Z. N. C. (2022). Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamaları: Yoğun bakım örneği [Doktora tezi]. İstanbul Medipol Üniversitesi.
- Göde, A. (2025). Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Okuryazarlığı ve Kurumsal Hazır Bulunmuşluk: Yönetimsel Bir Bakış.
- Haque, A. (2025). Responsible artificial intelligence (AI) in healthcare: a paradigm shift in leadership and strategic management. *Leadership in Health Services*, 38(4), 644-656.
- Harkut, D. G., ve Kasat, K. (2019). Introductory chapter: artificial intelligence-challenges and applications. *Artificial Intelligence-Scope and Limitations*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84624>.
- Hickok, M., ve Maslej, N. (2023). A policy primer and roadmap on AI worker surveillance and productivity scoring tools. *AI and Ethics*, 3(3), 673-687. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00275-8>
- Hoşgör, H., ve Güngördü, H. (2022). Sağlıkta yapay zekânın kullanım alanları üzerine nitel bir araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 395-407. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1052614>
- Imanova, N. (2025). *Yapay Zekanın Stratejik Planlama Farkındalığı Üzerine Etkileri: Sağlık Sektörüne Yönelik Bir Araştırma* (Master's thesis, İstanbul Aydın University (Turkey)).
- Joshi, A., Singh, R., ve Rani, S. (2024). Strategic adoption of artificial intelligence for human resource management *practices transforming*

healthcare sector. *The International Journal of Education Management and Sociology*, 3(3), 151-163.

- Karatop, B., Özel, T., Zorluoölu, S., ve Döğün, R. S. (2025). Sağlık İşletmelerinde Yapay Zekâ Destekli Yetenek Yönetimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İnsan Kaynakları Yönetimi Dergisi*, 4(2), 99-116.
- Kocaman, E. (2025). Yapay Zekâ Destekli Hastane Yönetimi Ve Liderliği: Bibliyometrik Bir Analiz. *European Journal of Managerial Research (EUJMR)*, 9(17), 83-111.
- Kotkar, R. V., ve Potdar, S. M. (2024). Investigating the Development and Uses of Natural Language Processing in Educational Settings. *IBMRD's Journal of Management & Research*, 13(1), 77-85. <http://dx.doi.org/10.17697/ibmr2024%2Fv13i1%2F173526>
- Li, C. (2022). The Impact and Response of Artificial Intelligence on the Theory of Enterprise Management. In 2022 3rd International Conference on Electronic Communication and Artificial Intelligence (IWECAI) (pp. 314-317). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IWECAI55315.2022.00067>
- Mammadova, F. (2023). *Stratejik yönetim kapsamında yapay zeka rolü üzerine nitel bir araştırma* (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Mhlanga, D. (2025). *AI in Hospital Administration: Revolutionizing Healthcare*. CRC Press.
- Onder, O. (2022). Epistemolojik ve Etik Acidan Klinik Karar Destek Sistemleri. In Tayyibe Bardakçı & M. Ihsan Karaman, *Yapay Zeka Etiği*. Istanbul: Isar Yayınları. pp. 147-160.
- Paterson, E., Chari, S., McCormack, L., ve Sanderson, P. (2024). Application of a human factors systems approach to healthcare control centres for managing patient flow: A scoping review. *Journal of Medical Systems*, 48(1), 62.
- Robinson, L., ve Lee, K. (2024). Transforming human resource management in healthcare: The role of artificial intelligence and Industry 5.0. *Journal of Economics*, 9(1), 18-35.
- Sarker, I. H. (2021). Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(6).
- Smithson, R., Doherty, T., ve Fisher, A. (2024). Managing patient flow across an acute tertiary care hospital through a centralised coordination hub: Technological and cultural change-a casestudy. *Asia Pacific Journal of Health Management*, 19(1), 180-183.

- Somenkov, S. A. (2019). Artificial Intelligence: From Object to Subject? The Vector of Legal Science, 2(54), 75–85. SÜLEYMANOĞULLARI, S., AKSOY, E., ve YILDIRIM, S. (2024).
- Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. (2023). *AI Index report 2023*. Stanford University. <https://aiindex.stanford.edu/report/>
- Vasilev A.A., ve Szpoper D.(2018). Artificial Intelligence: legal aspects. *Izvestiya of Altai State University*, 6: 23–26. von Krogh G. (2018). Artificial intelligence in organizations: new opportunities for phenomenon based theorizing. *Academy of Management Discoveries* 4(4): 404–409.
- Warwick, K. (2013). *Artificial Intelligence: The Basics*. (1. basım.). New York, USA: Taylor and Francis.
- Yiğit, S., Berşe, S., ve Dirgar, E. (2023). Yapay zekâ destekli dil işleme teknolojisi olan ChatGPT'nin sağlık hizmetlerinde kullanımı. *Eurasian Journal of Health Technology Assessment*, 7(1), 57-65. <https://doi.org/10.52148/ehta.1302000>

12. Bölüm

Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Yapay Zekâ Uygulamaları

Fatma Nur ALTIN*

1.Giriş

Son yıllarda yapay zekâ teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli dönüşümlere yol açmıştır. Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi alt alanların gelişimi sayesinde, bireylerden elde edilen verilerin yorumlanması, analiz edilmesi ve klinik karar süreçlerinde kullanılması mümkün hale gelmiştir (Kaplan vd., 2024). Bu durum, sağlık hizmetlerinin daha hızlı, doğru ve kişiselleştirilmiş bir şekilde sunulmasına katkı sağlayarak kalite ve verimliliğin artmasına olanak tanımaktadır (Kaplan vd., 2024; Pattanshetty ve Khan, 2022).

Yapay zekânın sağlık alanındaki bu yaygın etkisi, fizyoterapi ve rehabilitasyon uygulamalarında da giderek daha belirgin hale gelmektedir (Pattanshetty ve Khan, 2022). Fizyoterapi; bireylerin fonksiyonel kapasitesini artırmayı, hareket yetilerini geliştirmeyi ve yaşam kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan dinamik ve süreç odaklı bir disiplindir. Bu bağlamda yapay zekâ teknolojileri, yalnızca tanı ve değerlendirme süreçlerini değil, aynı zamanda tedavi planlaması ve hasta takibini de dönüştürme potansiyeline sahiptir (Akalin ve Demirbaş, 2022; Tüfekçi, 2024). Ayrıca hastalık düzeyinin belirlenmesi ve tedavi etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik veri temelli yaklaşımlar sunarak klinik karar verme süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır (Akalin ve Demirbaş, 2022; Tüfekçi, 2024).

Rehabilitasyon süreçlerinde yapay zekâ uygulamaları özellikle hareket analizi, biyomekanik değerlendirme ve kişiselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulması gibi alanlarda öne çıkmaktadır (Sumner vd., 2023). Sensörler ve görüntü işleme teknikleri aracılığıyla elde edilen büyük veri setlerinin analiz edilmesi, klinisyenlere daha objektif ve veri temelli geri bildirim sunmakta; bu durum geleneksel değerlendirme yöntemlerine kıyasla daha hassas ölçümlerin yapılmasına ve tedavi süreçlerinin daha etkin yönetilmesine olanak sağlamaktadır (Sumner vd., 2023). Bununla birlikte, yapay zekâ destekli

* ORCID:0000-0002-9782-3964

uygulamalar hastaların rehabilitasyon sürecine aktif katılımını artırmakta ve tedaviye uyumu güçlendirmektedir (Rasa, 2024).

Özellikle telerehabilitasyon, giyilebilir teknolojiler ve mobil sağlık uygulamaları ile entegre edilen yapay zekâ sistemleri, hastaların ev ortamında izlenmesine ve gerçek zamanlı geri bildirim almasına imkân tanımaktadır (Rasa, 2024). Bu kapsamda fizyoterapi ve rehabilitasyon alanında yapay zekâ destekli uygulamalar; robotik rehabilitasyon sistemleri, beyin-bilgisayar arayüzleri, giyilebilir teknolojiler, telerehabilitasyon, mobil sağlık uygulamaları ve sanal gerçeklik tabanlı yaklaşımlar gibi çeşitli teknolojileri içermektedir (Bonanno vd., 2023; Liao vd., 2023; Nayak ve Das, 2020; Sarsak, 2020; Knight vd., 2015; Gazendam vd., 2022). Bu sistemler, hastaya özgü tedavi planlarının oluşturulmasına olanak tanırken, yüksek tekrar, geri bildirim ve aktif katılım gibi motor öğrenmenin temel bileşenlerini destekleyerek rehabilitasyon süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır (Bonanno vd., 2023; Gazendam vd., 2022).

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının fizyoterapi alanında kullanımı bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Veri güvenliği, etik sorunlar, algoritmik önyargılar ve klinik geçerlilik gibi konular bu teknolojilerin yaygın ve güvenli kullanımını etkileyen önemli faktörlerdir (Tüfekçi, 2024). Ayrıca yüksek maliyet, teknolojik sistemlerin her hasta grubuna tam uyum sağlayamaması ve manuel fizyoterapi uygulamalarının yerini tamamen alamaması gibi sınırlılıklar da göz önünde bulundurulmalıdır (Tüfekçi, 2024).

Sonuç olarak, yapay zekâ fizyoterapi ve rehabilitasyon alanında önemli fırsatlar sunan, ancak dikkatli ve bilinçli bir şekilde entegre edilmesi gereken bir teknolojidir. Rehabilitasyona erişimi kolaylaştırması, tedavi sürekliliğini desteklemesi ve objektif değerlendirme imkânı sunması gibi avantajları göz önünde bulundurulduğunda, yapay zekânın bu alanda önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Pattanshetty ve Khan, 2022; Rasa, 2024). Bu bölümde, yapay zekâ teknolojilerinin fizyoterapi ve rehabilitasyon alanındaki uygulamaları, sağladığı klinik katkılar ve karşılaşılan sınırlılıklar ele alınacaktır.

2.Genel Bilgiler

2.1.Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Yapay Zekâ Yaklaşımı

Yapay zekâ uygulamalarının sağlık alanındaki gelişimi incelendiğinde, ilk dönemlerde daha çok kural tabanlı uzman sistemlerin kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu sistemlerin sınırlı esneklik göstermesi ve karmaşık verileri analiz etmede yetersiz kalması, veri odaklı yaklaşımların gelişmesine zemin hazırlamıştır. Bu noktada yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin öğrenme ve bilgi işleme mekanizmalarından esinlenerek geliştirilen modeller olarak yapay zekâ uygulamalarında önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur (Helmstaedter ve

ark., 2013). Özellikle artan hesaplama gücü ile birlikte YSA'lar, rehabilitasyon alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Grossi, 2011; Ghwanmeh vd., 2013).

Yapay sinir ağları, öğrenme, geçmiş bilgileri hatırlama ve veriler arasında ilişki kurarak çıkarım yapma gibi bilişsel süreçleri taklit edebilme yetenekleri sayesinde, elde edilen verilerden yeni bilgiler üretebilen uyarlanabilir sistemlerdir (Öztürk ve Şahin, 2018). Bu sistemler, belirli bir hedef doğrultusunda iç yapılarını değiştirebilmekte ve özellikle karmaşık problemlerin çözümünde etkili sonuçlar sunabilmektedir (LeCun vd., 2015). Eksik verilerle çalışabilme ve yeni durumlara uyum sağlayabilme özellikleri, YSA'ları rehabilitasyon alanında güçlü bir araç haline getirmiştir (Grossi, 2011).

Rehabilitasyon uygulamalarında YSA'ların kullanımı; tanı koyma, sınıflandırma, sonuç tahmini ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır (Ghwanmeh vd., 2013). Özellikle nörolojik hastalıklarda görülen yürüme bozukluklarının sınıflandırılması, denge problemlerinin belirlenmesi ve tedavi sonrası fonksiyonel sonuçların öngörülmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Moon vd., 2020).

Yapay zekâ destekli sistemlerin sunduğu önemli avantajlardan biri, tedavi sürecinde hastanın gelecekte ulaşabileceği fonksiyonel düzeyin tahmin edilebilmesidir. Bu durum, klinik karar verme süreçlerini destekleyerek daha etkili ve bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Kara, 2019). Ayrıca oyun temelli rehabilitasyon ve sanal gerçeklik uygulamaları, hastaların tedaviye katılımını artıran yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Krebs vd., 2007; Taracı, 2015).

Giyilebilir teknolojiler ve sensör tabanlı sistemler, rehabilitasyon süreçlerinde veri toplama ve analiz imkânını genişleterek tedavi planlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Kara vd., 2020). Bunun yanında akıllı çevre sistemleri, bireylerin bağımsız yaşamlarını destekleyerek rehabilitasyon hizmetlerinin ev ortamına taşınmasına olanak tanımaktadır (Geman vd., 2015).

2.2.Klinik Süreçte Yapay Zekâ Kullanımı

2.2.1.Değerlendirme Aşaması

Yapay zekâ, fizyoterapi değerlendirme süreçlerinde giderek daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır (Aggarwal ve Ganvir, 2021). Fizyoterapistlerin klinik değerlendirmede sıklıkla başvurduğu gözleme dayalı çıkarımlar; yürüyüş paternleri, yüz ifadeleri ve vücut dili gibi birçok parametreyi içermektedir. Bu bağlamda yapay zekâ destekli video analiz sistemleri, geleneksel gözleme dayalı değerlendirmeleri daha objektif hale getirme potansiyeline sahiptir. Makine öğrenimi ile desteklenen video analizindeki gelişmeler, bilgisayarların Parkinson

hastalığı ve osteoartrit gibi durumlarda ortaya çıkan yürüyüş anormalliklerini ve altta yatan patolojileri otomatik olarak tespit edebildiğini göstermektedir (Kidziński vd., 2019).

Sürekli izleme ve veri toplama imkânı sunan yapay zekâ destekli sistemler, fizyoterapi değerlendirme süreçlerine dinamik bir boyut kazandırmaktadır. Özellikle akıllı telefonlar, giyilebilir cihazlar ve sensör teknolojileri aracılığıyla elde edilen veriler sayesinde bireylerin hareket özellikleri, fiziksel aktivite düzeyleri ve fizyolojik parametreleri anlık olarak takip edilebilmektedir (Pedersen ve Iliadis, 2020). Bu sayede, düşme riski yüksek bireylerin erken dönemde belirlenmesi mümkün olmakta; ayrıca yürüyüş paternlerinde meydana gelen değişiklikler izlenerek klinik açıdan önemli bilgiler sağlık profesyonellerine aktarılabilir. Ancak bu sistemlerin klinik geçerliliğinin ortaya konulabilmesi için daha kapsamlı bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Pedersen ve Iliadis, 2020).

Yapay zekânın bir diğer önemli bileşeni olan doğal dil işleme (NLP), bilgisayarların verileri anlamlandırma, analiz etme ve yeniden üretme yeteneklerini geliştirmektedir. Bu sayede hasta-klinisyen görüşmeleri, hasta bilgi formları, klinik raporlar, tedavi planları ve prognoz değerlendirmeleri gibi dokümanlar otomatik olarak oluşturulabilmektedir (Aggarwal ve Ganvir, 2021).

Rehabilitasyon süreçlerinde yapay zekâ destekli mobil uygulamaların kullanımı da önemli bir yer tutmaktadır. Bireylerin akıllı telefon, tablet ve bilgisayar gibi cihazları günlük yaşamlarında aktif olarak kullanmaları, kendi yaşam ortamlarında veri toplanmasına ve geniş veri tabanlarının oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Bu durum, hasta takibi ve değerlendirme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca mobil uygulamalar aracılığıyla postür analizi, eklem hareket açıklığı ölçümü, fiziksel aktivite takibi ve egzersiz eğitimi gibi birçok değerlendirme yapılabilmektedir (Tarakçı, 2021).

2.2.2. Tedavi Planlama

Yapay zekâ, rehabilitasyon sürecinde tedavi planlamasını destekleyen önemli bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenimi ve kestirimsel modelleme yaklaşımları sayesinde, hastaya ait klinik veriler kullanılarak hastalığın seyri ve tedavi sonuçları öngörülebilmektedir (Chartered Society of Physiotherapy). Bu durum, özellikle inme gibi nörolojik hastalıklarda iyileşme düzeyinin tahmin edilmesini mümkün kılarak bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Kakkad ve Rathod, 2020; Ramanandi, 2021).

Yapay sinir ağları ve veri temelli algoritmalar, hastaların fonksiyonel durumlarını analiz ederek klinisyenlere daha doğru ve hızlı karar verme imkânı

sunmaktadır. Bu sistemler, büyük veri setlerini işleyerek klinik karar verme süreçlerini desteklemekte ve daha etkili rehabilitasyon stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (D'Amario vd., 2020).

2.2.3.Tedavi Süreci ve Takip

Yapay zekâ, rehabilitasyon sürecinde uygulanan tedavilerin etkinliğini artırmak ve hasta takibini kolaylaştırmak amacıyla çeşitli teknolojilerle entegre edilmektedir. Robot destekli rehabilitasyon sistemleri, yüksek tekrar ve yoğunluk sağlayarak motor öğrenmeyi desteklemekte ve fonksiyonel iyileşmeye katkı sağlamaktadır (Duret vd., 2019; Kwakkel vd., 2004).

Beyin-bilgisayar arayüzleri, beyin sinyallerini analiz ederek hareket kontrolünü desteklemekte ve özellikle nörolojik hastalarda rehabilitasyon sürecine katkı sağlamaktadır (Kübler ve Birbaumer, 2008; Shih vd., 2012). Bu sistemler, fonksiyonel elektrik stimülasyonu gibi teknolojilerle birlikte kullanıldığında motor iyileşmeyi destekleyebilmektedir.

Telerehabilitasyon uygulamaları, hastaların ev ortamında tedaviye devam etmesine olanak tanırken, mobil uygulamalar ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla hasta verilerinin sürekli izlenmesini mümkün kılmaktadır (Akalın ve Demirbaş, 2022; Dorsey ve Topol, 2016; Peretti vd., 2017). Bu sistemler, tedaviye uyumu artırmakta ve klinisyenlere uzaktan takip imkânı sunmaktadır.

Ayrıca sanal gerçeklik ve oyun temelli rehabilitasyon uygulamaları, hastaların motivasyonunu artırarak tedavi süreçlerine aktif katılımını desteklemektedir (Laver vd., 2012; Lohse vd., 2014). Bunun yanı sıra yapay zekâ destekli uygulamalar ve chatbot sistemleri, hastaların psikolojik durumlarını destekleyerek tedavi sürekliliğine katkı sağlamaktadır (Godse vd., 2019).

2.3.Fizyoterapiye Özgü Teknolojik Uygulamalar

2.3.1 Yapay Zekâ Destekli Hareket Analizi

Yapay zekâ destekli hareket analizi sistemleri, bireylerin hareket paternlerini objektif ve kantitatif olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Markerless motion capture teknolojileri sayesinde, vücuda sensör yerleştirilmeden yalnızca kamera görüntüleri üzerinden analiz yapılabilmektedir. Derin öğrenme algoritmaları ile geliştirilen bu sistemler, yürüme analizi ve hareket bozukluklarının otomatik olarak tespit edilmesini mümkün kılmaktadır (Kidziński vd., 2019; Mathis vd., 2018).

Kamera tabanlı sistemlerin klinik ortamın yanı sıra ev ortamında da kullanılabilmesi, rehabilitasyon süreçlerinin sürekliliğini desteklemekte ve uzaktan değerlendirme imkânı sunmaktadır (Stenum vd., 2021)

2.3.2.Giyilebilir Teknolojiler

Giyilebilir teknolojiler, rehabilitasyon süreçlerinde sürekli veri toplama ve analiz imkânı sunarak değerlendirme ve takip süreçlerini güçlendirmektedir. IMU sensörleri aracılığıyla hareket analizi yapılabilirken, EMG tabanlı sistemler kas aktivitesinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Hospodarsky ve Tsvyakh, 2019).

Bu teknolojiler sayesinde hastaların günlük yaşam aktiviteleri sırasında elde edilen veriler analiz edilmekte ve tedavi süreçleri daha dinamik hale gelmektedir. Sürekli veri takibi, hastanın ilerlemesinin objektif olarak değerlendirilmesini ve erken müdahale imkânını artırmaktadır (Rasa, 2024).

2.3.3.Robotik Rehabilitasyon

Robotik rehabilitasyon sistemleri, yüksek tekrar sayısı ve kontrollü egzersiz imkânı sunarak motor öğrenmeyi desteklemektedir. Özellikle inme sonrası rehabilitasyonda robot destekli terapilerin motor fonksiyonları iyileştirdiği gösterilmiştir (Kwakkel vd., 2008; Duret vd., 2019).

Dış iskelet (ekzoskeleton) teknolojileri, yürüme fonksiyonunun yeniden kazandırılmasında önemli rol oynarken, yapay zekâ destekli adaptif sistemler hastanın performansına göre egzersiz zorluk seviyesini otomatik olarak ayarlayabilmektedir (Dollar ve Herr, 2008).

Bu kapsamda ekzoskeleton sistemleri, bireyin uzuv hareketlerini destekleyerek kas gücü ve dayanıklılığın artırılmasına katkı sağlamaktadır (Lee vd., 2020). Uç efektörlü robotlar ise hastalarla genellikle el veya ayak gibi tek bir temas noktası üzerinden etkileşime girerek görev odaklı hareketlerde yüksek hassasiyet sunmaktadır (Paolucci vd., 2021). Bunun yanında otonom mobil robotlar, hastaların çevre ile etkileşimini artırarak günlük yaşam aktivitelerinin simülasyonuna olanak tanımaktadır (Gross vd., 2017). Dokunsal geri bildirim sağlayan robotik sistemler, kullanıcıya kuvvet hissi sunarak duyu geri bildirimini artırmakta ve özellikle ince motor becerilerin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Pareek vd., 2018). Yürüme eğitimi için geliştirilen robotik sistemler, tekrarlayan ve kontrollü egzersizler aracılığıyla hastaların yürüyüş paternlerini iyileştirmeyi hedeflemektedir (Kim, 2019). Ayrıca üst ve alt ekstremiteye yönelik robotlar, kol, el ve bacak fonksiyonlarının yeniden kazanılmasına yönelik hedefe özgü rehabilitasyon imkânı sunmaktadır (Aprile vd., 2020; Bhardwaj vd., 2021). Bununla birlikte, sosyal etkileşim odaklı robotlar hastanın motivasyonunu artırırken, bilişsel eğitim robotları fiziksel ve bilişsel rehabilitasyonu eş zamanlı olarak desteklemektedir (Calderita vd., 2014; Park vd., 2021). Tüm bu sistemlerin yapay zeka ile desteklenmesi kişiye özel rehabilitasyonu kolaylaştırıcı bir etki yaratmaktadır.

2.3.4.Telerehabilitasyon

Telerehabilitasyon, rehabilitasyon hizmetlerinin uzaktan sunulmasını sağlayan önemli bir yaklaşımdır. Bu sistemler sayesinde hastalar ev ortamında değerlendirme, tedavi ve takip hizmetlerinden yararlanabilmektedir (Dorsey ve Topol, 2016; Peretti vd., 2017).

Yapay zekâ destekli sistemler, hastaların performans verilerini analiz ederek klinisyenlere uzaktan karar destek imkânı sunmaktadır. Telerehabilitasyon uygulamalarının gelişmesiyle birlikte, uzaktan kontrol edilebilen robotik sistemler de rehabilitasyon süreçlerine entegre edilmeye başlanmıştır. Bu robotlar sayesinde terapistler hastaları uzaktan yönlendirebilmekte ve tedavi sürecini gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir (Khan vd., 2024).

2.3.5.Mobil Sağlık Uygulamaları

Mobil sağlık uygulamaları, rehabilitasyon süreçlerinde veri toplama, egzersiz takibi ve hasta eğitimi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı telefon ve tablet tabanlı uygulamalar sayesinde bireylerin günlük yaşam verileri kayıt altına alınabilmekte ve bu veriler yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilebilmektedir (Knight vd., 2015; Akalın ve Demirbaş, 2022).

Bu uygulamalar, postür analizi, eklem hareket açıklığı ölçümü ve fiziksel aktivite takibi gibi değerlendirmeleri mümkün kılarak hasta takibini kolaylaştırmakta ve tedaviye uyumu artırmaktadır (Rasa, 2024).

2.3.6.Sanal Gerçeklik ve Oyun Tabanlı Rehabilitasyon

Sanal gerçeklik (SG) ve artırılmış gerçeklik (AG) tabanlı sistemler, rehabilitasyon süreçlerinde yenilikçi ve motive edici yaklaşımlar sunmaktadır. Bu teknolojiler, hastaların sanal ortamlarda gerçek yaşam aktivitelerini simüle ederek egzersiz yapmalarına olanak tanımaktadır (Mocan vd., 2021).

SG tabanlı rehabilitasyon, özellikle nörolojik ve ortopedik hastalarda motor öğrenmeyi desteklemekte, tedaviye katılımı artırmakta ve egzersiz süreçlerini daha eğlenceli hale getirmektedir (Laver vd., 2012; Lohse vd., 2014). Ayrıca oyunlaştırma yaklaşımı ile geliştirilen robotik rehabilitasyon uygulamaları, terapi süreçlerini daha eğlenceli hale getirerek hastaların motivasyonunu artırmakta ve tedaviye uyumu güçlendirmektedir (Bouteraa vd., 2019). SG ve AG uygulamalarının da son dönemde yapay zeka ile desteklenerek bireye özgü uygulamalar ile tedavi etkinliğini artırıcı etkileri görülmektedir.

3.Sonuç ve Öneriler

3.1.Yapay Zekânın Avantajları

Sağlık hizmetleri, insan yaşamını doğrudan etkilemesi nedeniyle tüm ülkeler için kritik bir öneme sahiptir. Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte sağlık sektörü de önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri olan yapay zekâ, sağlık hizmetlerinde akıllı çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Akalin ve Veranyurt, 2020).

Yapay zekâ sistemleri; tanı, tedavi ve sınıflandırma gibi birçok aşamada kullanılabilen ve özellikle insan-bilgisayar etkileşiminin bulunduğu süreçlerde etkin bir rol üstlenmektedir (Russell ve Norvig, 2010; Nicolas ve Gil, 2012). Rehabilitasyon alanında ise yapay zekâ; beyin-bilgisayar arayüzleri, nöroprotezler ve klinik karar destek sistemleri gibi uygulamalarla önemli katkılar sunmaktadır (Akalin ve Demirbaş, 2022).

Makine öğrenmesi temelli sistemlerin hasta verilerini analiz ederek klinik karar süreçlerini desteklemesi, tedavi sürecinin daha doğru ve hızlı planlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca denge, yürüme, günlük yaşam aktiviteleri ve ekstremiteler fonksiyonları gibi alanlarda elde edilen verilerin analiz edilmesi, rehabilitasyon sürecinin izlenmesini ve ilerlemenin tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır (Köse, 2018).

Bununla birlikte, yapay zekâ destekli sistemler; giyilebilir teknolojiler, sanal gerçeklik uygulamaları ve robotik sistemler aracılığıyla bireye özgü tedavi planlarının oluşturulmasını desteklemekte, tedaviye uyumu artırmakta ve rehabilitasyon sürecinde motivasyonu güçlendirmektedir (Akalin ve Demirbaş, 2022).

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, yapay zekâ uygulamaları hem sağlık kurumları hem de hastalar için maliyet etkin çözümler sunmaktadır. Özellikle telerehabilitasyon uygulamaları sayesinde mekân ve zaman kısıtlılıkları ortadan kalkmakta, uzaktan takip ve tedavi süreçleri mümkün hale gelmektedir.

3.2.Yapay Zekânın Dezavantajları ve Etik Sorunlar

Yapay zekâ uygulamalarının rehabilitasyon alanında yaygınlaşmasıyla birlikte, bazı önemli sınırlılıklar ve etik sorunlar da gündeme gelmektedir. Özellikle hasta-terapist etkileşiminin azalması ve insan dokunuşunun sınırlı kalması, fizyoterapi uygulamalarında iletişim açısından önemli bir dezavantaj oluşturabilmektedir. Bununla birlikte hem hastaların hem de sağlık profesyonellerinin teknolojiye aşırı bağımlı hale gelmesi, klinik karar süreçlerinde insan faktörünün geri planda kalmasına neden olabilmektedir.

Yapay zekâ sistemlerinin klinik ve araştırma ortamlarında kullanımı, veri güvenliği, veri depolama ve erişim gibi önemli etik sorunları da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, sistemlere hatalı veya eksik veri girilmesi durumunda elde edilen sonuçların doğruluğu etkilenebilmekte, bu da klinik uygulamalarda risk oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra, herhangi bir olumsuz sonuç durumunda sorumluluğun kimde olacağı konusu da tartışmalı bir alan olarak öne çıkmaktadır (Shortliffe ve Sepúlveda, 2018).

Algoritma temelli yapay zekâ sistemleri, beslendikleri veri setlerine bağlı olarak önyargı içerebilmekte ve bu durum bazı hasta grupları için eşitsizliklere yol açabilmektedir. Özellikle kültürel ve toplumsal farklılıkların yeterince temsil edilmediği veri setleri, sistemlerin genellenebilirliğini sınırlayabilmektedir (Shortliffe ve Sepúlveda, 2018). Ayrıca yapay zekâ sistemlerinin karar verme süreçlerinin çoğu zaman şeffaf olmaması, elde edilen sonuçların klinik olarak açıklanmasını zorlaştırmaktadır (Rowe vd., 2021).

Bununla birlikte, yapay zekânın rehabilitasyon alanında etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için disiplinlerarası iş birliğinin artırılması, veri standartlarının geliştirilmesi ve etik çerçevelerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Veri gizliliği, güvenliği ve hasta özerkliği gibi konuların dikkate alınması, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır (Nascimento vd., 2020; Bekbolatova vd., 2024).

KAYNAKÇA

- Aggarwal, R., & Ganvir, S. S. (2021). Artificial intelligence in physiotherapy. *Physiotherapy - The Journal of Indian Association of Physiotherapists*, 15(2), 55–57. https://doi.org/10.4103/pjiap.pjiap_3_22
- Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2020). Sağlıkta dijitalleşme ve yapay zeka. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 2(2), 128–137.
- Akalın, B., & Demirbaş, M. B. (2022). Rehabilitasyon hizmetlerinde yapay zekâ uygulamaları. *Acta Infologica*, 6(2), 141–161. <https://doi.org/10.26650/acin.1068576>
- Aprile, I., Germanotta, M., Cruciani, A., Loreti, S., Pecchioli, C., Cecchi, F., Montesano, A., Galeri, S., Diverio, M., Falsini, C., Speranza, G., Langone, E., Papadopoulou, D., Padua, L., Carrozza, M. C., & FDG Robotic Rehabilitation Group (2020). Upper Limb Robotic Rehabilitation After Stroke: A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *Journal of neurologic physical therapy : JNPT*, 44(1), 3–14. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000295>
- Bekbolatova, M., Mayer, J., Ong, C. W., & Toma, M. (2024). Transformative potential of AI in healthcare: Definitions, applications, and navigating the ethical landscape and public perspectives. *Healthcare*, 12(2), 125. <https://doi.org/10.3390/healthcare12020125>
- Bhardwaj, S., Khan, A. A., & Muzammil, M. (2021). Lower limb rehabilitation robotics: The current understanding and technology. *Work*, 69(3), 775–793.
- Bonanno, L., Cannuli, A., Pignolo, L., Marino, S., Quartarone, A., Calabrò, R. S., & Cerasa, A. (2023). Neural plasticity changes induced by motor robotic rehabilitation in stroke patients: The contribution of functional neuroimaging. *Bioengineering*, 10(8), 990.
- Bouteraa, Y., Abdallah, I. B., & Elmogy, A. M. (2019). Training of hand rehabilitation using low-cost exoskeleton and vision-based game interface. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 96(1), 31–47.
- Calderita, L. V., Manso, L. J., Bustos, P., Suárez-Mejías, C., Fernández, F., & Bandera, A. (2014). THERAPIST: Towards an autonomous socially interactive robot for motor and neurorehabilitation therapies for children. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 1(1), e3151.
- Chartered Society of Physiotherapy. (n.d.). Artificial intelligence and machine learning. Retrieved from <https://www.csp.org.uk/professional-clinical/digitalphysiotherapy/artificial-intelligence-machine-learning>

- D'Amario, D., Canonico, F., Rodolico, D., et al. (2020). Telemedicine, artificial intelligence and humanisation of clinical pathways in heart failure management: Back to the future and beyond. *Cardiac Failure Review*, 6.
- Dollar, A. M., & Herr, H. (2008). Lower extremity exoskeletons and active orthoses: Challenges and state-of-the-art. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(1), 144–158.
- Dorsey, E. R., & Topol, E. J. (2016). State of telehealth. *New England Journal of Medicine*, 375(2), 154–161. <https://doi.org/10.1056/nejmra1601705>
- Duret, C., Grosmaire, A. G., & Krebs, H. I. (2019). Robot-assisted therapy in upper extremity hemiparesis: Overview of an evidence-based approach. *Frontiers in Neurology*, 10, 412. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00412>
- Gazendam, A., Zhu, M., Chang, Y., Phillips, S., & Bhandari, M. (2022). Virtual reality rehabilitation following total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(8), 2548–2555.
- Geman, O., Sanei, S., Costin, H., & Eftaxias, K. (2015). Challenges and trends in ambient assisted living and intelligent tools for disabled and elderly people. *IWCIM – Computational Intelligence for Multimedia Understanding*, 1–4.
- Ghwanmeh, S., Mohammad, A., & Al-Ibrahim, A. (2013). Innovative artificial neural networks-based decision support system for heart diseases diagnosis. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 5(3), 176–183. <https://doi.org/10.4236/jilsa.2013.53019>
- Godse, S. P., Singh, S., Khule, S., Yadav, V., & Wakhare, S. (2019). Musculoskeletal physiotherapy using artificial intelligence and machine learning. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 4(11), 592–598.
- Gross, H.-M., Meyer, S., Scheidig, A., Eisenbach, M., Mueller, S., Trinh, T. Q., Wengefeld, T., Bley, A., Martin, C., & Fricke, C. (2017). Mobile robot companion for walking training of stroke patients in clinical post-stroke rehabilitation. In *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 1028–1035). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989124>
- Grossi, E. (2011). Artificial neural networks and predictive medicine: A revolutionary paradigm shift. In *Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications*. <https://doi.org/10.5772/15810>
- Helmstaedter, M., Briggman, K. L., Turaga, S. C., Jain, V., Seung, H. S., & Denk, W. (2013). Connectomic reconstruction of the inner plexiform layer in the

- mouse retina. *Nature*, 500(7461), 168–174. <https://doi.org/10.1038/nature12346>
- Hospodarskyy, A., & Tsvyakh, A. (2019). An application of artificial intelligence for telerehabilitation of patients with injuries of the lower extremities. *Health Systems and Policy Research*, 7(4), 11–12.
- Kakkad, A. D., & Rathod, P. V. (2020). A study to find out strongest predictive factor for functional outcome after stroke: An exploratory study. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 11(2), 582–587.
- Kaplan, M., Çakar, F., & Bingöl, H. (2024). Sağlık alanında yapay zekanın kullanımı: Derleme. *Muş Alparslan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(3), 75–85.
- Kara, G. (2019). *Hemiparetik bireylerde denge düzeyinin belirlenmesi: Yapay sinir ağları uygulaması* (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi).
- Kara, G., Altuğ, F., Kavaklıoğlu, K., & Cavlak, U. (2020). Nörolojik rehabilitasyonda yapay sinir ağı uygulamaları. *Cukurova Medical Journal*, 45(4), 1844–1846.
- Khan, M. N., Altalbe, A., Naseer, F., & Awais, Q. (2024). Telehealth-Enabled In-Home Elbow Rehabilitation for Brachial Plexus Injuries Using Deep-Reinforcement-Learning-Assisted Telepresence Robots. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(4), 1273. <https://doi.org/10.3390/s24041273>
- Kidziński, Ł., Delp, S. L., & Schwartz, M. H. (2019). Automatic real-time gait event detection in children using deep neural networks. *PLOS ONE*, 14(1), e0211466.
- Kim, Y.-H. (2019). Robotic assisted rehabilitation therapy for enhancing gait and motor function after stroke. *Precision and Future Medicine*, 3(3), 103–115.
- Knight, E., Stuckey, M. I., Prapavessis, H., & Petrella, R. J. (2015). Public health guidelines for physical activity: Is there an app for that? A review of Android and Apple app stores. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(2), e43.
- Köse, B. (2018). Türkiye’de ve dünyada mesleki rehabilitasyon. *Türkiye Klinikleri Journal of Psychology Special Topics*, 3(1), 30–41.
- Krebs, H. I., Volpe, B. T., Williams, D., Celestino, J., Charles, S. K., Lynch, D., & Hogan, N. (2007). Robot-aided neurorehabilitation: A robot for wrist rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(3), 327–335. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2007.903899>
- Kübler, A., & Birbaumer, N. (2008). Brain-computer interfaces and communication in paralysis: Extinction of goal-directed thinking in completely paralysed patients? *Clinical Neurophysiology*, 119(11), 2658–2666. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.06.019>

- Kwakkel, G., Kollen, B. J., & Krebs, H. I. (2008). Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: A systematic review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *22*(2), 111–121.
- Kwakkel, G., Van Peppen, R., Wagenaar, R. C., Dauphinee, S. W., Richards, C., Ashburn, A., Miller, K., Lincoln, N., Partridge, C., Wellwood, I., & Langhorne, P. (2004). Effects of augmented exercise therapy time after stroke: A meta-analysis. *Stroke*, *35*(11), 2529–2536. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000143153.76460.7d>
- Laver, K., George, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., & Crotty, M. (2012). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Stroke*, *43*(2). <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.642439>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lee, S. H., Park, G., Cho, D. Y., Kim, H. Y., Lee, J.-Y., Kim, S., Park, S.-B., & Shin, J.-H. (2020). Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment. *Scientific Reports*, *10*(1), 1806. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58630-2>
- Liao, W., Li, J., Zhang, X., & Li, C. (2023). Motor imagery brain–computer interface rehabilitation system enhances upper limb performance and improves brain activity in stroke patients: A clinical study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *17*, 1117670.
- Lohse, K. R., Hilderman, C. G. E., Cheung, K. L., Tatla, S., & Van der Loos, H. F. M. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke: A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PLOS ONE*, *9*(3), e93318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318>
- Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., Abe, T., Murthy, V. N., Mathis, M. W., & Bethge, M. (2018). DeepLabCut: Markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*, *21*(9), 1281–1289.
- Mocan, M., Vlaicu, S. I., Farcaş, A. D., Feier, H., Dragan, S., & Mocan, B. (2021). Cardiac Rehabilitation Early after Sternotomy Using New Assistive VR-Enhanced Robotic Exoskeleton-Study Protocol for a Randomised Controlled Trial. *International journal of environmental research and public health*, *18*(22), 11922. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211922>
- Moon, S., Ahmadnezhad, P., Song, H. J., Thompson, J., Kipp, K., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2020). Artificial neural networks in

- neurorehabilitation: A scoping review. *NeuroRehabilitation*, 46(3), 259–269. <https://doi.org/10.3233/NRE-192996>
- Nascimento, L. M., Bonfati, L. V., Freitas, M. L., Mendes Junior, J. J., Siqueira, H. V., & Stevan, S. L., Jr. (2020). Sensors and systems for physical rehabilitation and health monitoring: A review. *Sensors*, 20(15), 4063. <https://doi.org/10.3390/s20154063>
- Nayak, S., & Das, R. K. (2020). Application of artificial intelligence (AI) in prosthetic and orthotic rehabilitation. In *Service Robotics*. IntechOpen.
- Nicolas, L. F., & Gil, J. G. (2012). Brain-computer interfaces: A review. *Sensors*, 12(2), 1211–1279. <https://doi.org/10.3390/s120201211>
- Öztürk, K., & Şahin, M. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25–36.
- Paolucci, T., Agostini, F., Mangone, M., Bernetti, A., Pezzi, L., Liotti, V., Recubini, E., Cantarella, C., Bellomo, R. G., D'Aurizio, C., & Saggini, R. (2021). Robotic rehabilitation for end-effector device and botulinum toxin in upper limb rehabilitation in chronic post-stroke patients: an integrated rehabilitative approach. *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 42(12), 5219–5229. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05185-3>
- Pareek, S., Chembrammal, P., & Kesavadas, T. (2018). Development and evaluation of haptics-based rehabilitation system. In *Proceedings of the International Symposium on Medical Robotics (ISMR)* (Atlanta, GA, USA). IEEE. doi: 10.1109/ISMR.2018.8333298
- Park, E.-A., Jung, A.-R., & Lee, K.-A. (2021). The humanoid robot Sil-Bot in a cognitive training program for community-dwelling elderly people with mild cognitive impairment during the COVID-19 pandemic: A randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 8198.
- Pattanshetty, R. B., & Khan, S. (2022). A shifting paradigm from human intelligence to artificial intelligence in rehabilitation: A descriptive review. *Indian Journal of Physical Therapy and Research*, 4(1), 8–13.
- Pedersen, I., & Iliadis, A. (Eds.). (2020). *Embodied computing: Wearables, implantables, embeddables, ingestibles*. MIT Press.
- Peretti, A., Amenta, F., Tayebati, S. K., Nittari, G., & Mahdi, S. S. (2017). Telerehabilitation: Review of the state-of-the-art and areas of application. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 4(2), 1–9. <https://doi.org/10.2196/rehab.7511>

- Ramanandi, V. H. (2021). Role and scope of artificial intelligence in physiotherapy: A scientific review of literature. *International Journal of Advanced Scientific Research*, 6(1), 11–14.
- Rasa, A. R. (2024). Artificial intelligence and its revolutionary role in physical and mental rehabilitation: A review of recent advancements. *BioMed Research International*, 2024, 9554590. <https://doi.org/10.1155/2024/9554590>
- Rowe, M., Nicholls, D. A., & Shaw, J. (2021). How to replace a physiotherapist: Artificial intelligence and the redistribution of expertise. *Physiotherapy Theory and Practice*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1934924>
- Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: A modern approach*.
- Sarsak, H. I. (2020). Telerehabilitation services: A successful paradigm for occupational therapy clinical services? *International Physical Medicine & Rehabilitation Journal*, 5(2), 93-98.
- Shih, J. J., Krusienski, D. J., & Wolpaw, J. R. (2012). Brain-computer interfaces in medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, 87(3), 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2011.12.008>
- Shortliffe, E. H., & Sepúlveda, M. J. (2018). Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *JAMA*, 320(21), 2199–2200.
- Stenum, J., Rossi, C., & Roemmich, R. T. (2021). Two-dimensional video-based analysis of human gait using pose estimation. *PLoS Computational Biology*, 17(4), e1008935.
- Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bundele, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 146, 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>
- Tarakçı, D. (2015). Pediatrik rehabilitasyonda oyun konsolları ile sanal gerçeklik uygulamaları: Türkiye klinikleri physiotherapy and rehabilitation-special topics, 1(1), 30-34.
- Tarakçı, D. (2021, June 3). Rehabilitasyonda yapay zekâ. *SD Platform*. <https://www.sdplatform.com/Dergi/1420/Rehabilitasyondayapay-zek.aspx>
- Tüfekçi, B. (2024). The use of artificial intelligence in physiotherapy. *Experimental and Applied Medical Science*, 5(2), 46–48.

13. Bölüm

Diyaliz Hizmetlerinde Yapay Zekâ Destekli Hasta İzleme, Bakım Kalitesi ve Etik

Nejla BİÇER*

1. Giriş

Günümüzde değişen ve gelişmeye hızla devam eden sağlık hizmetlerinde dijital dönüşümün hız kazanmasıyla beraber, yapay zekâ teknolojileri hasta bakım süreçlerinde giderek daha merkezi bir rol üstlenmektedir. Özellikle de kronik hastalıkların önlenmesinde ve yönetilmesinde, büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve klinik karar destek sistemleri gibi yapay zeka tabanlı uygulamalar, sağlık profesyonellerine önemli avantajlar sunmaktadır (Topol, 2019). Bu bağlamda, yaşam boyu tedavi gerektiren kronik böbrek yetmezliği hastaları için kritik bir öneme sahip olan diyaliz hizmetleri, yapay zekâ uygulamalarının etkili biçimde kullanılabileceği alanların başında gelmektedir.

Diyaliz hastaları, hemodinamik dengesizlikler, elektrolit bozuklukları ve kardiyovasküler komplikasyonlar gibi yüksek riskli klinik durumlarla karşı karşıya kalmaktadırlar (Ayaydın, 2024). Bu sebeple hastaların sürekli ve hassas bir şekilde izlenmesi gereklidir. Geleneksel izlem yöntemleri çoğunlukla periyodik ölçümlere dayanmakta olup, ani gelişen komplikasyonların erken tespitinde yetersiz kalabilmektedir. Yapay zekâ destekli hasta izleme sistemleri ise gerçek zamanlı veri analizi yapabilme kapasitesi sayesinde, olası komplikasyonları önceden tahmin edebilmekte ve erken müdahaleye imkân sunabilmektedir (Shillan vd., 2019).

Günümüzde diyaliz alanında geliştirilen yapay zekâ uygulamaları; intradiyalitik hipotansiyonun öngörülmesi, sıvı dengesinin optimize edilmesi ve hasta bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulması gibi kritik klinik süreçlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Larkin vd., 2017). Ayrıca, giyilebilir teknolojiler ve uzaktan hasta izleme sistemleri ile entegre edilen yapay zekâ çözümleri, hastaların sadece diyaliz merkezinde değil, günlük yaşamları sırasında da takip edilmesine imkan tanımaktadır. Bu gelişmeler, hasta bakımında sürekliliğin sağlanması ve sağlık hizmetlerinin daha proaktif bir yaklaşımla sunulması açısından önemli bir dönüşüme öncülük etmektedir (Rashidi ve Cook, 2019).

* ORCID: 0009-0000-4926-2325

Aynı zamanda, yapay zekâ teknolojilerinin diyaliz hizmetlerinde kullanımı yalnızca klinik faydalarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda etik, hukuki ve mesleki sorumluluklar açısından da önemli tartışmaları gündeme getirmiştir. Hasta verilerinin gizliliği, algoritmik kararların şeffaflığı, önyargı riski ve sağlık profesyonellerinin rolünde meydana gelen değişimler, bu teknolojilerin uygulanmasında dikkatle ele alınması gereken temel konular arasında yer almaktadır (Morley vd., 2020). Özellikle de hassas sağlık hizmetlerinin işlendiği diyaliz süreçlerinde, veri güvenliği ve hasta mahremiyetinin korunması kritik bir öneme sahiptir.

Ayrıca, yapay zekâ destekli sistemlerin klinik karar alma süreçlerine entegrasyonu, sağlık profesyonellerinin rolünü yeniden tanımlarken insan merkezli bakım anlayışının korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yapay zekâ her ne kadar karar destek aracı olarak önemli katkılar sunsa da, nihai kararın sağlık profesyonellerine ait olması gerektiği ve hasta ile kurulan terapötik ilişkinin teknolojik araçlar tarafından gölgelenmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Floridi vd., 2018). Sonuç olarak, diyaliz hizmetlerinde yapay zekâ destekli hasta izleme sistemleri, bakım kalitesini artırma ve hasta güvenliğini güçlendirme potansiyeline sahip yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin etkin ve etik bir şekilde kullanılabilmesi için, klinik faydaların yanı sıra etik, hukuki ve sosyal boyutların da bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Kronik Böbrek Yetmezliği ve Diyaliz Kavramı

Kronik böbrek yetmezliği, glomerüler filtrasyon hızının azalmasına bağlı olarak böbreklerin sıvı ve elektrolit dengesini sürdürme kapasitesinin yanı sıra metabolik ve endokrin işlevlerinin kalıcı biçimde bozulduğu bir klinik tablo olarak ifade edilmektedir (Tayaz ve Koç, 2020). Kronik böbrek yetmezliği, yalnızca böbrek fonksiyonlarını değil, aynı zamanda kardiyovasküler sistem başta olmak üzere birçok organ sistemini etkileyen sistemik bir hastalık olarak değerlendirilmektedir (Levey vd., 2015).

Kronik böbrek yetmezliğinin başlıca nedenleri arasında diyabetes mellitus, hipertansiyon, glomerülofritler ve polikistik böbrek hastalığı yer almaktadır. Bu hastalık sürecinde böbreklerin sıvı-elektrolit dengesi, asit-baz regülasyonu ve metabolik atıkların uzaklaştırılması gibi temel işlevleri bozulmakta; bunun sonucunda üremi tablosu gelişmektedir (Morton vd., 2017). Hastalığın ilerleyen evrelerinde, özellikle son dönem böbrek yetmezliğinde, yaşamın sürdürülebilmesi için renal replasman tedavilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kronik böbrek yetmezliği, hem küresel düzeyde hem de ülkemizde görülme sıklığı giderek artan önemli bir halk sağlığı sorunu olup, hastalığa bağlı morbidite ve mortalite oranlarının yükselmesine neden olmakta ve bireylerin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Varol ve Sivrikaya, 2018).

Renal replasman tedavileri arasında diyaliz ve böbrek transplantasyonu temel tedavi seçeneklerini oluştururken, diyaliz, böbreklerin yerine geçerek kandaki toksik maddelerin ve fazla sıvının uzaklaştırılmasını sağlayan yapay bir arındırma sürecidir. Diyaliz tedavisi başlıca iki şekilde uygulanmaktadır: hemodiyaliz ve periton diyalizi. Hemodiyaliz, hastanın kanının vücut dışındaki bir makine aracılığıyla filtre edilmesi esasına dayanırken; periton diyalizi, periton zarının yarı geçirgen bir membran olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Gutch ve Stoner, 1975).

Ülkemizde son dönem böbrek yetmezliği hastaları için uygun donör bulmada yaşanan zorluklar, diyaliz tedavisini çoğu zaman kaçınılmaz ve yaygın bir tedavi seçeneği hâline getirmektedir (Gürsoy vd., 2005). Hemodiyaliz, dünya genelinde en yaygın kullanılan diyaliz yöntemi olup, genellikle haftada üç kez ve her seans ortalama dört saat sürecek şekilde uygulanmaktadır. Bu süreçte hastaların hemodinamik stabilitesi, sıvı dengesi ve elektrolit düzeyleri yakından izlenmelidir. Periton diyalizi ise hastaya daha fazla bağımsızlık sağlamak ve evde uygulanabilme avantajı sunmaktadır; ancak enfeksiyon riski ve hasta uyumu gibi faktörler bu yöntemin başarısını etkileyebilmektedir (Brown vd., 2010).

Diyaliz tedavisi, yaşam süresini uzatmakla birlikte hastaların yaşam kalitesi üzerinde önemli etkiler sağlamaktadır. Uzun süren diyaliz uygulamaları, fiziksel yorgunluk, psikolojik stres, sosyal izolasyon ve ekonomik yük gibi çok boyutlu sorunları da beraberinde getirmektedir (Jablonski, 2007). Bu nedenle diyaliz hizmetleri sadece biyomedikal bir süreç olarak değil, aynı zamanda psikososyal boyutları olan bütüncül bir bakım alanı olarak ele alınmalıdır.

2.2. Diyaliz Hizmetlerinde Hasta İzleme Süreçleri

Hasta güvenliği, bireylerin sağlık kuruluşlarına başvurma nedenleri dışında ortaya çıkabilecek ikincil zararlar ve potansiyel risklerden korunmasını sağlamayı amaçlayan temel bir sağlık hizmeti yaklaşımıdır (Karaca ve Arslan, 2014). Diyaliz hizmetlerinde hasta izleme süreçleri, tedavi etkinliğinin sağlanması, komplikasyonların erken tespiti ve hasta güvenliğinin korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Hemodiyaliz ve periton diyalizi uygulamalarında hasta izlemi; tedavi öncesi, tedavi süreci ve tedavi sonrası olmak üzere çok boyutlu bir değerlendirme sürecini kapsamaktadır. Bu süreçte klinik, fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin düzenli olarak takip edilmesi,

bakım kalitesinin temel belirleyicileri arasında yer almaktadır (Mactier vd., 2011).

Diyaliz sürecinde en sık izlenen parametreler arasında kan basıncı, kalp hızı, oksijen satürasyonu, vücut ağırlığı ve sıvı dengesi yer almaktadır (Fujino vd., 2016). Bu parametreler, hastanın hemodinamik durumunu değerlendirmek ve olası komplikasyonları önceden belirlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle intradiyalitik dönemde meydana gelen fizyolojik değişikliklerin yakından izlenmesi, tedaviye bağlı gelişebilecek risklerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Kim vd., 2022). Diyaliz sırasında vital bulguların sürekli veya aralıklı olarak izlenmesi, sağlık profesyonellerinin hastanın genel durumunu değerlendirmesine ve gerekli müdahaleleri zamanında gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır (Peker, 2007).

Diyaliz hastalarında en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biri intradiyalitik hipotansiyondur. Bu durum, diyaliz sırasında kan basıncında ani düşüş ile karakterize olup, organ perfüzyonunun bozulmasına ve ciddi klinik sonuçlara yol açabilmektedir. İntradiyalitik hipotansiyonun görülme sıklığının %20–30 arasında değiştiği bildirilmektedir ve bu durum, sürekli kan basıncı takibinin önemini ortaya koymaktadır (Maurya, 2025). Ayrıca, bu komplikasyonun kardiyovasküler olaylar ve mortalite ile ilişkili olduğu da vurgulanmaktadır (Sayar, 2023).

Geleneksel hasta izleme yöntemleri çoğunlukla belirli aralıklarla yapılan ölçümlere dayanmakta olup, bu durum bazı klinik değişikliklerin gözden kaçmasına neden olabilmektedir. Özellikle aralıklı ölçümlerin, intradiyalitik hipotansiyon gibi durumları yeterince tespit edemediği ve komplikasyonların gerçek sıklığının olduğundan daha düşük değerlendirilebileceği belirtilmektedir (Chaara vd., 2026). Bu bağlamda, son yıllarda sürekli izleme sistemlerinin ve ileri teknolojik yaklaşımların kullanımı önem kazanmıştır (Hajbakri, 2024).

Gelişen teknolojiler sayesinde diyaliz süreçlerinde biyosinyallerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi mümkün hâle gelmiştir. Kan basıncı, elektrokardiyografi verileri ve kan hacmi değişiklikleri gibi parametrelerin sürekli olarak takip edilmesi, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Kolben vd., 2024). Diyaliz hizmetlerinde hasta izlemenin bir diğer önemli boyutu ise interdialitik dönemin değerlendirilmesidir. Özellikle kan basıncının evde ölçülmesi veya ambulatuvar kan basıncı izleme yöntemlerinin kullanılması, hastanın gerçek yaşam koşullarındaki klinik durumunun daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Kim vd., 2023).

Sonuç olarak, diyaliz hizmetlerinde hasta izleme süreçleri, multidisipliner bir yaklaşım gerektiren ve teknolojik gelişmelerle sürekli evrilen bir alan olarak

değerlendirilmektedir. Geleneksel izleme yöntemlerinin yanı sıra sürekli izleme sistemleri ve dijital sağlık teknolojilerinin entegrasyonu, hasta güvenliğinin artırılması ve bakım kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu doğrultuda, hasta izleme süreçlerinin etkin bir şekilde yapılandırılması, diyaliz tedavisinin başarısı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

2.3. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Kavramı

İnsanlık tarihinin gelişim süreci incelendiğinde, belirli görevleri otomatik olarak yerine getirebilen akıllı sistem ve makinelere duyulan ilginin oldukça eski dönemlere dayandığı anlaşılmaktadır (Eroğlu, 2010). Bu ilginin zamanla daha ileri bir düzeye taşınması, Yapay Zekâ olarak tanımlanan kavramın ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Çilhoroz ve Işık, 2021).

Yapay zekâ, insan zekâsını gerektiren öğrenme, problem çözme, karar verme ve örüntü tanıma gibi bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri tarafından gerçekleştirilmesini ifade eden disiplinler arası bir alandır (Russell & Norvig, 2021). Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamaları ise büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri aracılığıyla klinik karar alma süreçlerini desteklemeyi, tanı ve tedavi doğruluğunu artırmayı ve sağlık hizmetlerinin etkinliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır (Topol, 2019).

Son yıllarda sağlık alanında üretilen veri miktarındaki hızlı artış, yapay zekâ teknolojilerinin önemini daha da artırmıştır (Kuşcu Şahin, 2025). Elektronik sağlık kayıtları, görüntüleme verileri, genomik bilgiler ve giyilebilir cihazlardan elde edilen biyosinyaller, yapay zekâ algoritmaları için önemli veri kaynakları oluşturmaktadır. Bu verilerin analiz edilmesi sayesinde hastalıkların erken tanısı, risk sınıflandırması ve bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulması mümkün hâle gelmektedir (Jiang vd., 2017).

Makine öğrenmesi, yapay zekânın en yaygın kullanılan alt alanlarından biri olup, sistemlerin açıkça programlanmadan verilerden öğrenmesini sağlamaktadır (Sinap, 2024). Özellikle denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleri, hastalık tahmini, klinik sınıflandırma ve hasta sonuçlarının öngörülmesinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Derin öğrenme ise çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla karmaşık veri yapılarının analiz edilmesine olanak tanımakta ve özellikle tıbbi görüntüleme alanında yüksek doğruluk oranları sunmaktadır (Esteva vd., 2017).

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ uygulamalarının başlıca kullanım alanları arasında klinik karar destek sistemleri, hastalık tanı ve prognoz tahmini, hasta izleme sistemleri, robotik cerrahi ve ilaç geliştirme süreçleri yer almaktadır (Akalin ve Veranyurt, 2021). Klinik karar destek sistemleri, sağlık

profesyonellerine tanı ve tedavi süreçlerinde rehberlik ederek hata oranlarını azaltmakta ve bakım kalitesini artırmaktadır (Sutton vd., 2020). Ayrıca yapay zekâ, hastaların bireysel özelliklerine göre özelleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayarak “kişiselleştirilmiş tıp” anlayışının yaygınlaşmasına destek olmaktadır.

Etik açıdan değerlendirildiğinde, sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımında hasta mahremiyeti, veri güvenliği, hesap verebilirlik ve insan denetimi gibi ilkeler ön plana çıkmaktadır (Asıl, 2025). Yapay zekâ sistemlerinin karar süreçlerinin anlaşılabilir ve açıklanabilir olması, sağlık profesyonellerinin bu sistemlere duyduğu güveni artırmaktadır (Floridi vd., 2018). Ayrıca, yapay zekânın sağlık hizmetlerinde destekleyici bir araç olarak kullanılması ve insan faktörünün merkezde tutulması gerektiği vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekâ sağlık hizmetlerinde dönüşüm yaratan yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmakta ve klinik süreçlerin daha verimli, güvenli ve bireyselleştirilmiş hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Ancak bu teknolojilerin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için teknik yeterliliklerin yanı sıra etik ve hukuki boyutların da dikkate alınması gerekmektedir.

2.4. Diyaliz Hizmetlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, özellikle kronik hastalıkların yönetiminde önemli dönüşümler yaratmaktadır (Çelik ve Tüfekçi, 2024). Kronik böbrek yetmezliği gibi sürekli izlem ve karmaşık tedavi süreçleri gerektiren durumlarda, yapay zekâ uygulamaları hasta bakımının kalitesini artırma, komplikasyonları önceden öngörme ve tedavi süreçlerini bireyselleştirme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Topol, 2019). Bu bağlamda, diyaliz hizmetleri yapay zekâ temelli çözümlerin etkili biçimde kullanılabilirdiği kritik alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Diyaliz hizmetlerinde yapay zekâ uygulamalarının en önemli kullanım alanlarından biri, hasta izleme ve erken uyarı sistemleridir (Yönden, 2024). Makine öğrenmesi algoritmaları, hastalardan elde edilen büyük veri setlerini analiz ederek intradiyalitik hipotansiyon gibi sık görülen komplikasyonları önceden tahmin edebilmektedir. Özellikle diyaliz sırasında kan basıncı, kalp hızı ve sıvı dengesi gibi parametrelerin sürekli izlenmesi ve analiz edilmesi, klinik karar alma süreçlerini desteklemekte ve erken müdahale imkânı sağlamaktadır (Kashani vd., 2023). Bu tür sistemler, yalnızca komplikasyonların azaltılmasına değil, aynı zamanda hasta güvenliğinin artırılmasına da katkı sunmaktadır.

Yapay zekâ destekli klinik karar destek sistemleri, diyaliz tedavisinin bireyselleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Önder, 2025). Bu sistemler, hastanın klinik geçmişi, laboratuvar bulguları ve tedaviye verdiği yanıt gibi çok

boyutlu verileri analiz ederek en uygun tedavi parametrelerini belirleyebilmektedir. Örneğin, ultrafiltrasyon hızının ayarlanması, diyalizat bileşiminin optimize edilmesi ve tedavi süresinin kişiye özgü olarak düzenlenmesi gibi süreçlerde yapay zekâdan yararlanılmaktadır (Larkin vd., 2017). Bu yaklaşım, tedavi etkinliğini artırırken komplikasyon riskini azaltmaktadır.

Son yıllarda yapay zekâ uygulamaları, diyaliz hastalarının uzun dönem prognozunun değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır (Öz vd., 2023). Makine öğrenmesi modelleri, hastaların mortalite riskini, hastaneye yatış olasılığını ve tedaviye uyum düzeyini tahmin edebilmekte, böylece sağlık profesyonellerine risk odaklı bir bakım planı oluşturma imkânı sunmaktadır (Cheungpasitporn vd., 2026). Bu durum, proaktif sağlık hizmeti anlayışının gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, diyaliz hizmetlerinde yapay zekâ uygulamaları; hasta izleme, klinik karar destek, komplikasyon öngörüsü ve uzaktan bakım süreçlerinde önemli katkılar sunmaktadır. Bu teknolojiler, bakım kalitesinin artırılması ve sağlık hizmetlerinin daha etkin, güvenli ve sürdürülebilir hâle getirilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için teknik, etik ve klinik boyutların bütüncül bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

2.5. Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Etiği

Son yıllarda sağlık hizmetleri, küresel ölçekte ülke ekonomilerinin en önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Teknoloji ve bilişim alanında yaşanan hızlı gelişmeler, birçok sektörde olduğu gibi sağlık sektöründe de önemli dönüşümleri beraberinde getirmiştir. Özellikle klinik uygulamalar kapsamında dijitalleşme eğiliminin dünya genelinde giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Tarcan vd., 2024). Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde yaygınlaşması, klinik karar alma süreçlerini destekleme ve bakım kalitesini artırma açısından önemli fırsatlar sunarken, beraberinde çeşitli etik sorunları da gündeme getirmektedir. Sağlık alanında kullanılan yapay zekâ sistemleri; hasta verilerinin analizi, tanı koyma, tedavi önerileri geliştirme ve hasta izleme gibi kritik süreçlerde rol almakta olup, bu durum etik ilkelerin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Morley vd., 2020).

Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ etiği, temelde biyomedikal etik ilkeleri olan yararlılık, zarar vermeme, özerklik ve adalet çerçevesinde ele alınmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının hastalara fayda sağlaması ve zarar riskini en aza indirmesi beklenirken, bireylerin kendi sağlıklarıyla ilgili karar süreçlerine

katılım haklarının korunması da büyük önem taşımaktadır (Beauchamp ve Childress, 1994).

Yapay zekâ etiği bağlamında en çok tartışılan konulardan biri veri gizliliği ve güvenliğidir (Temur, 2025). Sağlık hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ sistemleri, büyük ölçüde kişisel ve hassas sağlık verilerine dayanmaktadır. Bu verilerin toplanması, işlenmesi ve saklanması süreçlerinde gizlilik ihlalleri ve veri güvenliği riskleri ortaya çıkabilmektedir. Özellikle yetkisiz erişim, veri sızıntıları ve kötüye kullanım ihtimalleri, hasta mahremiyetini tehdit eden önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Price ve Cohen, 2019). Bu nedenle, yapay zekâ uygulamalarında güçlü veri koruma mekanizmalarının oluşturulması ve uluslararası düzenlemelere uygunluk sağlanması gerekmektedir.

Bir diğer önemli etik sorun ise algoritmik önyargı ve adalet meselesidir. Yapay zekâ sistemleri, eğitildikleri veri setlerine bağlı olarak belirli gruplara karşı sistematik hatalar üretebilmektedir. Özellikle sosyoekonomik, etnik veya cinsiyet temelli farklılıkların veri setlerinde yeterince temsil edilmemesi, sağlık hizmetlerinde eşitsizliklerin artmasına yol açabilmektedir (Obermeyer vd., 2019). Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının adil ve kapsayıcı bir şekilde geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yapay zekâ sistemlerinin karar alma süreçlerinin şeffaflığı ve açıklanabilirliği, etik tartışmaların bir diğer önemli boyutunu oluşturmaktadır. Klinik karar destek sistemleri tarafından üretilen önerilerin nasıl ve hangi verilere dayanarak oluşturulduğunun anlaşılabilir olması, sağlık profesyonellerinin bu sistemlere güven duymasını sağlamaktadır. “Kara kutu” olarak adlandırılan ve karar mekanizması açıklanamayan sistemler, etik ve hukuki açıdan sorun yaratabilmektedir (Floridi vd., 2018).

Ayrıca, yapay zekâ uygulamalarının sorumluluk ve hesap verebilirlik boyutu da önemli etik tartışmaları beraberinde getirmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin hatalı kararlar üretmesi durumunda sorumluluğun kimde olacağı (yazılım geliştirici, sağlık kurumu veya sağlık profesyoneli) net olarak belirlenmelidir. Bu durum, hem hukuki hem de etik açıdan düzenlemelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Morley vd., 2020).

3. Sonuç

Diyaliz hizmetleri, kronik böbrek yetmezliği gibi yaşam boyu tedavi gerektiren bir hastalık grubunda, hasta güvenliği ve bakım kalitesinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir sağlık hizmeti alanını oluşturmaktadır. Geleneksel izleme ve tedavi yaklaşımlarının sınırlılıkları göz önüne alındığında, yapay zekâ teknolojilerinin bu alana entegrasyonu önemli bir değişimi beraberinde getirmiştir. Özellikle hasta izleme süreçlerinin gerçek zamanlı ve

veri temelli bir yapıya kavuşması, komplikasyonların erken öngörülmesini mümkün kılarken, klinik karar alma süreçlerini daha sistematik bir hâle getirmektedir.

Yapay zekâ uygulamaları günümüzde, sadece teknik bir yenilik alanı olarak değil, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin sunum biçimini yeniden şekillendiren bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir. Diyaliz süreçlerinde bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi, hasta merkezli bakım anlayışının güçlenmesine katkı sağlarken, sağlık profesyonellerinin iş yükünün daha etkin yönetilmesine de imkan tanımaktadır. Bununla beraber, teknolojik gelişmelerin sunmuş olduğu bu avantajların, insan odaklı bakım anlayışının yerini almaması gerektiği açıktır. Klinik karar süreçlerinde yapay zekâ destekleyici bir araç olarak konumlandırılmalı ve nihai sorumluluğun sağlık profesyonellerinde olduğu yaklaşımı korunmalıdır.

Sonuç olarak, diyaliz hizmetlerinde yapay zekâ destekli uygulamalar, bakım kalitesini artırma, hasta güvenliğini güçlendirme ve sağlık hizmetlerini daha etkin hâle getirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde hayata geçirilebilmesi, teknolojik gelişmelerin etik, klinik ve insani boyutlarla dengeli bir biçimde ele alınmasına bağlıdır.

Kaynakça

- Akalın, B., ve Veranyurt, Ü. (2021). Sağlık hizmetleri ve yönetiminde yapay zekâ. *Acta Infologica*, 5(1), 231-240.
- Asıl, S. (2025). Yapay Zekâ Etiği: Temel İlkeler, Sorunlar Ve Disiplinlerarası Yaklaşımlar. *İNİF E-Dergisi*, 10(1), 152-175.
- Ayaydın, K.Ö. (2024). Bursa UÜTF İç Hastalıkları Ana Bilim Dalı Nefroloji Bilim Dalı 2013-2023 yılları arasındaki periton diyalizi hastalarının sıvı, elektrolit bozuklukları ve metabolik komplikasyonlar açısından retrospektif incelenmesi.
- Beauchamp, T.L., ve Childress, J.F. (1994). *Principles of biomedical ethics*. Edicoes Loyola.
- Brown, E.A., Johansson, L., Farrington, K., Gallagher, H., Sensky, T., Gordon, F., ... Hickson, M. (2010). Broadening Options for Long-term Dialysis in the Elderly (BOLDE): differences in quality of life on peritoneal dialysis compared to haemodialysis for older patients. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 25(11), 3755-3763.
- Chaara, S., Grooteman, M.P., Nubé, M.J., Bos, W.J.W., Rootjes, P.A., Wijngaarden, G., de Roij van Zuijdewijn, C.L. (2026). Intradialytic hypotension is severely underreported by intermittent blood pressure readings. *Clinical Kidney Journal*, 19(1), sfaf337.
- Cheungpasitporn, W., Athavale, A., Ghazi, L., Kashani, K.B., Colicchio, T., Koyner, J.L., ... Neyra, J.A. (2026). Transforming Nephrology Through Artificial Intelligence: A State-of-the-Art Roadmap for Clinical Integration. *Clinical Kidney Journal*, sfag004.
- Çelik, Ö., ve Tüfekci, N. (2024). Yapay Zekâ ve Derin Öğrenmenin Sağlık Bilişimi Üzerine Etkisi: Literatür Tabanlı Bir İnceleme. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 11-27.
- Çilhoroz, Y., ve Işık, O. (2021). Yapay zekâ: Sağlık hizmetlerinden uygulamalar. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 573-588.
- Eroğlu İ. (2010). *Binalarda enerji yönetimi ve enerji kullanım verimliliğini etkileyen faktörlerin yapay zeka teknikleri ile analizi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M., Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *nature*, 542(7639), 115-118.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... Vayena, E. (2018). AI4People-An ethical framework for a good AI society:

- Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and machines*, 28(4), 689-707.
- Fujino, Y., Ishimura, E., Okuno, S., Tsuboniwa, N., Maekawa, K., Izumotani, T., ... & Nishizawa, Y. (2006). Annual fat mass change is a significant predictor of mortality in female hemodialysis patients. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 60(5), 253-257.
- Gutch, C.F., ve Stoner, M.H. (1975). Review of hemodialysis for nurses and dialysis personnel. (*No Title*).
- Gürsoy, Ş.T., Soyer, M.T., ve Çiçeklioğlu, M. (2005). Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi (Eütf) Hemodiyaliz Hastalarında Sağlıkım Çözümlemesi. *Ege Tıp Dergisi*, 44(3), 155-160.
- Hajbakri, M. (2024). Sağlık Hizmetlerinde Dijital Devrim Olan “Teletıp ve e-Sağlık” Sistemlerinin Biyomedikal Uygulamalar İçin Geliştirilmesi.
- Jablonski, A. (2007). The multidimensional characteristics of symptoms reported by patients on hemodialysis. *Nephrology Nursing Journal*, 34(1), 29.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4).
- Karaca, A., ve Arslan, H. (2014). Hemşirelik hizmetlerinde hasta güvenliği kültürünün değerlendirilmesine yönelik bir çalışma. *Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi*, 1, 9-18.
- Kashani, K.B., Awdishu, L., Bagshaw, S.M., Barreto, E.F., Claire-Del Granado, R., Evans, B. J., ... Mehta, R. L. (2023). Digital health and acute kidney injury: consensus report of the 27th Acute Disease Quality Initiative workgroup. *Nature Reviews Nephrology*, 19(12), 807-818.
- Kim, I.S., Kim, S., Yoo, T.H., Kim, J.K. (2023). Diagnosis and treatment of hypertension in dialysis patients: a systematic review. *Clinical hypertension*, 29(1), 24.
- Kim, S., Yun, D., Kwon, S., Lee, S.R., Kim, K., Kim, Y.C., ... Han, S.S. (2022). System of integrating biosignals during hemodialysis: the CONTINUAL (Continuous mOnitoriNg viTal sIgN dUring hemodiALysis) registry. *Kidney Research and Clinical Practice*, 41(3), 363.
- Kolben, Y., Gork, I., Peled, D., Amitay, S., Moshel, P., Goldstein, N., ... Nachman, D. (2024). Continuous monitoring of advanced hemodynamic parameters during hemodialysis demonstrated early variations in patients experiencing intradialytic hypotension. *Biomedicines*, 12(6), 1177.
- Kuşcu Şahin, F.N. (2025). Dijital Dönüşümden Yapay Zekâya Yolculuk. *Journal of Academic Social Science Studies*, 18(104).

- Larkin, J.W., Reviriego-Mendoza, M.M., Usvyat, L.A., Kotanko, P., Maddux, F.W. (2017). To cool, or too cool: Is reducing dialysate temperature the optimal approach to preventing intradialytic hypotension?. In *Seminars in Dialysis* (Vol. 30, No. 6, pp. 501-508).
- Larkin, J.W., Reviriego-Mendoza, M.M., Usvyat, L.A., Kotanko, P., Maddux, F.W. (2017). To cool, or too cool: Is reducing dialysate temperature the optimal approach to preventing intradialytic hypotension?. In *Seminars in Dialysis* (Vol. 30, No. 6, pp. 501-508).
- Mactier, R., Nic Hoenich Ph, D., Breen, C. (2011). Renal association clinical practice guideline on haemodialysis. *Nephron*, 118, c241.
- Maurya, N.K. (2025). Intra-dialysis monitoring and complication management: A comprehensive review. *Archives of Clinical and Experimental Pathology*, 4(1), 1-10.
- Morley, J., Machado, C. C., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M., Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: a mapping review. *Social science & medicine*, 260, 113172.
- Morton, R., Webster, A., Masson, P., Nagler, E. (2017). Chronic kidney disease. Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.
- Önder, O. (2025). Klinik Karar Destek Sistemleri Bağlamında Tıpta Yapay Zeka Kullanımında Etik Sorun Alanları. *Doktora Tezi*.
- Öz, T., Pehlivan, M., ve Pirim, İ. (2023). Böbrek nakilli hastalarda greft sağkalımının yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi. *Forbes Tıp Dergisi*, 4(1), 1-7.
- Peker, N. (2007). *Periton diyalizi hastalarının ruhsal durumlarının tanılanması ve etkileyen faktörler* (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Price, W.N., ve Cohen, I.G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature medicine*, 25(1), 37-43.
- Rashidi, P., ve Cook, D.J. (2010). Mining and monitoring patterns of daily routines for assisted living in real world settings. In *Proceedings of the 1st ACM International Health Informatics Symposium* (pp. 336-345).
- Russell, S., ve Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: a modern approach, 4th US ed. *aima: caım*. URL: <https://aima.cs.berkeley.edu/>(*damá obráçeniá*: 26.02. 2023).
- Sayar, B. (2023). Kardiyovasküler Cerrahi Ve Yoğun Bakım Ünitesinde Kurtarma Başarısızlığının Rolü: Araştırma Makalesi. *Europeanatolia Health Sciences Journal*, 1(1), 6-17.

- Shillan, D., Sterne, J.A., Champneys, A., ve Gibbison, B. (2019). Use of machine learning to analyse routinely collected intensive care unit data: a systematic review. *Critical care*, 23(1), 284.
- Sinap, V. (2024). Makine Öğrenmesinde Temel Yaklaşımlar ve Gelişen Eğilimler.
- Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., ve Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. *NPJ digital medicine*, 3(1), 17.
- Tarcan, G.Y., Balçık, P.Y., ve Sebik, N.B. (2024). Türkiye ve dünyada sağlık hizmetlerinde yapay zekâ. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 14(1), 50-60.
- Tayaz, E., ve Koç, A. (2020). Hemodiyaliz tedavisi alan kronik böbrek yetmezliği hastalarında semptom yönetimi ve hemşirelik. *Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences*, 23(1), 147-156.
- Temur, S. (2025). Eğitimde yapay zekâ kullanımı: Etik sorunlar ve çözümler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (74), 568-595.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Varol, E., ve Sivrikaya, S.K. (2018). Kronik böbrek yetmezliğinde yaşam kalitesi ve hemşirelik. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 89-96.
- Yönden, H. (2024). Sağlık Hizmetlerinde Dijital Teknolojilerin Yeri ve Önemi. *Modern Sağlık Yönetiminde Temel Konular*, 153.