

SAĞLIK YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR II

EDİTÖR: DOÇ. DR. MURAT BAŞ

EĞİTİM
yayınevi

SAĞLIK YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR II

Editör: Doç. Dr. Murat BAŞ

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Mehmet Çakır

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

ISBN: 978-625-385-311-2

1. Baskı, Ağustos 2025

Kütüphane Kimlik Kartı

SAĞLIK YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR II

Editör: Doç. Dr. Murat BAŞ

IV+243 s., 160x240 mm

Kaynakça var, dizin yok.

ISBN: 978-625-385-311-2

Baskı Cilt: Sayfa Basım Sanayi

Tevfik İleri Mah. Emek Cad. Polat Sok. No: 2 Pursaklar / Ankara

Matbaa Sertifika No: 77079

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mechanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM

yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Egitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
+90 537 512 43 00
bilgi@kitapmatik.com.tr



ÖNSÖZ

İnsana dokunan en değerli alanlardan biri sağlık hizmetleridir. Bu hizmetlerin daha nitelikli, ulaşılabilir ve sürdürülebilir olması için teknoloji günümüzde önemli bir köprü görevi üstlenmektedir. İşte bu bilinçle kaleme alınan **“Sağlık Yönetiminde Teknolojik Yaklaşımlar II”**, sağlık yönetiminde teknolojinin sunduğu olanakları farklı boyutlarıyla ele almak amacıyla hazırlanmıştır.

Her bir bölüm, alanında uzman akademisyenlerin bilgi, birikim ve özverisiyle ortaya çıkmış olup, bizlere daha insana yakışır bir sağlık yönetimi anlayışının kapılarını aralamaktadır.

Bu kitabı hazırlarken, vatanımız için canlarını feda eden aziz şehitlerimizi minnet ve rahmetle andık; Gazze’de yaşanan büyük acının bir an önce son bulması için dualarımızı esere naksettik. Çünkü bizler biliyoruz ki sağlık, sadece bedensel bir iyilik hali değil; aynı zamanda barış, adalet ve insanlık onuruyla bütünleşen bir değerler manzumesidir.

TEŞEKKÜR

Bu eserin vücuda gelmesinde emeği geçen tüm kıymetli yazar arkadaşlarıma, editoryal süreçte katkı sağlayan akademisyen dostlarıma ve Eğitim yayınevinin kıymetli yönetici ve çalışanlarına gönülden teşekkür ederim.

En büyük teşekkürü ise bana güç veren aileme, kızlarım Belinay Rana, Tuğçe ve Elif Buse'ye, her zaman yanımda olan dostlarıma ve beni motive eden öğrencilerime borçluyum.

Kalemimize ve gönlümüze yön veren ilham, vatan uğruna şehadete erişen kahramanlarımızın fedakârlığıdır. Aziz şehitlerimizi rahmet ve minnetle anarken, Gazze'de yaşanan insanlık dramının bir an önce sona ermesini temenni ediyoruz. Bu eser, kahraman şehitlerimizin hatırasına ve Gazze'deki mazlumların onurlu direnişine ithafen okuyucularımızın istifadesine sunulmuştur.

Erzincan

Doç. Dr. Murat BAŞ

İÇİNDEKİLER

SAĞLIK YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİNİN ÖNEMİ.....	1
---	----------

Murat BAŞ

DİJİTAL SAĞLIK EKOSİSTEMİ VE TEMEL KAVRAMLAR.....	17
--	-----------

Beyzanur ÜSTÜNBAŞ

SAĞLIK BİLİŞİMİ VE VERİ YÖNETİMİ.....	35
--	-----------

Ceyda ATAÇ

YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN SAĞLIK YÖNETİMİNDE KULLANIMI	49
---	-----------

Tunahan ÇEVİK

TELE-TIP VE UZAKTAN HASTA TAKİBİ.....	63
--	-----------

Refika ÜLKE ŞİMDİ

NESNELERİN İNTERNETİ (İOT) VE AKILLI SAĞLIK CİHAZLARI	81
--	-----------

Semra ALTSOY

BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİ VE SAĞLIK GÜVENLİĞİ.....	95
--	-----------

Özlem GEDİK

**ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) VE SANAL GERÇEKLİK (VR) İLE SAĞLIK
HİZMETLERİ 111**

Ferhat Onur AĞAOĞLU

SAĞLIKTA ROBOTİK UYGULAMALAR VE OTOMASYON..... 123

Sinan TARSUSLU

3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ TIP 139

Emine GÖKMEN

DİJİTAL SAĞLIK POLİTİKALARI VE REGÜLASYONLAR..... 151

Barış DÖNMEZ

SAĞLIK KURULUŞLARINDA DİJİTAL DÖNÜŞÜM STRATEJİLERİ..... 165

Figen ÖZŞAHİN, Altuğ ÇAĞATAY

SİBER GÜVENLİK VE SAĞLIK VERİLERİNİN KORUNMASI..... 189

Kübra KARABULUT MERAL

SAĞLIKTA YAPAY ZEKÂ ETİĞİ VE HUKUKİ BOYUTLAR.....211

Aleyna CEBECİ

GELECEK PERSPEKTİFİ: SAĞLIK 4.0 VE ÖTESİ 227

Mehmet ÇİNİBULAK, Dilek UYSAL

SAĞLIK YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİNİN ÖNEMİ

Murat BAŞ¹

Giriş: Sağlıkta Yönetim ve Teknolojik Dönüşümün Kesişimi

Dijital teknolojilerin hızlı gelişimi sağlık sistemlerini yalnızca klinik uygulamalar açısından değil aynı zamanda yönetsel bakımdan da dönüştürmeye başlamıştır. Sağlık hizmet sunumunun karmaşıklığı, artan maliyet baskısı, hasta beklentilerindeki değişim ve insan kaynağı kısıtları, yönetsel süreçlerin daha veriye dayalı, esnek ve yenilikçi bir yapıya kavuşmasını zorunlu kılmaktadır (Rippa vd., 2023). Bu çerçevede; dijital dönüşüm kavramı, sağlık yönetimi alanında sadece teknolojik araçların entegrasyonunu değil aynı zamanda karar alma, kaynak kullanımı, hizmet organizasyonu ve hasta etkileşimi gibi çok boyutlu süreçlerin yeniden yapılandırılmasını kapsamaktadır (Krotkiewicz vd., 2025; Kapur, 2023).

Literatürde dijital dönüşümün sağlık sektörüne etkileri giderek artan bir ilgiyle ele alınmaktadır. Özellikle yapay zekâ, büyük veri, blok zinciri ve mobil sağlık uygulamaları gibi dijital teknolojilerin sağlık kuruluşlarındaki operasyonel süreçlere entegrasyonu, karar destek sistemlerinin güçlenmesini ve yöneticilerin daha stratejik kararlar alabilmesini mümkün kılmaktadır (Preneštini vd., 2024; Abbate vd., 2023). Dijital dönüşüm, yalnızca iş süreçlerinin otomasyonunu sağlamaz aynı zamanda yönetim yapısını, örgütsel kültürü ve insan kaynakları stratejilerini de dönüştürme potansiyeline sahiptir (Garfield vd., 2022). Bu dönüşüm, sağlık yöneticilerinin rollerini de yeniden tanımlamaktadır. Yöneticiler artık yalnızca kaynak tahsis ve denetim görevleriyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda dijital stratejilerin geliştirilmesi, veri güvenliğinin sağlanması, değişim yönetiminin yürütülmesi ve paydaşlar arası dijital iş birliğinin kurulmasında da etkin rol üstlenmektedir (Carlucci vd., 2022; Stoumpos vd., 2023). Bu bağlamda dijital liderlik, sağlık yönetiminde öne çıkan bir kavram hâline gelmiş ve yöneticilerin dijital okuryazarlık düzeyi

ile değişime açıklığı kritik bir başarı faktörü olarak tanımlanmıştır (Schiavone vd., 2021).

Öte yandan dijital dönüşümün yalnızca teknolojik altyapıya sahip olmakla başarıya ulaşmayacağı da açıktır. Etkin bir dijitalleşme süreci; örgütsel hazırlık, değişime uyum, etik ve hukuki düzenlemelere uygunluk, kullanıcı kabulü gibi çok sayıda faktörü içeren bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir (Ashworth & Schmitter, 2023; Bursov & Safonova, 2024). Ayrıca dijital dönüşüm uygulamalarının sağlık çalışanları üzerindeki etkileri ile hasta deneyimi üzerindeki sonuçları da yönetsel karar alma süreçlerinde dikkate alınmalıdır (Handrean vd., 2025).

Bu kitap bölümünün temel amacı; dijital dönüşümün sağlık yönetimi üzerindeki etkilerini kavramsal ve uygulamalı düzeyde analiz etmek, dijital teknolojilerin sağlık kurumlarındaki yönetsel süreçlere katkılarını ortaya koymak ve literatürdeki güncel yaklaşımları disiplinler arası bir bakış açısıyla derlemektir. Dijitalleşmenin sağlık yönetimi alanındaki etkileri hâlen sınırlı sayıda çalışmada sistematik biçimde ele alınmakta çoğunlukla teknolojik uygulamaların klinik çıktılar üzerindeki etkilerine odaklanılmaktadır (Rippa vd., 2023; Schiavone vd., 2021). Bu bölüm alandaki boşluğu doldurarak sağlık yöneticileri, politika yapıcılar ve araştırmacılar için teorik bir çerçeve ve pratik çıkarımlar sunmayı hedeflemektedir.

Bölümde öncelikle sağlık teknolojilerinin temel sınıflandırması yapılacak, ardından elektronik sağlık kayıtları ve bilgi sistemlerinin yönetsel işlevleri ele alınacaktır. Tele-sağlık uygulamaları ve yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin kurumsal süreçlerdeki etkileri açıklanacak; dijitalleşmenin çalışanlar ve hasta deneyimi üzerindeki sonuçları değerlendirilecektir. Ayrıca dijitalleşmenin etik, hukuki ve yönetsimsel boyutları ile dijital dönüşümün yönetsel liderlik ve örgütsel değişim üzerindeki etkileri tartışılacaktır. Uluslararası uygulama örnekleri ile desteklenecek analizler, Türkiye'deki sağlık sistemine yönelik politika önerileri ile sonlandırılacaktır.

Sonuç olarak, dijital dönüşüm sağlık yönetimi açısından yalnızca bir teknoloji meselesi değil; aynı zamanda stratejik, yönetsel ve kültürel bir yeniden yapılanma sürecidir. Bu süreçte başarılı olabilmek için dijital kapasitenin artırılması kadar, yöneticilerin vizyoner liderlik becerilerinin geliştirilmesi, kurumların öğrenen organizasyon yapısına evrilmesi ve etik çerçevenin sağlam temellere oturtulması gerekmektedir. Bu kitap bölümü, bu kapsamda teorik bilgi ile uygulama deneyimlerini bir araya getirerek dijitalleşmenin sağlık yönetimindeki yerini daha görünür kılmayı amaçlamaktadır.

1. Sağlık Teknolojilerinin Temel Bileşenleri ve Sınıflandırılması

Sağlık teknolojileri sağlık hizmetlerinin sunumunda kalite, erişilebilirlik ve etkinlik boyutlarını güçlendiren temel araçlardan biridir. Dijitalleşmeyle birlikte sağlık teknolojileri yalnızca cihaz ve yazılım tabanlı sistemler olarak değil veri odaklı karar süreçlerini, hasta-hekim etkileşimini ve yönetim sistemlerini dönüştüren bütüncül bir altyapı olarak değerlendirilmektedir (Shahin vd., 2022; Donnelly vd., 2023). Bu bağlamda sağlık teknolojilerini kavramsal olarak sınıflandırmak hem sağlık yöneticilerinin teknolojik yatırımları planlaması hem de politika yapıcıların sistemik dönüşümleri yönlendirmesi açısından kritik önem taşımaktadır (Simbenda vd., 2023).

Literatürde sağlık teknolojilerinin sınıflandırılmasına yönelik çeşitli çerçeveler önerilmiştir. Donnelly, Shaw ve Janssen (2023), sağlık bilgi sistemlerini klinik bilgi sistemleri, yönetim bilgi sistemleri, hasta odaklı uygulamalar ve karar destek sistemleri gibi bileşenlere ayırarak kapsamlı bir sınıflandırma sunmaktadır. Bu sınıflama; teknolojilerin sağlık hizmeti sürecine müdahale ettiği noktaları belirginleştirirken aynı zamanda sistemin teknik ve organizasyonel ihtiyaçlarına uyumunu da göstermektedir. Benzer şekilde Simbenda, Iyawa ve Osakwe (2023) tarafından geliştirilen yeni bir sınıflama modeli, uzaktan sağlık hizmetlerinde kullanılan uygulamaları izleme, iletişim, danışmanlık ve teşhis odaklı kategorilere ayırmakta ve mobil sağlık teknolojilerinin kapsayıcılığını vurgulamaktadır.

Sağlık teknolojilerini işlevsel açıdan sınıflandırmak gerekirse bu teknolojiler beş ana grupta değerlendirilebilir: (1) Bilgi sistemleri, (2) Tele-tıp ve mobil sağlık (m-Health) uygulamaları, (3) Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi temelli çözümler, (4) Nesnelerin İnterneti (IoT) ve sensör teknolojileri, (5) Tıbbi cihaz ve donanımlar (Muhammad & Alshehri, 2021). Bilgi sistemleri kapsamında yer alan elektronik sağlık kayıtları (EHR), klinik karar destek sistemleri (CDSS) ve hastane bilgi yönetim sistemleri (HBYS), sağlık verilerinin standartlaştırılması ve yönetsel süreçlerin dijital takibini olanaklı kılmaktadır (Donnelly vd., 2023; Abbate vd., 2023). Bu sistemler yalnızca veri depolamakla kalmamakta aynı zamanda hastalıkların erken tanınması, tedaviye uyumun artırılması ve hizmet maliyetlerinin azaltılmasına katkı sunmaktadır (Garfield vd., 2022).

Mobil sağlık uygulamaları ve tele-tıp sistemleri, sağlık hizmetlerine coğrafi veya fiziksel erişimi sınırlı bireyler için önemli fırsatlar sunmakta ve hasta-hekim etkileşimini dijital ortama taşımaktadır. Bu sistemler COVID-19 pandemisiyle birlikte daha da yaygınlaşarak uzaktan tanı, takip ve danışmanlık hizmetlerinin temelini oluşturmuştur (Simbenda vd., 2023; Kapur, 2023). Öte yandan, Jeon ve arkadaşlarının (2020) sunduğu gibi makine öğrenmesi destekli m-health modelleri, dinamik risk tahmini ve kişiselleştirilmiş müdahale seçenekleri ile

hem klinik hem de yönetsel çıktılarda önemli iyileşmeler sağlamaktadır. Yapay zekâ (AI) ve büyük veri teknolojileri, sağlık yöneticileri için öngörücü analiz olanakları sunarken kaynak planlaması, hasta akış yönetimi ve epidemiyolojik modelleme gibi alanlarda da stratejik destek sunmaktadır (Stoumpos vd., 2023; Muhammad & Alshehri, 2021). AI uygulamaları yalnızca klinik karar desteği ile sınırlı kalmayıp aynı zamanda hizmet kalitesinin izlenmesi ve operasyonel verimliliğin artırılması gibi yönetsel işlevlerde de kullanılmaktadır (Prenestini vd., 2024). Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı çözümler, hastaların fizyolojik verilerini anlık olarak takip edebilen sensörlerle hasta güvenliğini artırmakta aynı zamanda tıbbi cihazların otomatik yönetimini ve bakım süreçlerini kolaylaştırmaktadır (Toldo vd., 2018; Muhammad & Alshehri, 2021). Bu sistemler sağlık hizmetlerinin sürekliliğini destekleyerek bakım kalitesini yükseltmektedir.

Son olarak, sağlık teknolojilerinin temel bileşenlerinden biri olan tıbbi cihazlar; tanı, izlem, tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde hayati rol oynamaktadır. Yıldız (2018), tıbbi cihazların yalnızca teknik performansı değil aynı zamanda maliyet-etkinlik analizleri ve teknoloji değerlendirme süreçleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu da sağlık yöneticilerinin teknolojiye dayalı kararlarında çok boyutlu bir yaklaşım benimsemelerini zorunlu kılmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, sağlık teknolojilerinin sınıflandırılması yalnızca akademik bir çalışma değil aynı zamanda uygulayıcılar için sistematik bir karar destek aracıdır. Bu sınıflamalar sayesinde yöneticiler hangi teknolojinin hangi amaçla, ne ölçüde ve hangi koşullarda entegre edileceğini daha sağlıklı biçimde belirleyebilmektedir. Ayrıca sınıflandırmalar, dijital dönüşüm sürecinin hangi evresinde, hangi kapasite gereksinimlerinin karşılanması gerektiğini belirlemede de kritik rol oynamaktadır (Shahin vd., 2022; Donnelly vd., 2023).

2. Elektronik Sağlık Kayıtları (ESK) ve Sağlık Bilgi Sistemleri (SBS)

Sağlık sektörünün dijitalleşme süreci, bilgiye dayalı karar alma mekanizmalarının etkinleşmesini ve hasta merkezli bakım modellerinin güçlenmesini sağlamıştır. Bu dönüşümün temel bileşenlerinden biri Elektronik Sağlık Kayıtları (ESK) ve bu kayıtları yöneten Sağlık Bilgi Sistemleri (SBS) olmuştur. ESK sistemleri; bireyin tıbbi geçmişi, laboratuvar sonuçları, tedavi planları, alerjileri ve tanı bilgilerini içeren dijital kayıt altyapılarıdır (Evans & Evans, 2016). SBS ise bu kayıtların oluşturulması, saklanması, paylaşılması ve analiz edilmesini sağlayan teknolojik ve yönetsel sistemler bütünüdür. Günümüzde ESK sistemleri, sağlık hizmetlerinin yalnızca belgelenmesini değil aynı zamanda veri temelli karar süreçlerinin merkezinde yer alarak bakım kalitesinin artırılmasına olanak tanımaktadır (McCullough vd., 2019).

ESK sistemlerinin yaygınlaştırılması hasta güvenliğini, hizmet koordinasyonunu ve kaynak verimliliğini artıran kritik faydalar sunmaktadır. McCullough, Greenwood ve Atasoy (2019), ESK kullanımının hasta bakımında zamanında müdahale, tekrarlayan tetkiklerin azaltılması ve sağlık hizmeti kalitesinin iyileştirilmesi gibi çıktılarla doğrudan ilişkili olduğunu belirtmektedir. Aynı şekilde Pallerla ve Kapote (2022), sistematik veri girişinin klinik karar alma süreçlerini hızlandığını ve hekim-hasta iletişimini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte OECD (2023) raporunda da belirtildiği üzere, ülkeler arasında ESK sistemlerinin erişilebilirliği ve fonksiyonelliği konusunda önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Mevcut durum, sistemlerin yalnızca teknik değil aynı zamanda yönetsel, yasal ve kültürel bağlamlarda da uyarlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Hasta merkezli sağlık hizmeti anlayışıyla birlikte, ESK sistemleri hastaların sağlık süreçlerinde daha aktif bir rol üstlenmelerine olanak sağlamaktadır. Butler-Henderson, Sahama ve Stranieri (2019), hastaların kendi verilerine erişim sağlayabilmesinin sadece bilgilendirme değil aynı zamanda davranışsal değişim ve tedaviye uyum açısından da olumlu sonuçlar doğurduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda ESK sistemlerinin “hasta yetkilendirme” aracı olarak kullanılması, çağdaş sağlık hizmeti sunumunun temel ilkelerinden biri haline gelmiştir. Ancak ESK sistemlerinin etkinliği yalnızca teknik uygulamalara değil aynı zamanda sistemlerin güvenliği, gizliliği ve birlikte çalışabilirliğine (interoperability) bağlıdır. Ravindran ve Kataria (2020), ESK sistemlerinin sınırlılıkları arasında veri setleri, kullanıcı dostu olmayan arayüzler ve veri kalitesine ilişkin sorunların öne çıktığını belirtmektedir. Benzer şekilde Russell (2021), sistemlerin aşırı bilgi yükü nedeniyle karar verme süreçlerini zorlaştırabileceğine ve bu durumun klinik etkililiği azaltabileceğine dikkat çekmektedir. Bu nedenle ESK sistemlerinin sürdürülebilir başarısı için teknolojik altyapının yanında eğitim, mevzuat ve organizasyonel adaptasyon süreçlerinin de bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Güncel gelişmeler, ESK sistemlerinin yalnızca kayıt ve saklama amaçlı değil aynı zamanda sağlık araştırmalarına kaynak sağlayan büyük veri platformları olarak da değerlendirildiğini göstermektedir. Zhang ve arkadaşları (2020), ESK sistemlerinin epidemiyolojik analizlerde, sağlık hizmetlerinin etkililiğini ölçmede ve klinik araştırmalarda kullanılabilirliğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda veri madenciliği tekniklerinin sağlık kayıtlarına uygulanması, potansiyel hastalık risklerinin erken saptanmasından tedavi protokollerinin kişiselleştirilmesine kadar geniş bir etki alanı sunmaktadır (Yadav vd., 2018). Bununla birlikte, veri bütünlüğü ve güvenliği konusundaki artan hassasiyet, alternatif teknolojilerin sağlık sistemlerine entegre edilmesini gündeme getirmiştir. Azam, Gritti ve Mamun (2022), blockchain teknolojisinin ESK

yönetiminde şeffaflık, izlenebilirlik ve güvenlik gibi kritik unsurları sağlama potansiyeline dikkat çekmektedir. Merkeziyetsiz yapı sayesinde hasta verilerinin sadece yetkili kişilerce erişilebilir olması ve kayıtların değiştirilemezliği dijital sağlık yönetiminde yeni bir paradigma yaratmaktadır.

Sonuç olarak ESK ve SBS sistemleri sağlık yönetiminin dijital dönüşümünde merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu sistemler hizmet sunumunun kalitesini artırmanın ötesinde hastaların sürece katılımını, sağlık politikalarının veri temelli şekillendirilmesini ve araştırma altyapılarının güçlendirilmesini olanaklı kılmaktadır. Ancak bu teknolojilerin sürdürülebilirliği teknik yeterliliğin yanında insan kaynağının niteliği, yasal düzenlemeler ve etik standartlarla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle ESK sistemlerinin yaygınlaştırılması sürecinde multidisipliner ve kapsayıcı bir yaklaşım benimsenmesi, sağlık sistemlerinin bütüncül iyileştirilmesi açısından kritik önemdedir.

3. Teknolojik Dönüşümün Sağlık Çalışanlarına Etkisi

Sağlık sektöründe dijital dönüşüm yalnızca hizmet sunum biçimlerini değil aynı zamanda sağlık çalışanlarının rollerini, beceri setlerini ve iş yapma biçimlerini köklü biçimde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm süreci; yapay zekâ, robotik, büyük veri analitiği, giyilebilir teknolojiler ve elektronik sağlık kayıtları gibi birçok teknolojik gelişmenin sağlık sistemine entegrasyonu ile birlikte ivme kazanmıştır (Toldo vd., 2018). Dijitalleşme, sağlık çalışanlarının günlük rutinlerinde teknolojik araçları daha etkin kullanmalarını gerektirdiği gibi aynı zamanda yeni sorumluluk alanlarının ve dijital yeterliliklerin gelişmesini de zorunlu kılmaktadır (Kostrzewski vd., 2023).

Kostrzewski ve arkadaşları (2023), dijital sağlık dönüşümünün klinik iş süreçlerini yeniden yapılandırarak birçok meslekte yetki sınırlarının değişmesine yol açtığını ifade etmektedir. Örneğin, veri girişinden sorumlu olan sağlık personelinin iş tanımları artık yalnızca kayıt yapmakla sınırlı kalmamakta aynı zamanda teknolojik sistemlerin kullanımında yeterlilik, veri yorumlama ve hasta ile etkileşimde dijital araçların entegrasyonu gibi yeni yetkinlikleri de içermektedir. Bu durum sağlık mesleklerinde rol değişimini tetiklerken eğitim programlarının da dijital sağlık okuryazarlığı çerçevesinde güncellenmesini zorunlu kılmaktadır (Teker, 2023).

Yeni teknolojilerin entegrasyonu bazı çalışanlar açısından iş yükünü azaltıcı etkiler yaratırken diğerleri için stres faktörü haline gelebilmektedir. Bronsoler, Doyle ve Reenen (2020), teknolojik yeniliklerin sağlık profesyonellerinin zaman yönetimi ve hasta takibi açısından olumlu katkılar sunduğunu belirtirken; aynı zamanda dijital sistemlere uyum sürecinde yaşanan zorlukların tükenmişlik, teknoloji kaygısı ve motivasyon eksikliği gibi olumsuz çıktılara yol açabileceğine de dikkat çekmektedir. Özellikle ileri yaş grubundaki çalışanlar

için dijital araçlara adaptasyon daha uzun sürebilmekte, bu da kurumsal eğitim süreçlerinin önemini artırmaktadır (Iyanna vd., 2022). Schiavone ve arkadaşları (2021), dijital dönüşümün çalışanlar üzerindeki etkilerinin sadece teknik değil sosyo-psikolojik düzeyde de değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışanlar arasında oluşan dijital bölünme, ekip içi uyumu olumsuz etkileyebileceği gibi hasta güvenliği açısından da risk unsuru haline gelebilir. Bu nedenle yöneticiler, dijital sistemlerin yalnızca teknik değil aynı zamanda insan odaklı biçimde uygulanmasına öncülük etmelidir. Bu bağlamda dönüşüm sürecinin şeffaf yönetilmesi, katılımcı karar alma mekanizmalarının kullanılması ve çalışanların aktif biçimde sürece dâhil edilmesi kritik önemdedir (Çark, 2020).

Rippa ve arkadaşları (2023), teknolojik dönüşümün bir yandan iş süreçlerini optimize ettiğini diğer yandan ise belirli meslek gruplarının ortadan kalkmasına ya da yeniden tanımlanmasına yol açtığını ifade etmektedir. Örneğin; manuel kayıt sistemlerinin yerini otomatikleştirilmiş yazılım çözümlerinin almasıyla birlikte klasik sekreterlik veya veri giriş elemanı gibi pozisyonlar dönüşüme uğramaktadır. Bununla birlikte klinik karar destek sistemleri, yapay zekâ destekli teşhis araçları ve uzaktan hasta takibi uygulamaları sağlık profesyonellerinin karar süreçlerinde destek sağlayarak hataları azaltmakta ve hasta sonuçlarını iyileştirmektedir (Stoumpos vd., 2023). Bhatia ve arkadaşları (2024), sağlık sektöründe teknolojinin dönüştürücü etkisinin SWOT analizi bağlamında ele alınmasının, çalışanların güçlü yönlerinin desteklenmesi ve potansiyel tehditlerin bertaraf edilmesi açısından önemli bir yöntem olduğunu ileri sürmektedir. Buna göre, fırsatların (örneğin daha etkin hasta takibi) yanında, tehditlerin (örneğin iş güvencesine ilişkin endişeler) dengeli biçimde değerlendirilmesi, sağlık çalışanlarının dönüşüme daha sağlıklı biçimde adapte olmasını sağlar. Aynı zamanda çalışanların sürece katılım düzeyi, teknolojik yeniliklerin başarısında belirleyici faktörlerden biridir (Fahad, 2024).

Tüm bu veriler ışığında mevcut konu değerlendirildiğinde, dijital dönüşümün yalnızca teknoloji temelli değil insan kaynağı temelli stratejilerle desteklenmesi gerektiği açıktır. Sağlık çalışanlarının teknolojiyi benimseme düzeyleri, dönüşümün başarısı açısından temel belirleyicilerden biridir. Bu süreçte eğitim, mesleki gelişim, motivasyonel destek ve liderlik uygulamaları gibi insan merkezli yaklaşımlar öne çıkmalıdır. Aksi hâlde teknolojinin potansiyel faydaları yeterince açığa çıkarılamayacak hatta tüm kazanımların kaybedilmesine de neden olabilir. Dolayısıyla dönüşümün başarısı, teknolojik kapasite kadar sağlık çalışanlarının bu sürece ne kadar etkin şekilde entegre olabildiğiyle doğrudan ilişkilidir.

4. Hasta Deneyimi ve Hizmet Kalitesinde Teknolojinin Rolü

Günümüz sağlık sistemlerinde hasta deneyimi ve hizmet kalitesi, sağlık kurumlarının başarısını doğrudan etkileyen iki temel performans göstergesidir. Teknolojik gelişmelerin bu göstergeler üzerindeki etkisi, özellikle dijital sağlık uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte daha görünür hale gelmiştir. Hasta merkezli bakım anlayışının ön plana çıkmasıyla birlikte dijital teknolojiler yalnızca klinik verimlilik açısından değil aynı zamanda hasta memnuniyetinin ve algılanan hizmet kalitesinin artırılması açısından da stratejik bir araç haline gelmiştir (Paramarta, Guterres & Wahyudi, 2025).

Paramarta ve arkadaşları (2025), bilgi teknolojilerinin hasta memnuniyeti üzerindeki etkisini ele aldıkları çalışmalarında, çalışan eğitimi ve hizmet kalitesi ile birlikte değerlendirildiğinde teknolojinin hasta beklentilerinin karşılanmasında kilit rol oynadığını vurgulamaktadır. Dijital randevu sistemleri, hasta bilgilendirme platformları, çevrim içi laboratuvar sonuç erişimi ve mobil sağlık uygulamaları hem bilgiye erişimi kolaylaştırmakta hem de hasta-hizmet sağlayıcı etkileşimini güçlendirmektedir. Bu sistemlerin hasta memnuniyetini artırıcı etkisi doğrudan hizmet kalitesine yönelik algıyı da olumlu yönde şekillendirmektedir (Viegas, 2024).

Teknoloji destekli bakım uygulamaları yalnızca hizmet sürecini hızlandırmakla kalmayıp aynı zamanda hizmetin kişiselleştirilmesini ve sürekli iyileştirilmesini de mümkün kılmaktadır. Grondahl ve arkadaşları (2020), teknolojik bakım çözümleriyle hasta deneyimlerinin daha tutarlı ve memnuniyet odaklı hale geldiğini ortaya koymuş ve özellikle kronik hastalık yönetimi, evde bakım ve uzaktan izleme uygulamalarının hasta yaşam kalitesini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir. Aynı doğrultuda Alarjani, Aljawhari ve Alghaylan (2020), teknolojinin sağlık personeli arasındaki entegrasyonu kolaylaştırarak hasta bakım süreçlerinde daha etkin ve koordineli hizmet sunumuna olanak sağladığını vurgulamıştır.

Dijital olgunluk düzeyinin yüksek olduğu hastaneler, hasta deneyimini sistematik biçimde izleyip değerlendirebilmekte ve dijital çözümlerle hizmet süreçlerini dinamik biçimde iyileştirebilmektedir. Snowdon ve arkadaşları (2024), dijital olgunluk stratejilerinin hasta deneyiminde süreklilik sağladığını, hasta geri bildirimlerinin dijital araçlarla toplanmasının hizmet iyileştirmede kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir. Bu noktada dijital teknolojilerin sadece uygulama değil aynı zamanda izleme, analiz etme ve geri bildirim döngüsü oluşturma araçları olarak kullanılması, kalite yönetimi açısından da büyük bir avantaj sunmaktadır (Haase vd., 2024).

Hasta memnuniyeti, yalnızca teknolojinin varlığıyla değil bu teknolojilerin kullanıcı dostu, erişilebilir ve etkili şekilde uygulanmasıyla sağlanabilmektedir.

Türkiye’de yapılan çalışmalar, hizmet kalitesinin hasta sadakati ve tekrar sağlık hizmeti kullanım niyetiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Arslan Kurtuluş, 2019; Zaim & Tarım, 2011). Bu bağlamda dijital sistemlerin sağlık hizmetleri içinde stratejik olarak konumlandırılması ve hizmet sunucuların dijital okuryazarlık düzeylerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle yaşlı bireyler, düşük dijital yeterlilik düzeyine sahip hastalar veya engelli gruplar gibi hassas hasta profilleri için teknolojinin erişilebilirliği ve kapsayıcılığı sağlanmalıdır (Schiavone vd., 2021). Ayrıca teknolojinin sunduğu veriye dayalı izleme ve raporlama araçları, hasta şikâyetlerinin hızlı şekilde çözülmesini sağlayarak hizmete yönelik olumsuz algının önüne geçmektedir. Bu bağlamda, hasta deneyiminin teknoloji aracılığıyla gerçek zamanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi geleneksel memnuniyet anketlerine kıyasla çok daha etkili ve dinamik sonuçlar üretmektedir (Haase vd., 2024). Yine de bu sürecin başarısı, teknolojinin sadece bir araç değil stratejik bir değer olarak ele alınmasına bağlıdır.

Sonuç olarak, bilgi teknolojileri sağlık hizmetlerinde yalnızca operasyonel bir kolaylaştırıcı değil hasta deneyimini geliştiren ve hizmet kalitesini sürdürülebilir kılan temel bir bileşen haline gelmiştir. Ancak teknolojinin bu rolü, yalnızca teknik altyapı yatırımlarıyla değil çalışan eğitimi, kullanıcı deneyimi tasarımı ve kurumsal kültürle desteklendiğinde anlam kazanmaktadır. Bu yönüyle teknoloji, hasta merkezli bakımın olmazsa olmazıdır denilebilir.

5. Sağlıkta Teknoloji Kullanımına Yönelik Etik ve Hukuki Boyutlar

Dijital sağlık teknolojilerinin giderek artan şekilde klinik uygulamalarda kullanılması, beraberinde etik ve hukuki alanda kapsamlı tartışmaları gündeme getirmiştir. Yapay zekâ (YZ), büyük veri analitiği, uzaktan izleme sistemleri ve tele-sağlık uygulamaları gibi inovatif teknolojiler, sağlık hizmetlerinin niteliğini dönüştürürken hasta hakları, mahremiyet, veri güvenliği, karar alma süreçlerinde şeffaflık ve sorumluluk gibi konuları da ön plana çıkarmaktadır (Pham, 2025). Bu bağlamda teknolojik yeniliklerin potansiyel faydaları kadar bireylerin haklarını ve toplumun etik normlarını koruyacak çerçevelerin de titizlikle oluşturulması gerekmektedir.

Yapay zekâ destekli klinik karar destek sistemlerinin yaygınlaşması, sağlık profesyonellerinin karar alma süreçlerinde insan denetiminin azalmasına yol açabilmektedir. Bu durum, “karar sorumluluğu kime aittir?” sorusunu gündeme getirirken olası hatalarda hesap verilebilirliğin ne şekilde tanımlanacağı da büyük bir etik ve hukuki tartışma konusudur (Somani vd., 2022). Schönberger (2019) bu noktada yapay zekâ sistemlerinin “açıklanabilirlik” ilkesine uygun olarak tasarlanması gerektiğini vurgulamakta ve algoritmaların karar

gerekçelerinin şeffaf şekilde izlenebilir olmasının hem etik güven hem de yasal süreçler açısından zorunlu olduğunu belirtmektedir.

Veri güvenliği ve mahremiyet, dijital sağlık uygulamalarının en tartışmalı alanlarından biridir. Hasta verilerinin dijital ortamda toplanması, işlenmesi ve saklanması sürecinde hem bireysel mahremiyetin korunması hem de sistem güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Shutova (2024), yapay zekâ sistemlerinin sürekli veri tüketme doğasına dikkat çekerek bu sistemlerin mahremiyete yönelik potansiyel tehditlerini ortaya koymuştur. Benzer şekilde Cordeiro (2021) da veri temelli teknolojilerin gelişiminin, kişisel özgürlükler ile toplumsal fayda arasındaki dengeyi tehdit edebileceğini ifade etmiştir. Özellikle gelişmiş makine öğrenimi algoritmalarının bireylerin izni dışında türetilmiş hassas bilgileri ortaya çıkarabilme riski, etik bir ikilem yaratmaktadır.

Tele-tıp uygulamaları özelinde Pallotta ve arkadaşları (2020), mevcut yasal altyapının dijital iletişim araçları üzerinden sunulan sağlık hizmetlerini tam olarak kapsayamadığını belirtmiştir. Uzaktan muayene, teşhis ve tedavi süreçlerinde hasta rızasının niteliği, kimlik doğrulama, dijital kayıtların geçerliliği ve mesleki sorumluluk alanları gibi konular, mevcut hukuk sistemlerinde gri alanlar oluşturmaktadır. Bu nedenle dijital sağlık hizmetlerinin yaygınlaşmasına paralel olarak, ilgili yasal düzenlemelerin teknolojik gelişmelere ayak uyduracak şekilde güncellenmesi büyük önem arz etmektedir (Bogomazova, 2024).

Etik perspektiften bakıldığında özellikle yaşlılar, engelliler, düşük dijital okuryazarlığa sahip bireyler veya sosyoekonomik dezavantajlı gruplar için teknolojik sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikler dikkat çekmektedir. Gkiolnta, Roy ve Fragulis (2025), yardım teknolojilerinin entegrasyonunda etik kapsayıcılık ilkelerinin gözetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda yalnızca teknolojinin geliştirilmesi değil aynı zamanda eşit, hakkaniyetli ve insan onuruna saygılı şekilde uygulanması da önemlidir. Ayrıca algoritmaların içsel önyargılar taşıyabileceği gerçeği, etik kaygıları daha da derinleştirmektedir. Cohen, Gerke ve Minssen (2020), sağlık alanında kullanılan algoritmaların cinsiyet, ırk ya da yaş gibi demografik değişkenlere karşı tarafsızlık içerebileceğini ve bunun da sağlık eşitsizliklerini derinleştirebileceğini belirtmiştir. Etik olarak nötr görünen teknolojilerin, veri setlerindeki önyargılar nedeniyle ayrımcılığı yeniden üretebilme potansiyeli, insan hakları bağlamında ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Tüm bu gelişmeler doğrultusunda, sağlık teknolojilerinin etik ve hukuki çerçevede güvenli, şeffaf ve sorumlu biçimde kullanılabilmesi için çok paydaşlı iş birliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çerçevede ulusal ve uluslararası politika yapıcılar, hukukçular, sağlık profesyonelleri, etik kurullar

ve teknoloji geliştiricileri arasında sürekli diyalog ve denetim mekanizmaları tesis edilmelidir (Elhai & Lustgarten, 2018; Pham, 2025). Aynı zamanda sağlık çalışanlarının etik farkındalıklarının artırılması ve teknolojik araçların etik kullanımına yönelik mesleki rehberliklerin geliştirilmesi de uygulama sahasında önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, sağlıkta teknoloji kullanımının hızla ilerlediği bir dönemde, etik ve hukuki düzenlemeler bu dönüşümün gerisinde kalmamalı tam tersine, dönüşüme yön veren kapsayıcı ve koruyucu ilkelerle desteklenmelidir. Ancak bu şekilde hem yeniliğin sunduğu fırsatlar değerlendirilebilir hem de insan onuru, adalet ve sorumluluk gibi temel değerler korunabilir.

Sonuç ve değerlendirme

Sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi hem klinik hem yönetsel süreçlerde köklü bir dönüşüm yaratmaktadır. Bu kitap bölümünde; sağlık teknolojilerinin temel bileşenleri, sınıflandırılması, hasta deneyimi üzerindeki etkileri, hizmet kalitesine katkıları ve bu alandaki etik-hukuki boyutlar çok yönlü olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, sağlık teknolojilerinin yalnızca araçsal bir yenilik değil aynı zamanda yapısal bir paradigma değişimi sunduğunu ortaya koymaktadır.

Öncelikle teknolojinin temel bileşenleri olan yazılım, donanım, insan unsuru ve bilgi altyapısının, sağlık hizmetlerinin kalitesini doğrudan etkileyen bir sistem bütünlüğü oluşturduğu görülmektedir. Bu bileşenler, birbiriyle etkileşim içinde çalıştığında hem klinik doğruluk hem de operasyonel verimlilik açısından önemli kazanımlar sunmaktadır. Bu yapı, hastanelerden birinci basamak sağlık hizmetlerine kadar genişleyen bir yelpazede uygulanabilir niteliktedir. Sağlık teknolojilerinin sınıflandırılması, alanın çok boyutluluğunu yansıtmaktadır. Tanı ve tedavi teknolojileri, bilgi yönetim sistemleri, uzaktan sağlık çözümleri ve destek sistemleri gibi farklı kategoriler, yalnızca teknolojik ilerlemeyi değil aynı zamanda hasta merkezli bakım anlayışını da güçlendirmektedir. Özellikle uzaktan sağlık ve yapay zekâ temelli uygulamalar, kronik hastalık yönetimi, kırsal bölgelerde hizmet sunumu ve salgın hastalık kontrolü gibi kritik alanlarda öne çıkmaktadır. Hasta deneyimi ve hizmet kalitesi açısından bakıldığında, teknoloji destekli sağlık hizmetlerinin, hastaların bakım sürecine katılımını artırdığı, memnuniyet düzeylerini yükselttiği ve sağlık hizmetlerine olan güveni güçlendirdiği ortaya konmuştur. Dijital geribildirim sistemleri, elektronik sağlık kayıtları ve mobil sağlık uygulamaları, hastaların sağlık süreçleri üzerinde daha fazla kontrol sahibi olmalarını sağlamaktadır. Ayrıca sağlık çalışanlarının eğitim ve yetkinliklerinin teknolojik gelişmelere paralel olarak güçlendirilmesi sunulan hizmetin kalitesine doğrudan katkıda bulunmaktadır. Ancak tüm bu olumlu etkilerin yanında, sağlık teknolojilerinin kullanımına ilişkin etik ve hukuki

boyutlar da dikkatle ele alınmalıdır. Mahremiyetin korunması, veri güvenliği, algoritmik karar alma süreçlerinde şeffaflık, eşit erişim ve sorumluluk paylaşımı gibi konular, dijitalleşmenin toplumsal kabulünü belirleyecek başlıca alanlar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle teknolojik gelişmelerin hızına uygun olarak etik ilkelerin güncellenmesi, yasal düzenlemelerin yeniden yapılandırılması ve sağlık çalışanlarına bu konularda sürekli eğitim verilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

Sonuç olarak sağlık teknolojileri, hizmet sunumunu daha erişilebilir, etkili ve hasta odaklı hale getirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin sürdürülebilir şekilde kullanılabilmesi için teknik altyapı kadar insan faktörüne, kurumsal kültüre, etik duyarlılığa ve hukuki düzenlemelere de yatırım yapılmalıdır. Geleceğin sağlık sistemi; teknolojik gelişimi, insan onurunu ve toplumsal adaleti merkeze alan çok boyutlu bir yaklaşım ile şekillenecektir. Bu bağlamda, politika yapıcıların, sağlık yöneticilerinin ve klinik uygulayıcıların teknoloji entegrasyonunu yalnızca verimlilik aracı değil, aynı zamanda etik sorumluluk alanı olarak değerlendirmeleri gerekmektedir.

Kaynakça

- Abbate, S., Oropallo, E., Cerchione, R., Riccio, E., & Centobelli, P. (2023). Investigating Healthcare 4.0 Transition Through a Knowledge Management Perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70, 3297–3310. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3200889>
- Alarjani, N., Aljawhari, M., & Alghaylan, M. (2020). Role of modern technology in enhancing integration between hospital workers, facilitating work, and improving the quality of patient services. *International Journal of Health Sciences*. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v4ns1.15116>
- Arslan Kurtuluş, S. (2019). Hasta deneyimi, tatmini, sadakati, hizmet kalitesi ve sağlık hizmetini tekrar kullanma niyeti arasındaki ilişkilerin incelenmesi üzerine bir araştırma.
- Ashworth, S., & Schmitter, P. (2023). Digitally Transforming Facility Management in Healthcare: A Systematic Review of Key Digital Technologies and Systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1176. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1176/1/012012>
- Azam, S., Gritti, C., & Mamun, A. (2022). Blockchain-Based Electronic Health Records Management: A Comprehensive Review and Future Research Direction. *IEEE Access*, 10, 5768–5789. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3141079>
- Bhatia, S., Dharwal, M., Bhatia, S., & Mohan, V. (2024). Transformative impact of technology on the healthcare industry: A SWOT analysis. *Proceedings on Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.24874/pes06.02a.004>
- Bogomazova, I. (2024). Use of Artificial Intelligence in Healthcare: Legal and Ethical Dimensions. *Medicine pravo*. <https://doi.org/10.25040/medicallaw.2024.02.009>
- Bronsoler, A., Doyle, J., & Reenen, J. (2020). *The Impact of New Technology on the Healthcare Workforce*.
- Bursov, A., & Safonova, D. (2024). Global experience in digitalizing healthcare management. *Public Administration*. <https://doi.org/10.22394/2070-8378-2024-26-4-100-104>
- Butler-Henderson, K., Sahama, T., & Stranieri, A. (2019). Patient-Empowered Electronic Health Records. *Studies in Health Technology and Informatics*, 264, 1765–1766. <https://doi.org/10.3233/SHTI190637>
- Carlucci, D., Santarsiero, F., Helander, N., & Schiuma, G. (2022). Digital transformation in healthcare organisations: The role of innovation labs. *Technovation*. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102640>
- Cohen, G., Gerke, S., & Minssen, T. (2020). Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. *Artificial Intelligence in Healthcare*, 295–336. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3570129>
- Cordeiro, J. (2021). Digital Technologies and Data Science as Health Enablers: An Outline of Appealing Promises and Compelling Ethical, Legal, and Social Challenges. *Frontiers in Medicine*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.647897>
- Çark, Ö. (2020). Dijital dönüşümün işgücü ve meslekler üzerindeki etkileri. *International Journal of Entrepreneurship and Management Inquiries*, 4(Özel Sayı 1), 19–34.
- Donnelly, C., Shaw, T., & Janssen, A. (2023). *A Taxonomy for Health Information Systems*. *Journal of Medical Internet Research*, 26. <https://doi.org/10.2196/47682>
- Elhai, J., & Lustgarten, S. (2018). Technology use in mental health practice and research: Legal and ethical risks. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 25. <https://doi.org/10.1111/cpsp.12234>
- Evans, R., & Evans, S. (2016). Electronic Health Records: Then, Now, and in the Future. *Yearbook of Medical Informatics*, 25, S48–S61. <https://doi.org/10.15265/IYS-2016-s006>
- Fahad, M. (2024). Technological Transformation in Healthcare: A Global Perspective. *Journal of Digitainability, Realism & Mastery (DREAM)*. <https://doi.org/10.56982/dream.v3i12.294>
- Garfield, M., Veldandi, H., Ghosh, K., & Dohan, M. (2022). Digital Transformation in Healthcare: Insights on Value Creation. *Journal of Computer Information Systems*, 63, 449–459. <https://doi.org/10.1080/08874417.2022.2070798>

- Ghaleb, P., Dominic, P., & Aliza, D. (2020). Impact of emerging technology innovations on healthcare transformation in developing countries. *2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs (51154)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319955>
- Gkiolnta, E., Roy, D., & Fragulis, G. (2025). Challenges and Ethical Considerations in Implementing Assistive Technologies in Healthcare. *Technologies*. <https://doi.org/10.3390/technologies13020048>
- Grøndahl, V., Leonardsen, A., Hardeland, C., & Helgesen, A. (2020). Patient experiences with technology enabled care across healthcare settings: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12913-020-05633-4>
- Haase, A., Jeffreys, M., Hales, C., & Dodson, P. (2024). Capturing patient experiences of care with digital technology to improve service delivery and quality of care: A scoping review. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241282900>
- Handrean, E., Paramarta, V., Gede, I., Fakhrazi, R., Pratama, I., Sumarna, D., & Rejauw, S. (2025). Digital Transformation in Hospital Management: Building Readiness for Society 5. *International Journal of Health and Pharmaceutical (IJHP)*. <https://doi.org/10.51601/ijhp.v5i1.398>
- Iyanna, S., Talwar, S., Kaur, P., Islam, A., & Ractham, P. (2022). Digital transformation of healthcare sector: What is impeding adoption and continued usage of technology-driven innovations by end-users? *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.08.007>
- Jeon, G., Din, S., Qureshi, K., & Piccialli, F. (2020). *An accurate and dynamic predictive model for a smart M-Health system using machine learning*. *Information Sciences*, 538, 486–502. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.06.025>
- Kapur, R. (2023). *Digital Platforms and Transformation of Healthcare Organizations*. <https://doi.org/10.4324/9781003366584>
- Kostrzewski, M., Marczewska, M., Bańka, M., Kamiński, A., & Mijal, M. (2023). Digital transformation of healthcare and job roles changes. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.186>
- Krotkiewicz, M., Szynkaruk, A., & Stachyra, A. (2025). Digital transformation in healthcare management: from Artificial Intelligence to blockchain. *Wiadomości Lekarskie*, 78(3), 578–583. <https://doi.org/10.36740/WLek/202445>
- McCullough, J., Greenwood, B., & Atasoy, H. (2019). The Digitization of Patient Care: A Review of the Effects of Electronic Health Records on Health Care Quality and Utilization. *Annual Review of Public Health*, 40, 487–500. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044206>
- Muhammad, G., & Alshehri, F. (2021). *A Comprehensive Survey of the Internet of Things (IoT) and AI-Based Smart Healthcare*. *IEEE Access*, 9, 3660–3678. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047960>
- OECD. (2023). Progress on implementing and using electronic health record systems. *OECD Health Working Papers*. <https://doi.org/10.1787/4f4ce846-en>
- Pallerla, S., & Kapote, S. (2022). Health-care system digitalization – Implementation of electronic health record. *Journal of Integrated Health Sciences*, 10, 48–49. https://doi.org/10.4103/jihs.jihs_3_22
- Pallotta, G., Amenta, F., Ricci, G., Baldoni, S., Battineni, G., Khuman, R., Sirignano, A., & Nittari, G. (2020). Telemedicine Practice: Review of the Current Ethical and Legal Challenges. *Telemedicine Journal and e-Health*, 26, 1427–1437. <https://doi.org/10.1089/tmj.2019.0158>
- Paramarta, V., Guterres, A., & Wahyudi, F. (2025). The role of information technology, employee training, and service quality in improving patient satisfaction. *MORFAI Journal*. <https://doi.org/10.54443/morfai.v5i1.2527>
- Pham, T. (2025). Ethical and legal considerations in healthcare AI: Innovation and policy for safe and fair use. *Royal Society Open Science*, 12. <https://doi.org/10.1098/rsos.241873>
- Prenestini, A., Mauro, M., Sarto, F., & Noto, G. (2024). Digital transformation in healthcare: Assessing the role of digital technologies for managerial support processes. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123781>

- Ravindran, V., & Kataria, S. (2020). Electronic Health Records: A Critical Appraisal of Strengths and Limitations. *Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh*, 50, 262–268. <https://doi.org/10.4997/jrcpe.2020.309>
- Rippa, P., Massaro, M., Mas, D., & Secundo, G. (2023). The challenges of digital transformation in healthcare: An interdisciplinary literature review, framework, and future research agenda. *Technovation*. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102716>
- Russell, L. (2021). Electronic Health Records: The Signal and the Noise. *Medical Decision Making*, 41, 103–106. <https://doi.org/10.1177/0272989X20985764>
- Schiavone, F., Pluzhnikova, A., Invernizzi, A., & Kraus, S. (2021). Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.030>
- Schönberger, D. (2019). Artificial intelligence in healthcare: A critical analysis of the legal and ethical implications. *International Journal of Law and Information Technology*, 27, 171–203. <https://doi.org/10.1093/IJLIT/EAZ004>
- Shahin, R., Jamkhaneh, H., Parkouhi, S., & Tortorella, G. (2022). *A comprehensive framework for classification and selection of H4.0 digital technologies affecting healthcare processes in the grey environment*. The TQM Journal. <https://doi.org/10.1108/tqm-08-2021-0232>
- Shutova, A. (2024). The Use of Artificial Intelligence Technologies in Healthcare: Ethical and Legal Issues. *Juridical World*. <https://doi.org/10.18572/1811-1475-2024-2-48-53>
- Simbenda, M., Iyawa, G., & Osakwe, J. (2023). *A Novel Taxonomy for Applications Used in Remote Healthcare Services*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4645935>
- Snowdon, A., Hussein, A., Olubisi, A., & Wright, A. (2024). Digital maturity as a strategy for advancing patient experience in US hospitals. *Journal of Patient Experience*, 11. <https://doi.org/10.1177/23743735241228931>
- Somani, B. vd. (2022). Legal and Ethical Consideration in Artificial Intelligence in Healthcare: Who Takes Responsibility?. *Frontiers in Surgery*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.862322>
- Stoumpos, A., Kitsios, F., & Talias, M. (2023). Digital Transformation in Healthcare: Technology Acceptance and Its Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043407>
- Teker, E. (2023). Sağlık çalışanlarının endüstri 4.0 uygulamalarına yönelik algılarının teknoloji kabul modeli ile incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Türkiye).
- Toldo, L., Suter-Crazzolara, C., Eberhardt, W., & Gopal, G. (2018). *Digital transformation in healthcare – architectures of present and future information technologies*. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine, 57, 328–335. <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-0658>
- Viegas, I. (2024). The role of information technology in improving the quality of health services in hospitals. *Journal of Social Science (JoSS)*. <https://doi.org/10.57185/joss.v3i7.347>
- Yadav, P., Kumar, V., Simon, G., & Steinbach, M. (2018). Mining Electronic Health Records (EHRs). *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(6), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3127881>
- Yıldız, T. (2018). *Tıbbi Cihazlarda Sağlık Teknolojilerinin Değerlendirilmesi*. Sosyal Güvençe, (13), 116–146.
- Zaim, H., & Tarım, M. (2011). Hasta Memnuniyeti: Kamu Hastaneleri Üzerine Bir Alan Araştırması. *Journal of Social Policy Conferences* (No. 59), 1–24.
- Zhang, Z., Lee, S., Xu, Y., Doktorchik, C., Martin, E., Quan, H., & D'Souza, A. (2020). Unlocking the Potential of Electronic Health Records for Health Research. *International Journal of Population Data Science*, 5(1). <https://doi.org/10.23889/ijpds.v5i1.1123>

DİJİTAL SAĞLIK EKOSİSTEMİ VE TEMEL KAVRAMLAR

Beyzanur ÜSTÜNBAŞ¹

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle beraber iş kolları, endüstriler ve sanayi deniden yapılanma sürecine girmiş ve köklü değişiklikler yaşamıştır. Özellikle teknolojinin itici güç haline geldiği Endüstri 4.0 kavramı ile yalnızca sanayi sektöründe değil neredeyse her iş kolunda adeta dijital bir dönüşüm yaşanmıştır. Bu zorunlu değişimden sağlık sektörü de büyük ölçüde etkilenmiştir. Sağlık hizmetinin oluşturulması süreçlerinden başlayarak, hizmet sunum anında ve hizmet sunumu sonrası takibi aşamalarında dijitalleşmenin etkileri görülmektedir.

İnsan ve toplum sağlığını korumak amacıyla sürekli kendini güncelleyen sağlık, dijitalleşmenin en yoğun gözlemlendiği sektörlerden biridir. Hastalığın tanısı, tedavisi, ilaç ve rehabilite uygulamaları ve takibi dijital uygulamalar sayesinde oldukça kolay hale gelmiştir. Dijital sağlık çatısı altında mobil sağlık uygulamaları ve giyilebilir cihazların kullanımının yaygınlaşması, bilişim sistemlerinin daha kapsamlı, bulut veri sistemlerinin de daha senkron hale geldiği gözlemlenmektedir. Bu sayede klinik personelin yapamayacağı işlemler robotik cerrahi sayesinde yapılabilir hale gelmiş, yapay zeka ile hastalıkların teşhis doğruluğu artmış, giyilebilir teknolojiler ile kişilerin sağlık verilerinin izlenmesi daha kolay hale gelmiştir.

Sağlık alanındaki dijitalleşmeyi ve yenilikleri tam anlamıyla kavrayabilmek için öncelikle bu sistemi oluşturan temel kavramları anlamak gereklidir. Dijital sağlık ekosistemi hem klinik sağlık uygulamalarının hem de teknik bilişim uygulamalarının yoğunlukla iç içe geçtiği bir dizi matris yapıdan oluşmaktadır. Bu bölümde dijital sağlık ekosistemini oluşturan temel kavramlar genel hatlarıyla incelenecektir.

1 Araştırma Görevlisi, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Orcid: 0000-0002-9914-7365, beyzanurustunbas@gmail.com

1. Dijital Sağlık Ekosistemi

1.1. Ekosistem Kavramı

Temelde biyoloji bilimine ait bir kavram olan ekosistem, organizmalardan oluşan, bir çevre içinde bulunan ve organizmalar arası etkileşimin olduğu bir düzendir. Ekosistem, içinde çeşitli türlerin doğum, yaşam, çoğalma ve ölüm süreçlerini, birbirleri ile etkileşim kuracakları şekilde, bir döngü halinde içinde barındıran daha kapsamlı bir sistemdir. Ekosistem, bünyesinde organizma, çevre ve etkileşim unsurlarını barındırdığı sürece küçük bir toprak parçası kadar olabileceği gibi yerküredeki bütün canlılığı kapsayacak kadar da büyük olabilir. Ekosistemlerinin hepsinin sınırları belirlenmiş bir kapsamı vardır. Sistemler uzun müddet var olabileceği gibi geçici olup, yalnızca kısa bir süreliğine de var olabilirler. Dünya ise karmaşık ve kalıcı sistemlerle de doludur. Ayrıca bu ekosistemler insanları ve onların eserlerini de içerebilir (Pickett ve Cadenasso, 2002).

Biyoloji bilimindeki kavramından yola çıkarak endüstriyel ekosistemin tanımı, farklı sistem, yöntem, uygulama ve araçların uygun şekilde bir araya gelip senkronize bir şekilde işlemeleri, bir amaca yönelik hizmet etmeleri ve bu yollar sayesinde yaşamlarına zemin oluşturan fiziksel, dijital ve endüstriyel yaşam alanı olarak ifade edilebilir (Kılıç ve Tosun, 2021).

1.2. Dijital Ekosistem

Dijital ekosistem, dijital bir ortamda bulunan, işlevsel bir birim olarak etkileşimde bulunan; eylemler, bilgiler ve işlem akışları aracılığıyla birbirine bağlanan, birbiriyle ilişkili ve birbirine bağımlı türlerden oluşan dijital toplulukların dinamik ve sinerjik yapılanması olarak tanımlanır (Hadzic ve ark., 2008). Dijital ekosistemlerin tasarımı, kendi kendini organize eden sistemler, ontolojiler, ortam zekası, veri madenciliği, genetik algoritmalar vb. dahil olmak üzere bir dizi farklı ve tamamlayıcı teknolojinin entegrasyonunu gerektirir. Birden fazla teknolojinin entegrasyonu ve ortaya çıkan sinerjik etkiler, son derece karmaşık, dinamik ve güçlü sistemlerin yaratılmasına katkıda bulunur. Dijital ekosistemlerin farklı alanlarda uygulanması, bu alanları daha akıllı ve daha dinamik bir yapı kazandırarak dönüştürme gücüne sahiptir (Hadzic ve ark., 2007; Hadzic ve Chang, 2010).

Dijital ekosistemlerin ilk bileşeni, dijital türlerdir ve biyolojik türler ile benzerlik gösterirler. Özerklik ve kendi kendini idame etme gibi özellikleri canlı organizmalardan aktararak yeni bilgi ve mimarilere ulaşırlar. Dijital türler ise dijital toplulukları oluşturur. Bu dijital topluluklar ise dijital çevrede yaşarlar ve bu dijital çevre, biyolojik çevre ile benzerlik göstermektedir. Dijital çevre, dijital türlerin birlikte yaşadığı, işlev gördüğü ve ilişki kurduğu bir ortamdır.

Her alan (örneğin sağlık, iş, hukuk ve endüstri) kendi dijital ekosistemine sahip olabilir. Bu şekilde, dijital sağlık ekosistemi, dijital iş ekosistemi, dijital hukuk ekosistemi, dijital endüstri ekosistemi vb. oluşturulabilir. (Briscoe ve Wilde, 2006; Briscoe ve ark., 2007).

1.3. Sağlık Ekosistemi

Sağlık hizmeti ekosistemi, hastalara tıbbi bakım ve destek sağlamak için birlikte çalışan çeşitli kuruluşlar, bireyler ve kaynaklardan oluşan karmaşık bir ağdır. Hastaneler, tıbbi tedarikçiler, sağlık profesyonelleri, hastalar ve teknoloji gibi farklı bileşenlerden oluşur ve hepsi sağlık hizmeti tedarik zinciri ve klinik zincir içinde işlev görür. Sağlık hizmeti ekosistemi, sağlık hizmetlerinin verimli ve etkili bir şekilde sunulmasını sağlamak için hastanın merkezde olduğu entegre bir sistem olarak çalışır. Sağlık ekosistemi içindeki kurumlar, hastaneler, tıbbi ekipman tedarikçileri, ilaç tedarikçileri, gıda ve tekstil tedarikçileri, özel temizlik ve sterilizasyon tedarikçileri, lojistik ve bilişim-teknoloji şirketleri olarak sıralanabilir. Ekosistemdeki insan unsuru ise doktorlar, hemşireler, idari personel, hastalar ve aileleri, eczacılar olarak örneklendirilebilir. Bunların yanı sıra tıbbi bilgi, uygulamalar, protokoller ve kurallar, teknolojiler, standartlar, yönetmelikler de bu ekosistemin birer bileşeni olarak yer almaktadır. Bu çok sayıda bileşen genellikle iki ayrı kanalda sınıflandırılabilir: sağlık hizmeti tedarik zinciri ve sağlık hizmetlerinde klinik zincir. Sağlık hizmeti tedarik zinciri, tedarikçilerin, çeşitli tıbbi ürün üreticilerinin, dağıtımçıların, satın alma organizasyonlarının, hastane iç zincirlerinin, bilgi ve teknoloji araçlarının ve lojistik uygulamalarının çok çeşitli durumlarda etkileşiminden oluşur. Tüm bu bileşenlerin yanı sıra, sağlık hizmeti tedarik zincirinin en belirgin özelliği, klinik zincirdeki tüketim sürecine bağımlı bir yapıda olmasıdır. Öte yandan klinik zincir, sağlık hizmeti sürekliliğini (önleme-teşhis-tedavi-rehabilitasyon) destekleyen tıbbi ve klinikle ilgili faaliyetlerin bir birleşimidir. Bu faaliyetler, bakım noktası denilen yerde, yani hasta ve sağlık çalışanının etkileşimde bulunduğu noktada (örneğin ameliyathaneler, hastane odaları, ayakta tedavi klinikleri, doktor muayenehaneleri, hastaların evleri veya işyerleri) gerçekleşmektedir (Scarlat ve ark., 2011).

1.4. Dijital Sağlık Ekosistemi

Sağlık hizmeti sunumundaki son eğilimler, bir hastalığın sürekliliği boyunca multidisipliner ekipler ve çoklu bakım sunumu ortamları tarafından sağlanan entegre ve hasta merkezli bakımı teşvik eder. Hastayı bakımın merkezine yerleştirmek, aynı zamanda hastalığı önleme, iyiliğe odaklanma ve vatandaşın fiziksel, zihinsel ve ruhsal ihtiyaçlarını karşılama anlamına gelir. Mevcut sağlık sistemleri bu talepleri karşılamaya uygun değildir çünkü akut hastalık

bakımına yöneliktirler. Sağlık profesyonellerinin ana aktörler olduğu, hastaların çalışanlarla kısa karşılaşmalarına vurgu yaparlar (Serbanati ve ark.,2011).

Sağlık paradigmasının değişmesi gibi bir zorlukla karşı karşıya kalmak ve sağlık bilişim teknolojilerinin sistematik bir şekilde benimsenmesi yalnızca bir fırsat değil, bir zorunluluk olarak kabul edilir. Bilişim teknolojilerinin desteğiyle kronik hastalıkların yönetimi, evde bakım ve iyileşme, hasta güçlendirme ve birden fazla aktörle klinik çalışmaların koordinasyonu mümkündür (Nourse ve ark., 2023). Dijital teknolojilerin benimsenmesi, sağlık hizmetlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini teşvik etmek ve kalitesini artırmak için sağlık sektörlerinde yenilik yapmaya olanak tanır. Dijital sağlık, sürdürülemez maliyet eğrisiyle mücadele etmek için sağlık hizmetlerini dönüştürecek bir araçtır. Bunun için kaliteyi, güvenliği, erişimi ve maliyet verimliliğini artıracak uygulamalara, süreçlere ve iş akışlarına ihtiyaç vardır.

Dijital teknolojiler ile ivme kazanan Endüstri 4.0 kavramı, bu teknolojilerin geleneksel sistemlere entegre edilmesiyle beraber üretim ve hizmet sektörlerindeki değişimi ifade etmektedir. 4. Endüstri Devrimi'nin temel amacına göre; üretim sürecinde fabrikalarda yer alan makineler, bilgisayarlar, sensörler ve diğer entegre sistemler, yani üretim ekosistemini oluşturan tüm bileşenler, birbirleriyle sürekli bilgi alışverişi içinde olacaktır. Bu süreçte insan faktörüne büyük ölçüde ihtiyaç duyulmadan çalışan bu ekosistemin, optimize edilmiş bir sistem tasarımıyla kurulup işletilmesi mümkün hale gelecektir. Ekosistemin tüm bileşenlerinin durumu ve konumu anlık olarak izlenebilecek; sensörleri aracılığıyla bulundukları çevreyi analiz edebilecek ve kendi yetenekleri çerçevesinde fiziksel tepkiler verebileceklerdir. Üstelik tüm bu işlemleri gerçekleştirirken, dünya genelindeki internete bağlı diğer cihazlarla da gerçek zamanlı bilgi alışverişi yapabileceklerdir (Sağbaş ve Gülseren, 2019). Endüstri 4.0 kavramı yalnızca sanayi sektörünü değil aynı zamanda sağlık sektörü de dahil olmak üzere tüm sektörleri etkilemektedir. Sağlık sektörüne olan etkisiyle beraber Sağlık 4.0 (Health 4.0) kavramı doğmuştur (Çetin, 2023). Endüstri 4.0 kullanılarak tıbbi cihazlar daha verimli, yenilikçi ve faydalı hale getirilmiş, hastalıklara tanı koyma süreçleri hızlanmış ve tedavilerdeki başarı oranı artmıştır. Ek olarak hastane bilgi sistemlerinin de güvenliği daha korunaklı hale getirilmiştir (Büyükgöze ve Dereli, 2019).

Sağlık sektörü, endüstriyel dönüşümler bağlamında yenilikleri diğer sektörlerle göre daha geç benimsemiştir. Ancak nüfusun artması, sağlık ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve sağlık okuryazarlığının gelişmesi gibi faktörler sağlık hizmetlerinde köklü değişikliklerin gerekliliğini ortaya koymuştur. Sağlık sektörü, diğer sektörlerle göre dönüşüm sürecine daha geç katılmış olmasına rağmen değişime oldukça hızlı uyum sağlamıştır. Bu gecikmenin başlıca nedenleri arasında sağlık okuryazarlığının bireylerin eğitim düzeyiyle

eş zamanlı ilerlemesi, internet okuryazarlığı gibi kavramların sanayi devrimlerinden sonra öne çıkması ve artan nüfus ve değişen çalışma koşullarının yeni sağlık sorunlarını beraberinde getirmesi sayılabilir (Tezcan, 2018; Akalın ve Veranyurt, 2020).

Dijital sağlık ekosistemi, sağlık hizmetleri sunumunda birbirlerinin işleyişini, evrimini ve gelişimini etkileyen sağlık endüstrisi ve teknoloji bileşenlerinin bir ağı olarak tanımlanabilir. Bu bileşenler sağlık hizmetini kullananların yanı sıra sağlık hizmetiyle ilgili bilgi ve işlem akışlarını içerir. Dijital sağlık ekosisteminin özünde, insan nüfusunun, vatandaşların sağlık ve refah hedeflerine ulaşmasını güçlendirme amacına sahip olması gerektiği savunulmaktadır (Alvandi ve ark., 2021). Sağlıkta dijital teknolojilere bakıldığında kişinin kendi sağlık durumunu takip edebilmesi, taşınabilir veya giyilebilir sağlık teknolojileri; tanı, teşhis ve tedavi uygulamaları alanlarında akıllı sistemlerin kullanılabilmesi, dijital hastane uygulamaları vb. öne çıkmaktadır. Dijital sağlık ekosistemi ortamında sağlık sunumu, kompleks cihazların, gereksiz süreçlerin, yoğun evrak işinin olduğu fiziksel hastane ortamından farklıdır. Bu yapıda hasta, randevu, muayene ve tanı, tedavi, raporlama, evde bakım gibi süreçlerde internet vasıtasıyla dijital sağlık hizmetlerinden faydalanmaktadır. Hatta bazı durumlarda sağlık profesyonelleri ile hasta fiziksel olarak bir araya gelmez. Giyilebilir teknolojiler ile hastaya ait veriler internet aracılığıyla bulut veri merkezine aktarılır, sağlık profesyoneli ise bu verilere erişerek hasta hakkında tanı koyma veya gözlem yapabilir. Uzaktan bağlantı aracılığıyla muayene yapabilir veya tedavi süreçlerini sürdürebilir (Çetin, 2023).

Dijital sağlık hizmeti ilk olarak 2000 yılında Seth R. Frank tarafından dile getirilmiştir (Frank, 2000). Dijital sağlık ekosistemi, internet ve sağlık hizmetlerinin bir araya gelmesiyle oluşan sağlık hizmetlerini, bilişim teknolojileri, nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri ve yapay zeka gibi “4. Sanayi Devrimi” olarak adlandırılan temel teknolojilerle birleştiren bir hizmet olarak tanımlanmaktadır (Tortorella ve ark., 2022). Ayrıca, dijital sağlık bakımı, kişisel cihazlar ve sağlıkla ilgili uygulamalar aracılığıyla toplanan sağlık bilgileri, biyometrikler ve sağlık davranışları da dahil olmak üzere bilgilere dayalı kişiselleştirilmiş bir sağlık yönetimi süreci sağlar (Nikou ve ark., 2020). Tıbbi alandaki kısıtlı tıbbi erişim ve diğer çözülmemiş sorunlar, geleneksel olarak tıbbi verilere erişimi sınırlamıştır; ancak son zamanlarda dijital sağlık hizmetleri sektörünü teşvik etmek için yeni adımlar da atılmaya başlanmıştır (Park ve ark., 2022). Dijital sağlık bakımının en çarpıcı özelliklerinden bir, hasta büyük verilerinden yararlanarak hastalıkların tedavisini ve tahminini mümkün kılmasıdır. Bu amaçla, kişisel bilgilerin güvenliğini korurken büyük veriyi de etkili bir şekilde kullanmak gerekir.

Dijital sağlık hizmetleri kullanıcılara sunulmadan önce çeşitli süreçlerden geçer ve bu sebeple birçok paydaşı içerir. Mevcut sağlık sisteminde hastaneler, ilaç ve tıbbi cihaz şirketleri ve hastalar ana paydaşları temsil ederken; dijital sağlık hizmeti sektöründeki birincil paydaşlar sigorta şirketleri, telekomünikasyon şirketleri, giyilebilir cihaz üreticileri (örneğin biyosensörler) ve sağlık hizmeti uygulaması çözüm sağlayıcıları olarak sayılabilir ve böylece yeni bir ekosistem oluşmaktadır. Bu değişen paradigmada, dijital sağlık hizmetlerinin kullanımını etkinleştirmek ve teşvik etmek için öncelikle sektör yapısını anlamak gerekir. Özellikle dijital sağlık ürünleri ve uygulamaları, insan vücudunu etkiledikleri için düzenlemeler ve ilgili politikalarla yakından ilişkilidir. Dijital sağlık hizmetlerinin pratikte kullanılabilmesi için, paydaşlar arasındaki ilişkiyi ve sektörle ilgili konuları kavrayarak gelecekteki politika yönlerini belirlemek gerekir.

Dijital sağlık ekosistemi sayesinde bireyler kamu yararına sağlık hizmetlerini iletirmek için uygun sağlık bilgisi kullanımlarından yararlanabilirler. Örneğin, “büyük veri” toplama, yapay zeka ve makine öğrenme algoritmaları gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi, potansiyel olarak sağlık hizmetlerini iyileştirmek için fırsatlar sunabilir. Bu amaçlar için kişisel sağlık bilgilerinin kullanımında gizliliği korumak ve şeffaflığı teşvik etmek, güveni sürdürmek için esas teşkil etmektedir. Kişilerin, uygunsuz fotoğraf veya bilgilerinin kullanımı olmadan, ihtiyaç duydukları sağlık hizmetini alabileceklerinden ve dijital sağlık ekosistemine katılabileceklerinden emin olmaları gerekir. Aksi takdirde doktorlara ve sağlık hizmetleri sistemine bir bütün olarak duyulan güvensizlik, potansiyel olarak olumsuz klinik sonuçlara yol açacak şekilde ilgili sağlık bilgilerinin saklanması neden olabilir (Rockwern ve ark., 2021).

2. Dijital Sağlık Ekosisteminde Temel Kavramlar

Dijital sağlık ekosistemi birçok alt teknik birimden ve çeşitli işleyiş süreçlerinden oluşan kapsamlı bir yapıdır. Bu ekosistemde sağlık alanından klinik uygulamalar olduğu kadar, bilişim sektörünün de teknik uygulamaları yer almaktadır. Bu iki sektörün birleştiği noktalarda ortaya çıkan kavramları ise ancak hibrit işleyiş ve tanımlamalarla açıklamak mümkündür.

2.1. Akıllı Sağlık

Akıllı sağlık hizmeti; giyilebilir cihazlar, nesnelerin interneti ve kablosuz iletişim gibi teknolojiler ile bireyleri, kaynakları ve birimleri birleştirmek ve daha sonra sağlık ortamından farklı şekillerde ele almak adına birleştirici klinik sistemler için ortak bir zemindir (Muhammed ve ark., 2021). Akıllı sağlık hizmeti, sağlık hizmeti sunumunun kapsamını artırmak için nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zeka ve makine öğrenmesi teknolojilerinin etkileşimini

ifade eder. Sağlık verilerinin toplanması, analizin yapılması ve paylaşılmasını sağlamak için çeşitli dijital teknolojilerin ve parçaların entegrasyonunu içerir . Akıllı sağlık, belirli bir engelin mevcut olması durumunda, insanların mevcut durumlarından bağımsız olarak sağlık durumları için bilgi iletişim teknolojilerini kullanılması anlamına gelir (Bimpas ve ark., 2024).

Akıllı sağlık, paydaşlar arasında sağlık sistemine katılımı teşvik eder, katılımcıların ihtiyaç duyulan tedaviye erişmesini sağlar, sağlık personelinin bilinçli karar almasına yardımcı olur ve kaynakların sorumlu bir şekilde dağıtılmasını destekler. Bu şekilde akıllı sağlık hizmeti, sağlık sektöründe daha yüksek düzeyde bir bilgi oluşturmaktır. Akıllı sağlık hizmeti, hastalıkların önlenmesi ve kontrolü, teşhis ve iyileşme, sağlık tesislerinin yönetimi, refah hakkında karar alma ve tıp bilimi dahil olmak üzere farklı hizmetleri entegre eden ve sağlayan tıp uzmanları, sağlık tesisleri ve tıbbi araştırma kuruluşları gibi çeşitli kullanıcılardan oluşur (AbdulRaheem ve ark., 2022).

Akıllı sağlık hizmeti, geleneksel tıbbi sistemi daha verimli, kullanışlı ve kişiselleştirilmiş hale getirerek sağlık hizmetlerinin kalitesini artırır. Doktorlar, hastalar, hastaneler ve araştırma kurumları dahil olmak üzere sağlık alanındaki taraflar arasındaki etkileşimleri teşvik eder. Hastaların sağlık durumu, ilgili doktorlarının herhangi bir anormalliğe veya tıbbi ihtiyaca uzaktan yanıt vermesini sağlamak için giyilebilir cihazlar kullanılarak doktorlar tarafından gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Elektronik sağlık kayıtlarının kullanımı, bir hastanın verilerinin tıbbi profesyoneller arasında konumundan bağımsız olarak iletilmesini sağlar ve böylece hasta bekleme süresini azaltır. Toplanan bu veriler, gelecekte daha iyi tedavi sunacak tıbbi araştırmaları destekleyecek istatistiksel çalışma için de kullanılabilir. Bu gerçek zamanlı sağlık izleme, yalnızca hastaneye yatış ihtiyacını daha da azaltabilecek doğru teşhis için etkili olmakla kalmaz, aynı zamanda tıbbi bir acil durumda hayat kurtarabilir. Dahası, akıllı sağlık hizmeti daha iyi iletişim ve tıbbi kayıtlara erişim kolaylığı sağlar (Shari ve Malip, 2022).

2.2. Mobil Sağlık (m-Health)

Mobil sağlık (mSağlık), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından sağlık hizmeti yönetimini desteklemek için mobil ve kablosuz cihazların kullanımı olarak tanımlanmaktadır. Mobil sağlık hizmeti sunumunda, bilgi ve iletişim teknolojileri arasında cep telefonları, kişisel dijital asistanlar, dizüstü bilgisayarlar, tabletler ve giyilebilir biyometrik monitörler/sensörler bulunur. Mobil sağlık uygulamaları, mobil teknoloji ve sağlık uygulamalarındaki gelişmelerle birlikte evrimleşerek hasta katılımını ve sağlık sonuçlarını iyileştirme konusunda zengin bir geçmişe sahiptir. Mobil sağlık uygulamalarının tarihindeki dönüm noktalarına bakıldığında ilk olarak 2000’li yılların başında

ilaç hatırlatıcıları ve semptom takibi gibi basit görevlere odaklanan ilk mobil sağlık uygulamalarının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu uygulamalar işlevsellik açısından çok kısıtlı olsalar da gelişmiş uygulamaların bir sorunu haline gelen karmaşıklıklardan da uzak durmuşlardır. 2000'li yılların sonlarında, mobil sağlık uygulamaları alanında devrim yaratan akıllı telefonlar yükselişe geçti. Apple App Store ve Google Play Store gibi uygulama mağazalarının tanıtımı, geliştiricilere daha gelişmiş sağlık uygulamaları oluşturmaları için bir platform sağladı. 2010'larda, diyet takibi, egzersiz izleme ve uyku takibi gibi çok çeşitli ihtiyaçları karşılayan sağlık ve fitness uygulamaları hızla yaygınlaştı. Bu uygulamalar sağlıklı davranışları teşvik etmede ve kullanıcıları sağlıklarına proaktif bir yaklaşım benimsemeye teşvik etmede etkili olmuştur. 2010'ların ortalarında mobil sağlık uygulamalarının fitness takipçileri ve akıllı saatler gibi giyilebilir cihazlarla entegrasyonu gerçekleşmiştir. Bu entegrasyon daha kapsamlı bir sağlık takibine olanak sağlamış ve kullanıcılara sağlık ölçümleri hakkında gerçek zamanlı geri bildirim sunmuştur. 2010'ların sonlarında kronik hastalık yönetimi için mobil sağlık uygulamalarının kullanılmasına yönelik artan bir çalışma olmuştur. Uygulamalar, kullanıcıların diyabet, hipertansiyon ve astım gibi rahatsızlıkları yönetmelerine yardımcı olmak, kişiselleştirilmiş bakım planları ve izleme araçları sağlamak için geliştirilmiştir. Günümüzde mobil sağlık uygulamaları daha kişiselleştirilmiş ve doğru sağlık önerileri sunmak için yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarını bünyesinde barındırmaktadır. Bu uygulamalar, kişiye özel tavsiyeler sunmak ve sağlık sorunlarının erken belirtilerini belirlemek için kullanıcı verilerini analiz edebilir. Genel olarak, mobil sağlık uygulamalarının tarihi, hasta katılımını ve sağlık sonuçlarını iyileştirmek için daha sofistike ve etkili araçlara doğru sürekli bir evrim göstermektedir (Okolo ve ark., 2024).

Mobil sağlık alanı, hastalar, sağlık hizmeti sağlayıcıları, sağlık sistemi yöneticileri ve veri hizmetleri tarafından kullanılmak üzere farklı kategorilere ayrılmıştır. Mobil sağlık hizmetleri, geleneksel klinik uygulamaya bir alternatif sunarlar ve hasta bakımının kalitesini artırabilirler. Yanı sıra hasta katılımını artırmak için sağlık hizmeti sağlayıcıları ile hastalar arasındaki bağlantıyı kolaylaştırabilir ve daha önemlisi, hastanın hastalık yolculuğu boyunca daha iyi sağlık sonuçları elde etmesine yardımcı olabilirler. Bazı çalışmalar, mobil sağlık cihazlarının kronik hastalıkların kontrolünde yararlı bir rol oynadığını göstermiştir (Flodgren ve ark., 2015; Fraiche ve ark., 2017; Blandford ve ark., 2020; Portnoy ve ark., 2020). Kronik hastalıklar ve tedavi süreçleri hem hastalar hem de toplum için ekonomik bir yüküdür. Mobil sağlık teknolojileri, iletişim ağlarının kullanımı yoluyla birden fazla kronik hastalığın zamandan ve konumdan bağımsız olarak yönetilmesini sağlar. Birçok çalışma, kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıklar için farklı mobil sağlık

müdahalelerinin etkinliğini araştırmıştır. Araştırmalar arasında yer alan hastalıklar, yaşamı en çok tehdit eden ve uzun süreli hastalıklardan kaynaklanan ölümlerin çoğunluğunu oluşturan hastalıklardır. Ayrıca kanserler, kronik solunum yolu hastalıkları, diyabetes mellitus (DM), kronik böbrek hastalığı ve kronik cilt hastalıkları için de mobil sağlık uygulamalarının yararları geçerlidir (Fan ve Zhao, 2022).

Mobil sağlık müdahalelerinin uzun vadeli hastalıklar üzerindeki etkileri, klinik (örneğin hastalık kontrolünün fizyolojik belirteçleri, yeniden yatış oranları, planlanmamış yeniden yatışlar, semptom değerlendirmeleri, istenmeyen olaylar, egzersiz kapasitesi, hastalıkla ilişkili ölüm oranı ve yaşam kalitesi vb.), öz yeterlilik (örneğin ilaç uyumu, yaşam tarzı değişiklikleri, hasta katılımının ve hastalık bilgisinin ölçümleri) ve ekonomik sonuçlar için farklı çıktı ölçütleri kullanılarak değerlendirilir. Kronik hastalıklar için mobil sağlık müdahaleleri çeşitlidir ve farklı teknolojik yenilikler ve uygulamalar kullanır. Örneğin, hastalar sosyal uygulamaları veya cihazlarını kullanarak görüntülü konferans yoluyla uzak bir konumdan klinik uzmanlarla sorunlarını görüşebilir ve tartışabilirler. Bu tür gerçek zamanlı etkileşimli telekonsültasyon, hastalar ve sağlık hizmeti sağlayıcıları arasındaki ilişkiyi güçlendirir.

Düşük ve orta gelirli ülkelerde mobil sağlık hizmetlerinin en önemli tarafı çoğu gruba ulaşabilmesidir ve bu durum dezavantajlı grupları toplum sağlığı yaklaşımları için ideal hale getirir. Mobil sağlık desteğinin, ağız sağlığı, sigarayı bırakma, cinsel ve üreme sağlığı dahil olmak üzere çeşitli sağlık alanlarında bilgi ve destek sağlanması için kullanıldığı, aynı zamanda HIV tedavisi için ilaç uyumunu ve randevulara katılımı desteklediği bildirilmiştir. Anne ve çocuk sağlığı alanlarında, mobil sağlık müdahaleleri, eğitim, veri toplama ve iletişim amaçlarıyla toplum düzeyinde doğum öncesi ve doğum sonrası bakım sağlamak ve doğum öncesi bakım katılımı ve ilaç uyumu için bireysel düzeyde kullanılmaktadır (McCool ve ark., 2022).

2.3. Robotik Sağlık

Son yüzyıldaki teknolojik gelişmeler, yapay zeka destekli robotların geliştirilmesini mümkün kılmış ve bu robotlar çeşitli sektörlerde insan emeğinin yerini almaya başlamıştır. İleri teknolojinin yoğun olarak kullanıldığı sağlık sektörü bu sektörlerin başında gelmektedir. Robotlar sağlık hizmetlerinde temel olarak iki ana amaç için kullanılmaktadır. Birinci kullanım alanı, bireylere sağlık hizmeti ve desteği sağlayan robot sistemleridir. Bu bağlamda geliştirilen hasta bakım, temizlik personeli, hemşire, danışman ve doktor robotları, ev veya hastane ortamında hastaların nabız, tansiyon ve elektrokardiyogram (EKG) verilerini ölçebilen, ilaç ve benzeri tedavi malzemelerini taşımaya yardımcı olan, hastaların günlük hareketlerini yönlendiren ve tanı ve tedavi süreçlerinde

aktif rol oynayan ekipmanlarla tasarlanmıştır. Japonya, Çin ve Belçika gibi ülkelerde bu tür robotlar özellikle hasta taşıma ve bakım süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Lanfranco vd., 2004; Kılıç, 2017). İkinci grup robotlar ise cerrahi müdahalelerde doğrudan kullanılan veya ameliyatlarda cerrahlara yardımcı olan sistemlerden oluşmaktadır. Örneğin, uzaktan kumandalı bir konsolla kontrol edilen “da Vinci” adlı robotik cerrahi sistemi, cerrahın komutlarına duyarlı robotik kollar sayesinde karmaşık ve yüksek riskli operasyonların daha az kanama, daha az ağrı ve daha kısa iyileşme süreleri ile gerçekleştirilmesine olanak tanır. Ayrıca bu sistemler, insan kaynaklı el titremelerini ortadan kaldırarak cerrahi müdahalelerin hassasiyetini artırır ve hasta güvenliğini en üst düzeye çıkarır. Robotik kollar sayesinde insan elinin ulaşamadığı anatomik bölgelere ulaşmak mümkün hale gelmiş, böylece zor ameliyatlarda daha etkili hale gelmiştir. İlk robotik cerrahi operasyonun 1980 yılında gerçekleştirilmesinden bu yana robotik teknolojiler sağlık alanında önemli ilerlemeler kaydetmiş ve klinik uygulamalarda giderek yaygınlaşmıştır (Kılıç ve Tosun, 2021).

Telecerrahi, cerrahın hastadan fiziksel olarak ayrılmasını ve ayrı bir mekânda bulunmasını mümkün kılarak, yaşamı tehdit edebilecek enfeksiyon bulaşlarının önlenmesine katkı sağlar. Robotik destekli cerrahi uygulamalarında, başucunda görev yapan personel sayısının, açık cerrahiye kıyasla daha az olması da hasta ile sağlık çalışanları arasındaki teması en aza indirerek ameliyathane güvenliğini artırmaktadır. Bu durum, enfeksiyon kontrolü açısından önemli bir avantaj sunmakta olup, deneysel çalışmalarla da desteklenmiştir. Telerobotik cerrahi sistemleri, geleneksel minimal invaziv cerrahi ile ilişkilendirilen pek çok sınırlılığı ortadan kaldırmakta ve cerrahlara çeşitli yeni işlevsel yetkinlikler kazandırmaktadır. Bu yetkinlikler arasında; derinlik algısının geliştirilmesi, motor becerilerin artırılması, cerrahi doğruluğun iyileştirilmesi, el-göz koordinasyonunun güçlendirilmesi ve tek bir kesiden çoklu cerrahi aletin yönlendirilmesi yer almaktadır (Atashzar ve ark., 2017). Bununla birlikte, teleoperasyon sistemleri bilgi ve operasyonel verilerin kaydedilmesine olanak tanımakta; böylece yapay zekâ destekli analizlerin gerçekleştirilmesine ve cerrahi eğitimin desteklenmesine katkı sunmaktadır. Bu veriler hem deneyimsiz cerrahların eğitiminde hem de sistemlerin sürekli gelişiminde önemli bir kaynak işlevi görmektedir (Feizi ve ark., 2021).

2.4. Giyilebilir Sağlık Teknolojileri

Giyilebilir sağlık teknolojileri, vücudun farklı bölgelerine takılabilen veya kullanıcıların sağlık verilerini izlemek için giyilebilir cihazlar olarak kullanılabilen izleme cihazlarıdır. Giyilebilir cihazlar, akıllı saatler, bilezikler, kulaklıklar, deri yamaları, glikoz algılayan lensler veya diğer taşınabilir aletler

gibi biyometrik sensörler veya monitörler içerir. Bu cihazların temel özelliği, hastaların sıcaklık, kan basıncı, nabız ve solunum hızı, oksijen satürasyonu, kan şekeri, elektrokardiyogram (EKG) sinyali ve kalp debisi gibi klinik olarak önemli fizyolojik verilerinin yanı sıra fiziksel aktivite seviyesi ve uyku düzeninin hastaların günlük aktiviteleri sırasında çevresel değişikliklere yanıt olarak göze çarpmayan, invaziv olmayan, sürekli izlenmesi ve kaydedilmesidir. Bu cihazlar, kalp hızı, kan basıncı, uyku düzenleri ve fiziksel aktivite gibi çeşitli sağlık verilerini toplamak için biyosensörler kullanır. Sensör teknolojisindeki gelişmeler ve sensörlerin ve pillerin giderek daha fazla minyatürleştirilmesi, bu cihazların kullanımını her geçen gün daha yaygın hale getirmiştir. Günlük yaşamı kısıtlamadan kolay kullanım sağlamak için tasarlanan bu teknolojiler, bireylerin yalnızca kendi sağlıklarını izlemelerine olanak sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sağlık hizmeti sağlayıcılarının hastaları anında ve güvenilir verilerle izlemelerine de olanak tanır. Giyilebilir tıbbi cihazlar, spor takibi, kalp ritmi izleme, genel sağlık durumu değerlendirmesi ve kronik hastalık yönetimi gibi birçok amaç için kullanılabilir. Ayrıca kişilerin ilaçlarını ne zaman alacağını hatırlatma ve sağlık verilerini takip etme gibi işlevler de sunabilirler. Giyilebilir teknoloji içerisinde sayılan biyosensörler ise günlük kıyafetlere yerleştirilerek veya vücuda yapıştırılarak kişinin hastalıkları ve mevcut durumu hakkında bilgi sağlanmasına yardımcı olur (Büyükgöze, 2019). Bu cihazlar eldiven, giysi, bandaj ve implant şeklinde sunulan taşınabilir sensörlerdir. Kullanıcı ile doktoru arasında iki yönlü geri bildirim oluşturarak, fiziksel hareket ve biyoakışkanlardan sürekli hastalık teşhisi ve sağlık takibine olanak sağlar. Farklı sağlık teknolojileri genellikle belirli klinik durumlar için entegre edilir. Örneğin, akıllı telefon uygulamaları, giyilebilir sensörler veya elektronik monitörlerle elde edilen sağlık verileri veya klinik görüntüler web tabanlı veri toplama platformlarına yüklenir. Bu veriler sağlık profesyonelleri veya bilgisayarlı sistemler tarafından daha fazla incelenecek ve yorumlanacaktır. Geri bildirim ve öneriler hastalara elektronik olarak e-posta/mobil mesajlaşma veya telefon görüşmesi yoluyla veya yüz yüze görüşmeler yoluyla iletilir.

2.5. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT), birbirini algılayabilen ve iletişim kurabilen çeşitli akıllı cihazların oluşturduğu bir ağ yapısıdır. Bu cihazlar, geçmişte karşılaşılan birçok zorluk ve karmaşık durumu analiz etme potansiyeli sayesinde, biyomedikal uygulamalar alanında önemli bir dönüşüm başlatmıştır. IoT tabanlı sistemler, otomatik tıbbi veri toplama süreçlerinin geliştirilmesinde kritik bir rol oynayabilecek büyük miktarda biyomedikal veri üretme kapasitesine sahiptir. Gelişmiş Makine Öğrenimi (ML) algoritmalarıyla entegre edildiğinde, IoT cihazlarının ürettiği büyük veri; tanı, tedavi ve klinik karar destek sistemlerinde vazgeçilmez bir bileşen haline gelir. Biyomedikal alandaki IoT uygulamaları,

yalnızca semptomatik tedavi yaklaşımlarını değil, aynı zamanda hastaların sürekli izlenmesini içeren “Her Şeyin İnterneti” (Internet of Everything - IoE) yaklaşımı çerçevesinde akademik ve klinik ilgiyi artırmaktadır. Özellikle hastaların hayati bulgularını sürekli izlemeye imkân tanıyan minyatür sensörlerin kullanımı, sağlık sistemini daha güvenli hale getirmekte; erken tanı ve müdahale için yüksek bir potansiyel sunmaktadır (Kumar ve ark., 2023).

IoT'nin her yerde bulunan bilgi işlem altyapısı sayesinde, sağlık sistemine ait tüm unsurlar -bireyler, tıbbi cihazlar ve ilaçlar- kesintisiz biçimde izlenebilir ve etkin bir şekilde yönetilebilir hale gelmiştir. IoT teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, daha önce insanlar tarafından manuel olarak yürütülen birçok görevin otomatikleştirilmesine olanak tanıyarak hem sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmakta hem de maliyetleri azaltmaktadır. Bu bağlamda IoT; evde bakım alan bireylerin veya hastanede tedavi gören hastaların uzaktan izlenmesine ve değerlendirilmesine imkân tanıyan mobil sağlık (m-Sağlık) gibi uygulamaları desteklemekte; aynı zamanda bu sistemler arasında bulut bilişim aracılığıyla bütüncül ve süreklilik arz eden bir yapı oluşturmaktadır. Ancak yalnızca bağımsız bir giyilebilir cihaz tasarımı bu sistemlerin etkinliği için yeterli değildir. Esas olarak, vücut alanının tamamı içerisinde yer alan sensörlerin IoT altyapısı üzerinden elde ettikleri verileri, merkezi bulut hizmetleriyle sorunsuz bir şekilde senkronize ettiği kapsamlı ve entegre bir ekosistemin kurulması gereklidir. Bu tür bir sistem, sağlık hizmetlerinin daha etkin, erişilebilir ve kişiselleştirilmiş bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (Yadav ve Ambhaikar, 2023).

Giyilebilir teknolojiler, sensörler ve diğer bağlı cihazların artan yaygınlığı, sağlık hizmeti sunucularının hasta sonuçlarını ve bakım kalitesini artırmak için geniş kapsamlı sağlık verileri toplamasını mümkün kılmaktadır. Ancak bu verilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, sağlık hizmeti sunucularının güçlü ve etkili bilgi işleme altyapılarına sahip olmasını gerektirir. Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti (H-IoT), bu bağlamda; verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve sağlık profesyonellerine ulaştırılması süreçlerini kapsamaktadır. Toplanan veriler, kan basıncı, kalp atım hızı, oksijen satürasyonu gibi hayati belirtilerin yanı sıra, hastaların aktivite düzeyleri, uyku düzenleri ve ilaç kullanımına uyumları gibi bilgileri içerebilir. Sağlık hizmeti sunucuları, bu verileri kullanarak hastalıkların erken belirtilerini tespit edebilir, hastaları uzaktan izleyebilir ve bireyselleştirilmiş tedavi planları oluşturabilir. H-IoT bilgi işleme sürecinin ilk aşaması, verilerin sensörler, giyilebilir cihazlar ve diğer bağlı teknolojiler aracılığıyla toplanmasıdır. Ardından bu veriler, merkezi bir veri tabanına veya bulut tabanlı depolama sistemlerine iletilir. Bu sistemler, yüksek hacimli verileri işleyebilecek kapasitede tasarlanmalı ve farklı konumlardaki sağlık profesyonelleri tarafından erişilebilir olmalıdır.

Veri toplama ve depolamanın ardından gelen analiz aşaması, gelişmiş algoritmalar kullanılarak verilerdeki eğilimlerin, örüntülerin ve sapmaların belirlenmesini içerir. Bu süreçte, hayati bulgulardaki değişimlerin saptanması, hasta davranışındaki düzensizliklerin tespiti ve gelecekteki sağlık risklerinin öngörülmesi amaçlanır. Bu analizlerde makine öğrenimi ve yapay zeka teknolojilerinden de faydalanılmaktadır. H-IoT bilgi işlemenin son aşaması olan veri dağıtımı, elde edilen bilgilerin sağlık hizmeti sunucularına anlaşılır ve erişilebilir biçimde iletilmesini kapsar. Bu kapsamda, eğilimleri ve örüntüleri görselleştiren grafikler, çizelgeler ve uyarı sistemleri oluşturularak sağlık profesyonelleri bilgilendirilir; böylece hasta bakımının kalitesi ve etkinliği artırılır (Kumar ve ark., 2023).

2.6. Teletıp

Tele tıp, sağlık bilgisi, önleyici tedbirler, tedavi ve bakımın tüm yönlerini sunmak amacıyla teknolojinin sağlık alanına uygulanmasını ifade etmektedir. Günümüzde tıbbın en hızlı büyüyen alanlarından biri olan tele tıp, aynı zamanda sağlık hizmetleri pazarında en büyük paya sahip alanlardan biridir. Temel olarak tele tıp, teknolojik araçlar ve uzaktan iletişim yöntemleri aracılığıyla sağlık hizmetlerinin sunulmasıdır. Bu uygulama, geleneksel telefon görüşmelerinden farklı olarak daha gelişmiş dijital platformlar üzerinden yürütülmektedir. Hastaneler genellikle hekimler arası iş birliğine dayalı sağlık hizmetleri sunarken, tele tıp aracılığıyla uzak, deniz aşırı bölgelerde yaşayan veya özel ihtiyaçları olan popülasyonlara yönelik özelleştirilmiş sağlık hizmetleri sağlanabilmektedir. Buna ek olarak, doğrudan tüketiciye yönelik hizmet sunan hasta-hekim etkileşimli tele tıp uygulamaları da hızla büyüyen bir pazar olarak öne çıkmakta ve bireylerin sağlık profesyonellerine daha kolay erişimini mümkün kılmaktadır.

Teknoloji ve güçlü ağ hizmetlerinin kullanımı, sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesine ve daha geniş kitlelere ulaştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu çerçevede tele tıp, bireylerin önleyici sağlık hizmetlerine erişimini kolaylaştırarak uzun vadeli sağlıklarını geliştirmelerine katkı sağlayan etkili bir teknolojidir. Özellikle bulunduğu yer nedeniyle sağlık hizmetlerine erişimi kısıtlı olan ya da uzman desteğine ihtiyaç duyan bireyler için tele tıp büyük avantajlar sunar. Sağlık hizmetlerinin etkinliğini, verimliliğini ve etkililiğini artırma potansiyeline sahip olan bu teknoloji, her ne kadar hâlâ gelişiminin erken aşamalarında olsa da üzerine yapılan araştırmalar giderek artmaktadır. Örneğin, kalp hastalarının hayati bulgularının uzaktan izlenmesi, yaşam kalitelerini yükseltirken aynı zamanda ölüm ve hastaneye yatış oranlarını azaltmaktadır. İnsanlar çeşitli nedenlerle tedavi veya rehabilitasyon hizmetlerine ihtiyaç duyabilir ve tele tıp, bu süreçte en iyi bakımın sağlanmasına katkı sunar. Aynı

zamanda, ruh sağlığı hizmetlerinde de etkili bir alternatif olan tele tıp, hastaların karşılaştığı bazı bürokratik engelleri ortadan kaldırarak süreci kolaylaştırır.

Telemedikal olarak da adlandırılan telekomünikasyon hizmetleri; telefon görüşmeleri, mobil mesajlaşma hizmetleri (kısa mesaj servisi [SMS] ve multimedya mesaj servisi [MMS]), etkileşimli sesli yanıt sistemleri, telekonferans ve benzeri uygulamalar aracılığıyla sağlık hizmetlerinin sunulmasını kapsamaktadır. Özellikle mobil telefon mesajlaşması, düşük maliyetli oluşu, geniş erişilebilirliği ve kullanıcı dostu yapısı sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Mesajlaşma tabanlı müdahaleler hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde kronik hastalıkların yönetiminde en sık araştırılan mobil sağlık uygulamalarından biri haline gelmiştir (Thakkar, 2016; Marcolino, 2018; Rubin, 2019). 2018 yılına kadar gerçekleştirilen 371 çalışmayı kapsayan sistematik bir inceleme, kısa mesajların; ilaç tedavisine uyum, yaşam tarzı değişikliklerinin teşviki, bireyin hastalığını kendi kendine yönetmesi ve sürece aktif katılımı gibi alanlarda sağlık davranışlarını ve hastalığa bağlı sonuçları iyileştirme potansiyeline sahip en yaygın kullanılan mobil sağlık teknolojisi olduğunu ortaya koymuştur (Gürol Urgancı ve ark., 2013; Chow ve ark., 2015; Hall ve ark., 2015).

3. Dijital Sağlık Ekosisteminden Uygulama Örnekleri

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, son yıllarda dijital sağlık hizmetlerini yaygınlaştırmak ve sağlık sisteminde dijital dönüşümü sağlamak amacıyla önemli teknolojik altyapılar ve uygulamalar geliştirmiştir. Bu çerçevede geliştirilen kurumsal dijital uygulamalar, sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırır, sağlık profesyonelleri ile vatandaşlar arasındaki etkileşimi artırır ve sağlık verilerinin bütünsel yönetimini sağlar. Sağlık Bakanlığı tarafından geliştirilen başlıca dijital sağlık uygulamaları, güncel bilgiler ışığında aşağıda tanıtılmaktadır:

- E-Rapor Sistemi

E-Rapor, Sağlık Bakanlığı'na bağlı sağlık kuruluşlarında düzenlenen doğum, engelli, sürücü, istirahat, durum bildirir rapor gibi tıbbi belgelerin dijital ortamda hazırlanmasını ve e-imzalı olarak sunulmasını sağlayan bir sistemdir. Bu uygulama, belgelerin doğrulanabilirliğini artırmakta, bürokratik süreçleri azaltmakta ve hizmet sunum süresini kısaltmaktadır. Aynı zamanda vatandaşların raporlarına e-Devlet üzerinden kolay erişimini mümkün kılar.

- Teleradyoloji Sistemi

Teleradyoloji, özellikle görüntüleme hizmetlerinin yoğun olduğu merkezlerde radyolojik görüntülerin merkezi bir sistem üzerinden değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlar. Türkiye genelinde 7/24 hizmet sunan bu sistem,

kırsal veya uzman eksikliği olan bölgelerdeki sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmakta ve radyoloji uzmanlarının iş yükünü dengelemektedir.

- Dr. e-Nabız (Tele Sağlık Görüşmeleri)

Dr. e-Nabız, vatandaşların uzaktan sağlık danışmanlığı alabilmelerini sağlayan bir görüntülü görüşme sistemidir. Sağlık profesyonelleri ile hastalar arasında çevrim içi bağlantı kurularak muayene öncesi danışmanlık, ilaç kullanımı hakkında bilgilendirme veya takip süreçlerinin yönetimi sağlanmaktadır. Bu sistem, özellikle kronik hastalık takibi ve pandemi dönemindeki uzaktan sağlık hizmetleri kapsamında kritik rol oynamıştır.

- MHRS (Merkezi Hekim Randevu Sistemi)

MHRS, vatandaşların kamu hastaneleri, ağız ve diş sağlığı merkezleri ile aile hekimlerinden randevu almasını kolaylaştıran ulusal düzeyde bir randevu sistemidir. Web, mobil uygulama ve çağrı merkezi (ALO182) üzerinden hizmet veren bu sistem, sağlık hizmetlerinde zaman yönetimini ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlamaktadır. 2024 yılı itibarıyla, MHRS üzerinden görüntülü muayene talebi oluşturma gibi ek dijital hizmetler de test aşamasındadır.

- E-Nabız Kişisel Sağlık Sistemi

E-Nabız, bireylerin kendi sağlık verilerine güvenli bir şekilde erişimini ve bu verileri yönetmesini sağlayan kapsamlı bir dijital platformdur. Tıbbi geçmiş, reçeteler, tahlil sonuçları, görüntüleme raporları ve aşı bilgileri gibi veriler sistem üzerinden görüntülenebilir. E-Nabız, ayrıca bireyin sağlık geçmişini sağlık profesyonelleriyle paylaşmasına da olanak tanır. Yapay zekâ tabanlı öneri sistemleriyle de bireye özel sağlık yönlendirmeleri sunmaktadır.

- NeyimVar Sağlık Ön Tanı Uygulaması

NeyimVar, bireylerin kendi şikayetlerine göre ön tanı alabilecekleri ve ilgili branşa yönlendirilebilecekleri bir yapay zekâ destekli uygulamadır. Kullanıcılar, sistemin sunduğu soru-cevap akışı sayesinde semptomlarına dair muhtemel teşhisler alabilir ve MHRS ile entegre bir şekilde randevu oluşturabilirler. Sistem, tıbbi bilgiye dayalı algoritmalarla çalışarak vatandaşların sağlık okuryazarlığını da artırmayı hedeflemektedir.

Kaynaklar

- AbdulRaheem M, Oladipo ID, Briones A, Awotunde JB, Tomori AR, Jimoh RG, 2022. An efficient lightweight speck technique for edge-IoT-based smart healthcare systems. 5G IoT and Edge Computing for Smart Healthcare, 139-162. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90548-0.00005-X>
- Akalın B. ve Veranyurt Ü, 2020. Sağlıkta dijitalleşme ve yapay zekâ. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Yönetimi Dergisi, 2(2), 128-137.
- Atashzar SF, Polushin IG, Patel RV, 2017. A small-gain approach for nonpassive bilateral telerobotic rehabilitation: stability analysis and controller synthesis. *EEE Trans. Robot*, 33(1), 49-66. <https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2623336>
- Bimpas A, Violos J, Leivadeas A, Varlamis I, 2024. Leveraging pervasive computing for ambient intelligence: A survey on recent advancements, applications and open challenges. *Computer Networks*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.110156>
- Blandford A, Wesson J, Amalberti R, AlHazme R, Allwihan R, 2020. Opportunities and challenges for telehealth within, and beyond, a pandemic. *Lancet Global Health*, 8(11), 1364-65. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30362-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30362-4)
- Briscoe G, Wilde P, 2006. Digital ecosystems: evolving service-orientated architectures. 1st Bio-Inspired Models of Network, Information and Computing Systems, 1-6. <https://doi.org/10.1109/BIMNICS.2006.361817>
- Briscoe G, Sadedin S, Paperin G, 2007. Biology of applied digital ecosystems. Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems and Technologies Conference, 458-63. <https://doi.org/10.1109/DEST.2007.372015>
- Büyükgöze S. ve Dereli E., 2019. Toplum 5.0 ve dijital sağlık. VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık, 07-10.
- Chow CK, Redfern J, Hillis GS, et. all., 2015. Effect of lifestyle-focused text messaging on risk factor modification in patients with coronary heart disease a randomized clinical trial. *JAMA*, 314(12), 1255-63. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.10945>
- Çetin B, 2023. Sağlık hizmetleri ve yapay zeka. Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Bilimler Akademik Araştırmalar Dergisi, 7(17), 53-67. <https://doi.org/10.58202/joecopol.1364565>
- Fan K, Zhao Y, 2022. Mobile health technology: a novel tool in chronic disease management. *Intelligent Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.imed.2021.06.003>
- Feizi N, Tavakoli M, Patel RV, Atashazar SF, 2021. Robotics and ai for teleoperation, tele-assessment, and tele-training for surgery in the era of COVID-19: existing challenges, and future vision. *Front. Robot. AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.610677>
- Flogdren G, Rachas A, Farmer AJ, Inzitari M, Shepperd S, 2015. Interactive telemedicine: effects on professional practice and health care outcomes. *Cochrane Database Systematic Reviews*, 9. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002098.pub2>
- Fraiche AM, Eapen ZJ, McClellan MB, 2017. Moving beyond the walls of the clinic: opportunities and challenges to the future of telehealth in heart failure. *J Am Coll Cardiol HF*, 5(4), 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2016.11.013>
- Frank SR, 2000. Digital health care—the convergence of health care and the internet. *Journal of Ambulatory Care Management*, 23(2), 8-17.
- Gürol Urgancı İ, Jongh T, Jamsek V, Atun R, Car J, 2013. Mobile phone messaging reminders for attendance at healthcare appointments. *Cochrane Veritabanı Sist. Rev.*, (12). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007458.pub3>
- Hadzic M, Dillon T, Chang E, 2007. Use of digital ecosystem and ontology technology for standardization of medical records. 2007 Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems and Technologies Conference, 595-601. <https://doi.org/10.1109/DEST.2007.372043>

- Hadzic M, Dillon TS, 2008. Application of digital ecosystems in health domain. 2008 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies. <https://doi.org/10.1109/DEST.2008.4635222>
- Hadzic M, Chang E, 2010. Application of digital ecosystem design methodology within the health domain. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 40(4), 779-88. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2010.2048022>
- Hall AK, Lewis H, Bernhardt JM, 2015. Mobile text messaging for health: a systematic review of reviews. *Annual Review of Public Health*, 36, 393-415. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031914-122855>
- Kılıç T, Tosun N, 2021. Akıllı sağlık ekosistemi ve güncel uygulama örnekleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 9(3), 543-64. <https://doi.org/10.22139/jobs.1019007>
- Kumar M, Kumar A, Verma S, Bhattacharya P, Ghimire D, et al., 2023. Healthcare internet of things (h-iot): current trends, future prospects, applications, challenges, and security issues. *Electronics*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/electronics12092050>
- Marcolino MS, Oliveira JAQ, D'Agostino M, Ribeiro AL, Alkmim ABM, Ortiz DN, 2018. The impact of mhealth interventions: systematic review of systematic reviews. *JMIR Mhealth Uhealth*, 6(1). <https://doi.org/10.2196/mhealth.8873>
- McCool J, Dobson R, Whittaker R, Paton C, 2022. Mobile health (mhealth) in low- and middle-income countries. *Annual Review of Public Health*, 43, 525-39. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-052620-093850>
- Muhammed G, Alshehri F, Karray F, Saddik AE, Süleyman M, Falk TH, 2021. A comprehensive survey on multimodal medical signals fusion for smart healthcare systems. *Information Fusion*, 76, 355-75. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.06.007>
- Nikou S, Agahari W, Keijzer-Broers W, Reuver M, 2020. Digital healthcare technology adoption by elderly people: A capability approach model. *Telematics and Informatics*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101315>
- Nourse R, Dingler T, Kelly J, Kwasnicka D, Maddison R, 2023. The role of a smart health ecosystem in transforming the management of chronic health conditions. *JMIR Publications*, 25. <https://doi.org/10.2196/44265>
- Okolo CA, Babawarun O, Arowoogun JO, Adeniyi AO, Chidi R, 2024. The role of mobile health applications in improving patient engagement and health outcomes: A critical review. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 2566-57. <https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.11.1.0334>
- Park Y, Park S, Lee M, 2022. Digital health care industry ecosystem: network analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 24(8). <https://doi.org/10.2196/37622>
- Pickett STA, Cadenasso MI, 2002. The ecosystem as a multidimensional concept: meaning, model, and metaphor. *Ecosystems*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0051-y>
- Portnoy J, Waller M, Elliott T, 2020. Telemedicine in the era of COVID-19. *J Allergy Clin Immunol Pract*, 8(5), 1489-91. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.03.008>
- Rockwern B, Johnson D, Sulmasy L, 2021. Health information privacy, protection, and use in the expanding digital health ecosystem: a position paper of the american college of physicians. *Annals of Internal Medicine*, 174(7). <https://doi.org/10.7326/M20-7639>
- Rubin R, 2019. Medicare advantage expands telehealth services. *JAMA*, 321(20). <https://doi.org/10.1001/jama.2019.6674>
- Sağbaş A, Gülseren A, 2019. Endüstri 4.0 perspektifinde sanayide dijital dönüşüm ve dijital olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 1-5.
- Scarlat E, Maracine V, Maries I, 2011. Modelling the dynamics of knowledge flow within networked communities of professionals. *Technology and Knowledge Flow, Chandos Information Professional Series*, 27-50. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-646-3.50002-2>

- Serbanati LD, Ricci FL, Mercurio G, Vasilateanu A, 2011. Steps towards a digital health ecosystem. *Journal of Biomedical Informatics*, 44(4), 621-36.
- Shari NFM, Malip A, 2022. State-of-the-art solutions of blockchain technology for data dissemination in smart cities: A comprehensive review. *Computer Communications*, 189, 120-47. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.03.013>
- Tezcan C, 2018. Sağlıkın dijital dönüşümü. *Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Platformu Dergisi*, 82-85.
- Thakkar J, Kurup R, Laba T, 2016. Mobile telephone text messaging for medication adherence in chronic disease. *JAMA Intern Med.*, 176(3), 340-49. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.7667>
- Tortorella GL, Fogliatto F, Saurin TA, Tonetto LM, McFarlane D, 2022. Contributions of Healthcare 4.0 digital applications to the resilience of healthcare organizations during the COVID-19 outbreak. *Technovation*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102379>
- Yadav L, Ambhaikar A, 2023. Feasibility and deployment challenges of data analysis in tele-healthcare system. 2023 International Conference on Artificial Intelligence for Innovations in Healthcare Industries. <https://doi.org/10.1109/ICAIIHI57871.2023.10489389>

GİRİŞ

Gelişen dijital teknolojiler ve bilgi sistemleri, sağlık sektöründe köklü bir dönüşümü beraberinde getirmiş; bu bağlamda **Sağlık Bilişimi ve Veri Yönetimi**, sağlık hizmetlerinin kalitesini, verimliliğini ve hasta güvenliğini artırmada kritik bir rol oynamaya başlamıştır (Hersh, 2009). Özellikle **Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR)**, hasta bilgilerinin dijital ortamda toplanmasını, saklanmasını ve paylaşılmasını mümkün kılarak hem klinik karar süreçlerini iyileştirmekte hem de sağlık profesyonelleri arasındaki iletişimi kolaylaştırmaktadır (Hayrinen vd., 2008). Elektronik Sağlık Kayıtları sistemlerinin yaygın kullanımı, veri doğruluğunu ve hasta bakım kalitesini artırsa da, bu sistemlerin kötüye kullanımı ya da güvenlik açıkları hasta mahremiyetini ciddi şekilde tehdit edebilir (Fernández-Alemán vd., 2013).

Bu nedenle, **hasta veri güvenliği**, sağlık bilişim sistemlerinin temel odak noktalarından biri haline gelmiştir. Güvenlik ihlallerinin önlenmesi için güçlü kimlik doğrulama, erişim kontrolü, şifreleme gibi teknik önlemlerin yanı sıra, personel eğitimi ve etik farkındalık gibi yönetsel stratejiler de büyük önem taşımaktadır (Ozair vd., 2015). Öte yandan, günümüzde sağlık sektöründe toplanan devasa veri hacmi, **büyük veri analitiği** yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmakta; bu analizler sayesinde hasta eğilimleri, epidemiyolojik riskler ve klinik sonuçlara dair öngörüler geliştirilebilmektedir (Wang vd., 2018). Bu öngörülerin sağlık sistemine entegre edilmesinde ise **Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS)** kilit rol oynamaktadır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı bu sistemler, hekimlerin daha hızlı, kanıta dayalı ve kişiselleştirilmiş kararlar almasını sağlayarak tanı ve tedavi süreçlerini önemli ölçüde optimize etmektedir (Sutton vd., 2020).

1 Öğretim Görevlisi, Ataşehir Adıgüzel Meslek Yüksekokulu, ORCID:0000-0003-1814-796X, ceydaatac@adiguzel.edu.tr

Bu kapsamda sağlık bilişimi; veri yönetiminden sistem güvenliğine, analitik uygulamalardan karar destek sistemlerine kadar geniş bir alanda multidisipliner yaklaşımlarla sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesine öncülük etmektedir.

Sağlık Bilişimi ve Veri Yönetimi

Sağlık bilişimi ve veri yönetimi, günümüzde sağlık sistemlerinin dijital dönüşüm sürecinde merkezi bir rol üstlenmekte ve sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini sağlama açısından stratejik öneme sahip iki temel bileşen olarak öne çıkmaktadır. Elektronik sağlık kayıtları (EHR), klinik karar destek sistemleri ve sağlık bilgi değişim altyapıları gibi teknolojik araçlar sayesinde, hasta bakım kalitesi artırılmakta, sağlık profesyonellerinin karar alma süreçleri daha isabetli hale getirilmekte ve hizmet sunumunda maliyet etkinliği sağlanmaktadır (Buntin vd., 2011; Adler-Milstein ve Jha, 2017). Bununla birlikte, bu dijitalleşme süreci sadece teknik gelişmelerle sınırlı olmayıp; veri güvenliği, mahremiyet, etik ilkeler, birlikte çalışabilirlik ve standartlaşma gibi yapısal sorunların da sistematik şekilde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Yusof vd., 2008; Rumbold ve Pierscioneck, 2017). Özellikle kişisel sağlık verilerinin korunması, hem birey haklarının güvence altına alınması hem de dijital sağlık uygulamalarına olan toplumsal güvenin tesis edilmesi açısından kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir (OECD, 2019).

Bu kapsamda, Türkiye’de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) veri güvenliği açısından yasal çerçeveyi oluşturmaktadır. Geleceğe yönelik öngörüler, yapay zeka, makine öğrenimi ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojilerin daha entegre ve öngörücü sağlık bilişim sistemleri geliştirilmesinde kullanılacağını ortaya koymaktadır (Topol, 2019; Rajkomar vd., 2019). Bu teknolojilerin yaygınlaşması, sadece klinik süreçleri değil; aynı zamanda sağlık politikalarının şekillendirilmesini, kaynak planlamasını ve halk sağlığı yönetimini de dönüştürme potansiyeline sahiptir.

Sağlık Bilişimi

Sağlık sektöründe dijitalleşmenin artmasıyla birlikte, sağlık bilişimi ve veri yönetimi alanları büyük bir önem kazanmıştır. Sağlık bilişimi, sağlık hizmetlerinin sunumunu desteklemek için bilgi teknolojilerinin sistematik kullanımını ifade ederken; veri yönetimi, bu sistemlerde üretilen verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve güvenliğinin sağlanması süreçlerini kapsar (Yusof vd., 2008). Etkili sağlık bilişimi ve veri yönetimi sistemleri, hasta güvenliğini artırmakta, klinik karar destek mekanizmalarını geliştirmekte ve sağlık hizmetlerinin verimliliğini iyileştirmektedir.

Sağlık bilişimi sistemlerinin temelini elektronik sağlık kayıtları (EHR) oluşturur. Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleri, hasta bilgilerini dijital ortamda

kaydederek hem sağlık profesyonelleri arasındaki iletişimi kolaylaştırır hem de tıbbi hataların önlenmesine katkı sağlar (Buntin vd., 2011). Ayrıca, klinik karar destek sistemleri (KDSS), büyük veri analitiğiyle entegre edilerek hekime tanı ve tedavi süreçlerinde yardımcı olur. Klinik karar destek sistemleri, hastanın geçmiş sağlık verilerini analiz ederek en uygun tedavi seçeneklerini önerir (Osheroff vd., 2005).

Veri Yönetimi

Veri yönetimi ise bu sistemlerin kalitesini belirleyen en kritik unsurlardan biridir. Sağlık verilerinin doğru şekilde toplanması, standartlara uygun olarak depolanması ve veri gizliliği ilkelerine uygun biçimde yönetilmesi gereklidir. Özellikle kişisel sağlık verilerinin korunması, yasal ve etik sorumluluklar açısından büyük önem taşır. Türkiye’de bu durum, Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) çerçevesinde düzenlenmektedir (KVKK, 2016).

Bununla birlikte, sağlık bilişiminde yapay zeka (YZ) ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojilerin entegrasyonu, veri yönetimi süreçlerini daha da karmaşık hâle getirmektedir. Ancak bu teknolojiler sayesinde hastalıkların erken teşhisi, tedavi optimizasyonu ve kaynak yönetimi daha etkin hale gelmektedir (Topol, 2019).

1. Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR)

1.1 Tanımı

Elektronik sağlık kayıtları (EHR), bireylerin sağlık geçmişlerine ilişkin verilerin sistematik, dijital ve sürekli güncellenebilir bir şekilde saklandığı sağlık bilişim sistemleridir. Bu kayıtlar; tanımlar, reçeteler, laboratuvar sonuçları, radyolojik görüntüler, alerji bilgileri, bağışıklık geçmişi, tedavi planları ve doktor notlarını içeren kapsamlı veri yapılarıdır (Häyrinen, Saranto ve Nykänen, 2008). Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleri, hasta merkezli bakımın sürdürülmesini kolaylaştırırken aynı zamanda sağlık hizmet sunucuları arasında koordinasyonu güçlendirir. Ayrıca bu sistemler, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaya yönelik veri temelli karar destek sistemlerine de zemin hazırlar.

1.2 Özellikleri

Elektronik Sağlık Kayıtları sistemlerinin sahip olduğu temel teknik ve işlevsel özellikler şunlardır:

- **Zaman ve mekân bağımsız erişim:** Yetkili kullanıcıların farklı sağlık kuruluşlarından hasta bilgilerine erişebilmesi mümkündür.

- **Veri entegrasyonu:** Radyoloji, laboratuvar, e-reçete ve e-nabız gibi diğer dijital sağlık sistemleriyle bütünleşik çalışabilme kapasitesi taşır (Yusof vd., 2008).
- **Standartlara uygunluk:** HL7, SNOMED CT, LOINC ve ICD-10 gibi sağlık bilişim standartları ile uyumlu yapılar sunar.
- **Hasta merkezlilik:** Verilerin bütünlüğü, doğruluğu ve güncelliği sayesinde kişiselleştirilmiş sağlık hizmeti sunumunu destekler.

1.3 Avantajları

Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleri sağlık hizmet sunumu açısından çok yönlü avantajlar sağlamaktadır:

- **Tıbbi hata oranlarını azaltma:** Klinik karar destek sistemleriyle birlikte, tekrarlayan tetkikler ve yanlış ilaç reçeteleme gibi sorunları minimize eder (Buntin vd., 2011).
- **Hizmet kalitesini artırma:** Sağlık profesyonelleri arası bilgi paylaşımını kolaylaştırarak daha hızlı ve etkili karar alınmasını sağlar.
- **Kaynak yönetimi:** Gereksiz testlerin önlenmesiyle sağlık sisteminde maliyet etkinliğine katkı sunar.
- **Halk sağlığına katkı:** Toplumsal sağlık eğilimlerini takip edebilmek için büyük veri analitiğine uygun yapılar sunar (OECD, 2019).

1.4 Riskler ve Zorluklar

Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleri her ne kadar birçok fayda sunsa da bazı riskleri ve zorlukları da beraberinde getirir:

- **Veri bütünlüğü ve güvenilirliği:** Eksik, yanlış veya hatalı veri girişi, klinik süreçlerde yanlış kararların alınmasına yol açabilir.
- **Uyum sorunları:** Sağlık çalışanlarının dijital sistemlere adaptasyonu zaman alabilir ve eğitim gerektirir (Ben-Assuli, 2015).
- **Gizlilik ihlalleri:** Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleri, kötü niyetli kişilerin hedefi haline gelebilecek hassas veriler içerir.
- **İnteroperabilite sorunları:** Farklı yazılım ve donanımlar arasında veri uyumu sağlamak teknik bir zorluktur.

2. Hasta Veri Güvenliği

2.1 Tanımı

Hasta veri güvenliği, bireylerin sağlık bilgilerine ilişkin verilerin; gizliliğinin, bütünlüğünün ve erişilebilirliğinin korunmasına yönelik alınan önlemler bütünüdür. Bu kavram yalnızca teknik önlemlerle sınırlı kalmayıp,

aynı zamanda yasal, etik ve organizasyonel düzenlemeleri de kapsamaktadır (Rumbold ve Pierscionek, 2017). Veri güvenliği, dijital sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği ve hasta güveninin sağlanması açısından vazgeçilmez bir unsurdur.

2.2 Özellikleri

Hasta veri güvenliği aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- **Yetkilendirme ve erişim kontrolü:** Veri yalnızca görev tanımlı doğrultusunda yetkilendirilmiş personel tarafından erişilebilir olmalıdır.
- **Kimlik doğrulama:** Şifre, biyometrik tanıma, kartlı geçiş gibi çok katmanlı doğrulama yöntemleri kullanılır.
- **Veri şifreleme:** Verinin hem aktarım hem de depolama sırasında kriptografik yöntemlerle korunması gereklidir.
- **Denetim izleri:** Sistemde yapılan tüm işlemler loglanarak, gerektiğinde izlenebilirlik sağlanır.

2.3 Avantajları

- **Hukuki sorumlulukların yerine getirilmesi:** 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu ve Avrupa'daki Genel Veri Koruma Tüzüğü düzenlemeleri, veri güvenliğini bir yasal zorunluluk haline getirmiştir (KVKK, 2016; EU GDPR, 2016).
- **Hasta güveninin tesisi:** Mahremiyetin korunması, bireylerin dijital sağlık sistemlerine olan güvenini artırır.
- **İtibar ve kurumsal sürdürülebilirlik:** Veri güvenliği ihlalleri, sağlık kuruluşlarının itibarına ciddi zararlar verebilir.
- **Veri sürekliliği:** Olağanüstü durumlara karşı felaket kurtarma ve veri yedekleme sistemleri kritik öneme sahiptir.

2.4 Riskler ve Tehditler

- **Siber saldırılar:** Fidyeye yazılımlar (ransomware), phishing saldırıları ve DDoS gibi tehditler yaygınlaşmaktadır (Rajkomar vd., 2019).
- **İç tehditler:** Çalışan kaynaklı ihlaller, güvenlik sistemlerini aşındıran en önemli etkenlerden biridir.
- **Yetersiz teknik altyapı:** Özellikle küçük ölçekli sağlık kuruluşlarında güvenlik yazılımlarının eksikliği risk teşkil eder.
- **Yasal yaptırımlar:** Veri ihlalleri, idari para cezaları ve hasta davalarına yol açabilir.

Sağlık Bilişimi ve Veri Yönetiminin Elektronik Sağlık Kayıtları ve Hasta Veri Güvenliği İle İlişkisi

Sağlık bilişimi ve veri yönetimi, günümüzde sağlık hizmet sunumunun niteliğini artıran, klinik karar destek sistemleri, elektronik sağlık kayıtları (EHR) ve veri analitiği gibi bileşenleri içeren disiplinlerarası bir alan olarak tanımlanmaktadır. Bu alandaki dijitalleşme süreçleri, hasta bakım kalitesinin artırılması, sağlık hizmetlerine erişimin kolaylaştırılması ve sağlık sistemlerinde kaynak kullanımının optimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Yasnoff, Overhage, Humphreys ve Detmer, 2001). Özellikle elektronik sağlık kayıtları sistemleri, hastaların klinik, idari ve demografik bilgilerinin dijital ortamda saklanması, güncellenmesi ve yetkili paydaşlarla paylaşılması sürecini kolaylaştırarak hem veri yönetimini merkezileştirmekte hem de sağlık profesyonellerine karar alma süreçlerinde önemli bir destek sunmaktadır (Häyrinen, Saranto ve Nykänen, 2008). Elektronik Sağlık Kayıtları sistemlerinin temel avantajları arasında bilgiye hızlı erişim, hatalı tıbbi uygulamaların azaltılması, veri bütünlüğünün sağlanması ve klinik süreçlerde zaman kazancı yer almaktadır.

Ancak bu gelişmelere paralel olarak hasta veri güvenliği, sağlık bilişim sistemlerinin en kritik konularından biri haline gelmiştir. Kişisel sağlık verileri, yüksek hassasiyet taşıyan bilgiler olduklarından, bu verilerin korunması; gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmelidir (ISO/IEC 27799:2016). Veri güvenliği tehditleri arasında siber saldırılar, kötü amaçlı yazılımlar, yetkisiz erişim, sistem açıkları ve insan hataları yer almaktadır. Bu bağlamda, sağlık kuruluşlarının yalnızca teknik altyapı ile değil; aynı zamanda etik ilkeler, mevzuatlar ve kurumsal politika düzeyinde de veri güvenliğine odaklanmaları gerekmektedir. Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ve Türkiye’de Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) gibi düzenlemeler, hasta mahremiyetini korumaya yönelik yasal çerçeveler sunmaktadır. Ayrıca, sağlık bilişiminde yapay zeka, büyük veri ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin artan kullanımı, veri güvenliği ve etik tartışmaları daha da derinleştirmiştir (Rumbold ve Pierscione, 2017).

Sonuç olarak, sağlık bilişimi ve veri yönetimi alanında başarıya ulaşmak, yalnızca teknolojik altyapının iyileştirilmesine değil, aynı zamanda güvenli, standartlara uygun ve hasta haklarına saygılı sistemlerin tasarlanmasına bağlıdır. Elektronik sağlık kayıtları ile entegre çalışan sağlık bilişim sistemleri, doğru politikalarla desteklendiğinde, hem sağlık hizmetlerinin verimliliğini hem de bireylerin veri mahremiyetine duyulan güveni artıracaktır.

3. Büyük Veri Analitiği:

3.1 Tanımı

Büyük Veri Analitiği (Big Data Analytics), çok çeşitli, yüksek hacimli ve hızlı akan veri kümelerinin sistematik olarak toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve yorumlanarak anlamlı bilgiye dönüştürülmesi sürecidir. Bu süreç, geleneksel veri işleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı ölçekteki verilerle çalışmayı mümkün kılar. Büyük veri, sadece verinin büyüklüğünü değil, aynı zamanda bu verinin çeşitliliğini (örneğin yapılandırılmış, yapılandırılmamış ve yarı yapılandırılmış veri), akış hızını, güvenilirliğini ve potansiyel değerini de kapsayan çok boyutlu bir kavramdır (Laney, 2001).

Sağlık bilişimi bağlamında büyük veri analitiği, bireysel hasta kayıtlarından (elektronik sağlık kayıtları, laboratuvar sonuçları, görüntüleme verileri) toplum düzeyindeki epidemiyolojik gözlemlere kadar geniş bir yelpazede yer alan verileri içerir. Bu veriler, farklı kaynaklardan (hastaneler, aile hekimliği sistemleri, mobil sağlık uygulamaları, giyilebilir cihazlar, genomik dizileme platformları) elde edilir ve hem bireysel klinik karar süreçlerini hem de sağlık sistemlerinin yönetimini desteklemek amacıyla analiz edilir (Ristevski ve Chen, 2018).

Geleneksel sağlık verileri çoğunlukla belirli formatlarda saklanırken, büyük veri kapsamında; metinler (doktor notları), tıbbi görüntüler (BT, MR), genomik diziler, sensör verileri, sosyal medya içerikleri ve gerçek zamanlı akış verileri gibi heterojen yapılar da analiz sürecine dahil olur. Bu nedenle büyük veri analitiği, ileri düzey bilgi teknolojileri, istatistiksel yöntemler, makine öğrenmesi algoritmaları ve yapay zekâ uygulamalarıyla birlikte yürütülür (Wang vd., 2018).

Bu analitik süreç yalnızca teknik bir faaliyet değil; aynı zamanda stratejik bir dönüşüm aracıdır. Çünkü büyük veri analitiği, sağlık hizmetlerinde daha doğru tanı, erken müdahale, kişiselleştirilmiş tedavi planları ve kaynak optimizasyonu gibi hedeflere ulaşılmasına katkı sağlar. Ayrıca, kamu sağlığı yönetimi, klinik araştırmalar, ilaç geliştirme ve sağlık politikalarının belirlenmesinde de önemli rol oynar (Murdoch ve Detsky, 2013).

3.2 Bileşenler (5V Modeli)

Büyük veri sağlıkta genellikle aşağıdaki beş temel özelliğe göre tanımlanır:

- **Hacim (Volume):** Günlük olarak milyonlarca işlem ve sensör verisinin üretimi.
- **Hız (Velocity):** Verilerin çok hızlı üretilmesi ve işlenme ihtiyacının yüksek olması (örneğin, gerçek zamanlı hasta izleme).

- **Çeşitlilik (Variety):** Yapılandırılmış (EHR), yarı yapılandırılmış (e-posta), yapılandırılmamış (görüntü, ses) veri türlerinin bulunması.
- **Doğruluk (Veracity):** Verilerin güvenilirliği, bütünlüğü ve doğruluk düzeyi.
- **Değer (Value):** Verilerin analiz edilerek anlamlı ve karar destekleyici bilgiye dönüştürülmesi (Wang vd., 2018).

3.3 Sağlık Alanındaki Kullanım Alanları

- **Klinik karar desteği:** Yapay zekâ ile entegre sistemler sayesinde tanı ve tedavi süreçlerinde hekimlerin desteklenmesi.
- **Hastalık öngörüsü:** Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi kronik hastalıklar için risk tahmini yapılması.
- **Kişiselleştirilmiş tıp:** Genetik verilerle bireye özel tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi.
- **Halk sağlığı izleme:** Pandemi gibi yaygın sağlık tehditlerinin erken tespiti ve epidemiyolojik analiz.
- **İş süreçleri optimizasyonu:** Hastane yatak yönetimi, hasta akışı ve sağlık çalışanı planlaması.

3.4 Avantajlar

- **Kanıtı dayalı kararlar:** Sağlık hizmetlerinin daha bilimsel ve tutarlı hale getirilmesi.
- **Maliyet azaltımı:** Gereksiz testlerin ve tedavilerin önlenmesi.
- **Hizmet kalitesinin artması:** Hataların azalması ve hasta sonuçlarının iyileştirilmesi.
- **Araştırma ve inovasyon:** Yeni ilaçlar, cihazlar ve tedavi protokollerinin daha hızlı geliştirilmesi.

3.5 Zorluklar ve Riskler

- **Veri entegrasyonu:** Farklı sistemlerden gelen verilerin birleştirilmesi karmaşık olabilir.
- **Veri kalitesi:** Eksik veya tutarsız veri analiz sonuçlarını olumsuz etkiler.
- **Bilişim altyapısı:** Büyük veri işleyebilecek güçlü donanım ve yazılım altyapısı gerektirir.
- **Nitelikli insan kaynağı:** Veri bilimcisi, sağlık bilişimi uzmanı gibi multidisipliner yetkinliklere ihtiyaç duyulur.
- **Yorumlama sorunları:** Analiz sonuçlarının yanlış yorumlanması hatalı kararlar doğurabilir.

3.6 Etik ve Mahremiyet

Büyük veri analitiğinde hasta mahremiyeti kritik öneme sahiptir. Anonimleştirme, veri minimizasyonu ve şeffaf veri kullanımı ilkeleri uygulanmalıdır. Etik olarak, hastaların verilerinin hangi amaçla, kimler tarafından ve ne süreyle kullanılacağı açıkça belirtilmeli, onam süreçleri titizlikle yürütülmelidir (Ienca ve Vayena, 2018).

4. Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS):

4.1 Tanımı

Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS), sağlık hizmeti sunumunda klinisyenlerin karar alma süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilen, bilişim temelli bilgi sistemleridir. Bu sistemler; hasta verileri, güncel klinik rehberler, bilimsel literatür ve sağlık hizmeti politikaları gibi çok çeşitli bilgi kaynaklarını analiz ederek, hekimlere tanı koyma, tedavi planlama, risk değerlendirme ve uygun müdahaleleri belirleme konusunda öneriler sunar. Temel amacı, klinik kararların kalitesini artırmak, hasta güvenliğini sağlamak, tıbbi hataları azaltmak ve sağlık hizmetlerinde etkinliği artırmaktır (Berner, 2009; Kawamoto vd., 2005).

Klinik Karar Destek Sistemleri, Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR) ile entegre çalışarak bireysel hasta bilgilerini analiz eder ve bu analizler sonucunda sistem kullanıcılarına zamanında, hastaya özgü ve bilimsel dayanaklı uyarılar veya öneriler sunar. Bu öneriler; ilaç dozaj hataları, potansiyel ilaç etkileşimleri, laboratuvar değerlerindeki anormallikler veya uygulama dışı tedavi yaklaşımları gibi riskli durumların önceden fark edilmesini sağlayabilir (Osheroff vd., 2012).

Modern Klinik Karar Destek Sistemleri, kural tabanlı sistemlerden yapay zekâ (YZ) destekli tahmin sistemlerine kadar farklı teknolojik altyapılara dayanabilir. Geleneksel sistemler genellikle “eğer-o zaman” (if-then) kuralları ile çalışırken, günümüz sistemleri makine öğrenmesi ve doğal dil işleme gibi gelişmiş yöntemlerle daha öngörücü ve kişiselleştirilmiş öneriler sunabilmektedir (Sutton vd., 2020). Bu sayede Klinik Karar Destek Sistemleri, sadece bilgi sunan araçlar olmanın ötesine geçerek, klinik karar süreçlerine aktif biçimde entegre olan bilişsel destek mekanizmalarına dönüşmektedir.

Klinik Karar Destek Sistemleri’nin etkinliği, kullanıcı dostu tasarım, veri kalitesi, sistemin yerel sağlık ortamına uyumu ve klinik iş akışlarıyla entegrasyonu gibi birçok faktöre bağlıdır. Doğru yapılandırılmış ve uygun bağlamda uygulanan Klinik Karar Destek Sistemleri, klinik uygulamalarda standartlaşmayı teşvik ederken; aynı zamanda hasta sonuçlarının iyileştirilmesine ve sağlık hizmeti maliyetlerinin azaltılmasına da katkı sağlayabilir.

4.2 Temel Bileşenler

- **Bilgi tabanı:** Klinik kılavuzlar, tıbbi literatür, protokoller ve ilaç veri tabanları gibi doğrulanmış bilgilerin saklandığı bölümdür.
- **Çıkarım motoru (inference engine):** Girdi veriler ile bilgi tabanını karşılaştırarak öneri veya uyarılar üretir.
- **Kullanıcı arayüzü:** Hekimin sistemle etkileşim kurduğu ve önerileri aldığı uygulama katmanıdır.
- **Veri entegrasyonu:** Klinik Karar Destek Sistemleri'nin Elektronik Sağlık Kayıtları sistemleriyle ve diğer dijital kaynaklarla eş zamanlı çalışmasını sağlar.

4.3 Kullanım Alanları

- **Tanı desteği:** Belirtiler ve test sonuçlarına dayanarak olası tanıları sıralar.
- **İlaç yönetimi:** Doz uyarıları, ilaç etkileşimleri, alerji kontrolleri.
- **Risk sınıflandırması:** Kalp krizi, inme, enfeksiyon riski gibi klinik senaryolarda erken uyarı sağlar.
- **Klinik rehber desteği:** Kanıta dayalı tedavi protokollerini uygulama sürecine entegre eder.
- **Hasta güvenliği:** Yanlış ilaç, doz hatası gibi önlenabilir tıbbi hataları azaltır.

4.4 Avantajlar

- **Karar kalitesini artırır:** Klinik kararları daha doğru, hızlı ve kanıta dayalı hale getirir.
- **Hasta güvenliği sağlar:** İlaç etkileşimleri ve kontrendikasyonlar gibi riskleri önceden bildirir.
- **Standartlaşmayı teşvik eder:** Klinik rehberlerin tutarlı şekilde uygulanmasını sağlar.
- **Zaman kazandırır:** Karmaşık hasta verilerinin analizini hızlandırır.
- **Eğitimsel katkı sağlar:** Genç klinisyenler için rehberlik sunar.

4.5 Zorluklar ve Sınırlılıklar

- **Kullanıcı direnci:** Bazı hekimler, sistem önerilerini dikkate almama eğilimindedir.
- **Aşırı uyarı yüklemesi (alert fatigue):** Gereksiz veya sık uyarılar sistemin etkinliğini azaltabilir.
- **Veri kalitesi:** Elektronik Sağlık Kayıtları sistemlerine girilen eksik ya da hatalı veriler analiz doğruluğunu etkiler.

- **Uyum sorunları:** Klinik Karar Destek Sistemleri'nin farklı sistemlerle entegrasyonu ve özelleştirilmesi zaman alabilir.
- **Sorumluluk paylaşımı:** Sistem önerisine uyulmaması halinde yasal sorumluluk kime aittir sorusu etik tartışmalara yol açabilir.

4.6 Etik ve Hukuki Boyutlar

Klinik Karar Destek Sistemleri'nin önerileri klinisyen kararlarını etkileme potansiyeline sahip olduğu için etik ilkeler açısından dikkatle değerlendirilmelidir. Hekim, sistem önerisini sorgulayıp nihai kararı vermelidir; Klinik Karar Destek Sistemleri yalnızca destekleyici bir araçtır (Shortliffe ve Cimino, 2014). Ayrıca, sistemlerin algoritmik şeffaflık taşıması ve hasta verilerinin gizliliğini ihlal etmeyecek biçimde çalışması gerekir.

4.7 Geleceğe Yönelik Eğilimler

Yapay zekâ (YZ) tabanlı Klinik Karar Destek Sistemleri, özellikle makine öğrenmesi ve doğal dil işleme teknolojileriyle desteklenerek daha öngörücü, kişiselleştirilmiş ve öğrenen sistemler haline gelmektedir. Bu gelişme, özellikle onkoloji, yoğun bakım ve kronik hastalık yönetimi gibi alanlarda çığır açıcı olabilir (Sendak vd., 2020).

Sağlık Bilişimi ve Veri Yönetiminin, Büyük Veri Analitiği ve Klinik Karar Destek Sistemleri ile İlişkisi

Sağlık bilişimi, sağlık hizmetlerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin sistematik kullanımını ifade ederken; veri yönetimi, bu teknolojiler aracılığıyla toplanan sağlık verilerinin doğru biçimde saklanması, işlenmesi, paylaşılması ve analiz edilmesini kapsamaktadır (Yasnoff vd., 2001). Bu iki kavram, sağlık sistemlerinde dijitalleşmenin ve veri odaklı karar süreçlerinin temelini oluşturur. Son yıllarda bu yapıların etkisi, özellikle **Büyük Veri Analitiği** ve **Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS)** gibi ileri düzey uygulamalarla daha belirgin hale gelmiştir.

Büyük Veri Analitiği, sağlık bilişimi altyapıları tarafından üretilen büyük hacimli, çeşitli ve hızlı akan verilerin analiz edilmesiyle elde edilen anlamlı bilgileri ifade eder. Elektronik sağlık kayıtları, laboratuvar sonuçları, medikal görüntüler, giyilebilir cihazlardan gelen veriler, hasta şikâyetleri ve genetik bilgiler gibi çok sayıda veri kaynağı, sağlık veri yönetimi sistemleri aracılığıyla toplanmakta ve büyük veri teknolojileri ile analiz edilmektedir (Raghupathi ve Raghupathi, 2014). Bu analizler, hastalık eğilimlerinin izlenmesi, bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi ve epidemiyolojik öngörülerde bulunulması gibi amaçlarla kullanılabilir. Sağlık bilişimi bu

noktada hem altyapıyı hem de süreci yöneten çatı disiplin olarak kritik rol üstlenmektedir.

Diğer yandan, **Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS)** de sağlık bilişimi içinde yer alan, veri yönetiminden elde edilen hasta bilgilerini kullanarak sağlık profesyonellerine klinik kararlarında yardımcı olan dijital araçlardır. Bu sistemler, hem büyük veri analitiğinden elde edilen kanıta dayalı içgörülerden hem de doğru yapılandırılmış hasta verilerinden yararlanarak hekime tedavi önerileri, ilaç uyarıları veya tanı destekleri sunar (Sutton vd., 2020). Etkili bir Klinik Karar Destek Sistemleri, yüksek kaliteli veri yönetimini ve güçlü bilişim altyapısını gerektirir; çünkü sistemin sunduğu önerilerin doğruluğu, temel aldığı verilerin güvenilirliğine doğrudan bağlıdır.

Bu üç kavram birbiriyle bütünleşik çalışarak sağlık hizmetlerinde dönüşüm yaratır: Sağlık bilişimi, dijitalleşmiş sağlık ortamının temelini atarken; veri yönetimi, bu ortamda üretilen bilgilerin güvenli, bütünlüklü ve erişilebilir olmasını sağlar. Büyük veri analitiği, bu verilerden derinlemesine içgörüler çıkararak anlam üretirken; klinik karar destek sistemleri ise bu anlamı hekimin kullanımına sunarak karar kalitesini artırır. Böylece, hasta güvenliği, tanı doğruluğu, tedavi etkinliği ve sağlık hizmeti verimliliği anlamlı biçimde gelişir (Wang vd., 2018).

Kaynakça

- Adler-Milstein, J., & Jha, A. K. (2017). HITECH Act drove large gains in hospital electronic health record adoption. *Health Affairs*, 36(8), 1416–1422. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2016.1651>
- Ben-Assuli, O. (2015). Electronic health records, adoption, quality of care, legal and privacy issues and their implementation in emergency departments. *Health Policy*, 119(3), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2014.11.014>
- Berner, E. S. (2009). *Clinical decision support systems: theory and practice*. Springer.
- Buntin, M. B., Burke, M. F., Hoaglin, M. C., & 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. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2011.0178>
- EU GDPR. (2016). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- Fernández-Alemán, J. L., Señor, I. C., Lozoya, P. Á. O., & Toval, A. (2013). *Security and privacy in electronic health records: A systematic literature review*. *Journal of Biomedical Informatics*, 46(3), 541–562.
- Häyrynen, K., Saranto, K., & Nykänen, P. (2008). Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: A review of the research literature. *International Journal of Medical Informatics*, 77(5), 291–304. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2007.09.001>
- Hersh, W. (2009). *A stimulus to define informatics and health information technology*. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 9(1), 24.
- Ienca, M., & Vayena, E. (2018). On the responsible use of digital data to tackle the COVID-19 pandemic. *Nature Medicine*, 26(4), 463–464. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0832-5>
- ISO/IEC. (2016). *ISO/IEC 27799:2016 - Health informatics — Information security management in health using ISO/IEC 27002*. International Organization for Standardization.
- Kawamoto, K., Houlihan, C. A., Balas, E. A., & Lobach, D. F. (2005). Improving clinical practice using clinical decision support systems: A systematic review of trials to identify features critical to success. *BMJ*, 330(7494), 765. <https://doi.org/10.1136/bmj.38398.500764.8F>
- KVKK. (2016). *Kişisel Verilerin Korunması Kanunu*. T.C. Resmî Gazete. <https://www.kvkk.gov.tr>
- Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity, and variety. META Group Research Note, 6(70), 1–4.
- Murdoch, T. B., & Detsky, A. S. (2013). The inevitable application of big data to health care. *JAMA*, 309(13), 1351–1352. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.393>
- OECD. (2019). *Health in the 21st Century: Putting Data to Work for Stronger Health Systems*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e3b23f8e-en>
- Osheroff, J. A., Pifer, E. A., Teich, J. M., Sittig, D. F., & Jenders, R. A. (2005). Improving outcomes with clinical decision support: an implementer's guide. HIMSS.
- Osheroff, J. A., Teich, J. M., Levick, D., Saldana, L., Velasco, F. T., Sittig, D. F., ... & Rogers, K. M. (2012). Improving outcomes with clinical decision support: An implementer's guide (2nd ed.). HIMSS.
- Ozair, F. F., Jamshed, N., Sharma, A., & Aggarwal, P. (2015). *Ethical issues in electronic health records: A general overview*. *Perspectives in Clinical Research*, 6(2), 73–76.
- 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>
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347–1358. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1814259>
- Ristevski, B., & Chen, M. (2018). Big data analytics in medicine and healthcare. *Journal of Integrative Bioinformatics*, 15(3), 1–15. <https://doi.org/10.1515/jib-2017-0030>

- Rumbold, J. M. M., & Pierscionek, B. K. (2017). The effect of the general data protection regulation on medical research. *Journal of Medical Internet Research*, 19(2), e47. <https://doi.org/10.2196/jmir.7108>
- Sendak, M. P., D'Arcy, J., Kashyap, S., Gao, M., Nichols, M., Corey, K., Ratliff, W., & Balu, S. (2020). A path for translation of machine learning products into healthcare delivery. *npj Digital Medicine*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0212-0>
- Shortliffe, E. H., & Cimino, J. J. (Eds.). (2014). *Biomedical informatics: Computer applications in health care and biomedicine* (4th ed.). Springer.
- Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., & Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. *npj Digital Medicine*, 3(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0221-y>
- Topol, E. (2019). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books.
- Wang, Y., Kung, L., Wang, W. Y. C., & Cegielski, C. G. (2018). An integrated big data analytics-enabled transformation model: Application to health care. *Information & Management*, 55(1), 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.im.2017.04.001>
- Yasnoff, W. A., Overhage, J. M., Humphreys, B. L., & Detmer, D. E. (2001). A national agenda for public health informatics. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 8(6), 535–545. <https://doi.org/10.1136/jamia.2001.0080535>
- Yusof, M. M., Kuljis, J., Papazafeiropoulou, A., & Stergioulas, L. K. (2008). An evaluation framework for Health Information Systems: human, organization and technology-fit factors (HOT-fit). *International Journal of Medical Informatics*, 77(6), 386–398. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2007.08.011>

YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN SAĞLIK YÖNETİMİNDE KULLANIMI

Tunahan ÇEVİK¹

Son yıllarda sağlık hizmetleri sektörü, dijital dönüşüm süreçlerinin etkisiyle köklü bir değişim süreci yaşamaktadır. Bu dönüşümün en dikkat çeken unsurlarından biri, yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (MÖ) teknolojilerinin sağlık sistemine entegrasyonudur. Yapay zekâ, insan benzeri kararlar alabilen sistemlerin geliştirilmesini ifade ederken, makine öğrenmesi bu sistemlerin veri analizi yoluyla öğrenmesini ve kendini geliştirmesini sağlayan bir alt disiplindir (Jiang vd., 2017).

YZ ve MÖ teknolojileri, tanı koyma süreçlerinden tedavi planlamasına, hasta takibinden klinik karar destek sistemlerine kadar birçok alanda sağlık hizmetlerinin etkinliğini ve verimliliğini artırmaktadır (Topol, 2019). Özellikle büyük veri analitiği, doğal dil işleme ve görüntü tanıma gibi alt teknolojilerin gelişimi sayesinde sağlık yöneticileri daha doğru, hızlı ve maliyet etkin kararlar alabilmektedir (Esteve vd., 2019). Bu teknolojiler, aynı zamanda hastaların sağlık süreçlerine daha aktif katılımını sağlayarak kişiselleştirilmiş tıbbın gelişimine de katkı sunmaktadır (Rajkomar vd., 2019).

Bununla birlikte, yapay zekânın sağlık sistemine entegrasyonu yalnızca teknik bir dönüşüm değil; aynı zamanda etik, hukuki ve yönetsel sorumlulukları da beraberinde getirmektedir. Veri güvenliği, hasta mahremiyeti ve algoritmik şeffaflık gibi konular, sağlık yöneticileri açısından dikkatle ele alınması gereken başlıca hususlar arasında yer almaktadır (He vd., 2019).

Bu bölümde, yapay zekâ ve makine öğrenmesinin sağlık yönetimi bağlamında tanı, tedavi ve hasta takibi uygulamaları; robotik süreç otomasyonu, radyolojik görüntü analizlerinde derin öğrenme gibi alanlardaki güncel kullanımları incelenecek, sağlık sistemine entegrasyon süreci ele alınacaktır.

1. Tanı, Tedavi ve Hasta Takibinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Sağlık yönetimi alanında Yapay zekânın (YZ) ve makine öğrenmesinin (MÖ) kullanımı, günümüz sağlık hizmetlerinde dijital dönüşümü hızlandıran en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. YZ temelli sistemler, klinik karar alma süreçlerini desteklemekte, hasta güvenliğini artırmakta ve kaynak kullanımını optimize etmektedir. Özellikle tanı, tedavi ve hasta takibi gibi temel klinik uygulama alanlarında YZ, eski yöntemlere kıyasla daha hızlı, hassas ve kişiselleştirilmiş çözümler sunmaktadır (Alowais vd., 2023).

1.1. Tanıda Yapay Zekânın Rolü

YZ ve MÖ algoritmaları, büyük ve çok boyutlu tıbbi verilerin analiz edilerek hastalık tanısında kullanılmasını sağlamaktadır. Görüntüleme tekniklerinden (BT, MR, ultrason, röntgen vb.) elde edilen veriler üzerinde eğitilen derin öğrenme (deep learning) modelleri, radyologların gözden kaçırabileceği mikroskobik anomalileri saptayabilmektedir. Bu sayede, örneğin akciğer nodüllerinin malignite derecesi ya da beyin tümörlerinin sınıflandırılması gibi karmaşık tanılarda çok daha hassas sonuçlar elde edilmektedir (Alowais vd., 2023).

Ahsan ve Siddique (2021), kalp hastalıkları tanısı için eğitilmiş MÖ algoritmalarını sistematik olarak inceleyerek, bu yaklaşımların EKG, eko ve kan testleri gibi parametreler üzerinden hastalık riskini %90'ın üzerinde bir doğrulukla tahmin edebildiğini göstermiştir. Bu çalışma, erken tanının önemi göz önüne alındığında YZ'nin halk sağlığına yapabileceği katkıyı net bir şekilde ortaya koymaktadır.

1.2. Tedavi Süreçlerinde Klinik Karar Destek Sistemleri

YZ tabanlı Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS), hasta verilerini analiz ederek hekime alternatif tedavi senaryoları sunmakta ve kanıta dayalı karar almayı desteklemektedir. Bu sistemler, tedavi planlamasını kişiselleştirmenin önünü açarak hem klinik sonuçları iyileştirir hem de tedavi sürecini daha etkin hale getirir.

Goswami (2024), yapay zekânın klinik uygulamalardaki etkisini inceleyen çalışmasında, YZ'nin kanser tedavisinde kemoterapi dozlarını optimize etme, psikiyatrik bozukluklarda ilaç yanıtlarını tahmin etme ve antibiyotik seçiminde mikrobiyolojik verilere dayalı karar verme gibi önemli alanlarda kullanıldığını belirtmektedir. Aynı zamanda Gala vd., (2024), kardiyoloji alanında YZ destekli klinik karar sistemlerinin mortalite oranlarını azaltmada ve hekim-hasta iletişimini iyileştirmede etkili olduğuna dikkat çekmektedir.

YZ ayrıca cerrahi planlama, radyoterapi hedeflemesi ve farmakogenetik analizlerde de karar alma süreçlerini desteklemektedir. Bu sistemlerin kullanımıyla hata payı azalmakta, tedaviye bağlı komplikasyonlar minimuma indirgenmektedir.

1.3. Hasta Takibi ve Uzaktan İzleme

Yapay zekâ, hasta takibinde özellikle kronik hastalıkların yönetimi ve postoperatif bakım süreçlerinde yeni olanaklar sunmaktadır. Remote Patient Monitoring (RPM) sistemleri, giyilebilir teknolojiler aracılığıyla elde edilen biyo-verilerin (kalp atım hızı, vücut sıcaklığı, oksijen doygunluğu vb.) YZ algoritmaları ile analiz edilmesini sağlar. Shaik vd., (2023), bu sistemlerin hekimlere anlık karar desteği sunduğunu, hasta acil durumlarının erken fark edilmesini sağladığını ve hastane yatış oranlarını azalttığını belirtmektedir.

He vd., (2023), COVID-19 pandemisi sonrasında YZ destekli RPM sistemlerinin bulaşıcı hastalık yönetimi ve evde izlem modelleri üzerindeki etkisini vurgulamıştır. YZ algoritmaları sayesinde riskli hastalar önceliklendirilebilmekte, sistem kaynakları verimli dağıtılabilir.

Ayrıca, Elvas vd., (2025) tarafından yayınlanan bir çalışma, kardiyovasküler hastalıklarda YZ destekli erken uyarı sistemlerinin ani kalp krizlerini önceden tahmin ederek acil müdahale süresini azaltabileceğini ortaya koymuştur. Bu gibi gelişmeler, hasta yaşam kalitesini artırmanın ötesinde, sağlık sistemlerinin mali yükünü de azaltmaktadır.

1.4. Açıklanabilirlik ve Etik Hususlar

YZ'nin sağlıkta benimsenmesi sadece teknik başarıya değil, aynı zamanda etik şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi unsurlara da bağlıdır. YZ kararlarının “açıklanabilir” olması hem hekimlerin sistemlere güvenini artırmakta hem de hastalara sunulan hizmetin etik sorumluluğunu desteklemektedir. Alharthi vd., (2024), XAI (Explainable AI) tekniklerinin sağlık profesyonellerine YZ sistemlerinin iç mantığını anlatmasında ve hastalara sunulacak bilgi kalitesinin yükseltilmesinde önemli olduğunu vurgulamaktadır.

YZ sistemlerinin kullanımında ayrımcılık, veri mahremiyeti, algoritmik yanlılık ve yasal sorumluluk gibi etik konular da dikkate alınmalıdır. Klinik uygulamalar için geliştirilen YZ modellerinin karar algoritmaları, insanlar tarafından izlenebilir ve sorgulanabilir olmalıdır.

YZ ve MÖ tabanlı teknolojiler, tanıdan tedaviye ve hasta takibine kadar sağlık hizmetlerinin her aşamasında önemli katkılar sağlamaktadır. Klinik doğruluğu artıran bu sistemler aynı zamanda hasta memnuniyetini, maliyet etkinliğini ve hizmet kalitesini de yükselmektedir. Bununla birlikte, bu

teknolojilerin benimsenmesinde etik ilkelere uygunluk, şeffaflık ve sorumluluk bilinciyle hareket edilmesi büyük öneme sahiptir.

2. Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) ve Sağlık Hizmetleri

Dijital teknolojilerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, hizmet kalitesi, erişilebilirlik ve verimlilik açısından radikal dönüşümleri beraberinde getirmiştir. Bu dönüşümün öncülerinden biri olan Robotik Süreç Otomasyonu (RPA), sağlık hizmetlerinde manuel, tekrarlayan ve zaman alıcı görevlerin yazılım robotları aracılığıyla otomatikleştirilmesini sağlar. RPA sistemleri, insan müdahalesine gerek kalmaksızın, belirli kurallara dayalı işlemleri hızlı ve hatasız biçimde yerine getirme kapasitesine sahiptir. Sağlık sektörünün doğası gereği yüksek hacimli veri ve belge akışı gerektiren bir alan olması RPA'nın bu alandaki potansiyelini oldukça değerli kılmaktadır (Jain ve Soni, 2019).

2.1. Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) Nedir?

Robotik Süreç Otomasyonu (RPA), yazılım robotlarının insanların dijital arayüzler üzerinden gerçekleştirdiği tekrarlayan ve kural tabanlı görevleri taklit etmesini sağlayan bir teknolojidir (Aguirre ve Rodriguez, 2017). RPA sistemleri, kullanıcı arayüzü düzeyinde çalışarak sistemler arasında veri giriş-çıkış işlemlerini otomatikleştirir; bu da özellikle iş süreçlerinin standardizasyonu, hataların azaltılması ve verimliliğin artırılmasında büyük avantajlar sağlar (Willcocks vd., 2015).

RPA, sağlık sektörü gibi yüksek işlem hacmine ve veri yoğunluğuna sahip alanlarda verimliliği artırmak, hata oranlarını azaltmak ve maliyetleri düşürmek için önemli fırsatlar sunmaktadır (Kaur vd., 2023). Geleneksel manuel süreçlerin dijital robotlarla yürütülmesi, özellikle sağlık hizmetlerinde daha hızlı ve hatasız sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır.

2.2. RPA'nın Sağlıkta Kullanım Alanları

RPA'nın sağlık sistemlerinde uygulanabilirliği oldukça geniştir ve yalnızca idari süreçlerle sınırlı kalmamaktadır. Randevu planlama, hasta kabul işlemleri, hasta verilerinin sisteme aktarılması, sigorta kontrolü, reçete işlemleri, tıbbi kayıtların güncellenmesi ve laboratuvar sonuçlarının analiz edilmesi gibi birçok süreç, RPA ile otomatize edilebilmektedir. Klinik süreçlerde de RPA, laboratuvar verilerinin entegrasyonu, hasta geçmişi analizleri ve klinik karar destek sistemleri ile entegre çalışarak hekimlere yardımcı olmaktadır (Sharma vd., 2020). Başlıca RPA'nın kullanım alanları:

• Hasta Kayıt ve Randevu Sistemleri

RPA, hasta kayıtlarının dijital sistemlere aktarılması, kimlik doğrulama ve randevu planlama süreçlerinin otomatikleştirilmesinde yaygın olarak

kullanılmaktadır (Kaur vd., 2023). Bu uygulamalar, hasta kabul sürecinde %40'a varan zaman tasarrufu sağlamakta ve işlem hatalarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Kaur vd., 2023). Ayrıca bu otomasyon, hasta deneyimini geliştirmekte ve sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmaktadır (Nimkar vd., 2024).

- **Sigorta Onayları ve Faturalama**

Sigorta provizyon işlemleri ve medikal faturalama, genellikle zaman alan ve dikkat gerektiren süreçlerdir (Chaturvedi ve Sharma, 2023). RPA teknolojisi sayesinde bu işlemler otomatik hale getirilerek hem işlem süresi hem de maliyetler azalmaktadır (Chaturvedi ve Sharma, 2023). Örneğin, bir sağlık kuruluşunda yapılan çalışmada RPA kullanımı sonrası fatura döngüsünün %60 oranında kısaltığı tespit edilmiştir (Chaturvedi ve Sharma, 2023).

- **Laboratuvar Sonuçları ve Klinik Bilgi Sistemleri**

RPA teknolojisi, laboratuvar sonuçlarının hasta bilgi sistemlerine otomatik entegrasyonunu sağlamaktadır (Nimkar vd., 2024). Bu sayede sağlık profesyonelleri, hızlı ve güvenilir bilgilere erişerek daha doğru klinik kararlar verebilmektedir (Nimkar vd., 2024). Ayrıca bu entegrasyon, manuel veri girişinden kaynaklı hataları ortadan kaldırmaktadır (Patrício vd., 2024).

- **Uzaktan Hasta Takibi**

RPA, giyilebilir sağlık cihazlarından gelen verileri analiz ederek, sağlık uzmanlarına anlık raporlar sunmaktadır (Nimkar vd., 2024). Bu uygulama, özellikle diyabet ve hipertansiyon gibi kronik hastalıkların yönetiminde büyük fayda sağlamaktadır (Kaur vd., 2023). Ayrıca RPA, uzaktan izleme sistemleri ile birleştğinde hasta sağlığında proaktif yaklaşımlar geliştirilmesine katkı sunmaktadır (Patrício vd., 2024).

2.3. RPA'nın Sağlık Alanına Faydaları

Sağlık sistemlerinde oldukça geniş yer alan RPA'nın faydaları:

RPA teknolojisinin sağlık sistemlerinde uygulanması, birçok önemli avantajı beraberinde getirmektedir. İlk olarak, operasyonel verimlilik ve maliyet tasarrufu açısından önemli katkılar sunmaktadır. Tekrarlayan idari işler RPA ile otomatikleştirilerek zaman ve iş gücü tasarrufu sağlanmakta, aynı zamanda işlem hataları azaltılmaktadır. Bu durum, kaynakların daha stratejik alanlara yönlendirilmesine olanak tanımaktadır (Kaur vd., 2023).

İkinci olarak, hastaya özgü hizmet kalitesi ve memnuniyet artmaktadır. Randevu planlama, kayıt işlemleri ve hasta taleplerinin hızlı biçimde işlenmesi hasta deneyimini olumlu yönde etkilemektedir. Özellikle chatbot gibi dijital

destek sistemleri, hastaların sağlık hizmetlerine erişimini kolaylaştırmakta ve kişiselleştirilmiş bakım süreçlerini desteklemektedir (Nimkar vd., 2024).

Üçüncü olarak, çalışan verimliliği ve memnuniyetine olumlu katkılar sağlanmaktadır. RPA sistemleri, sağlık çalışanlarını tekrarlayan ve zaman alıcı görevlerden kurtararak hasta bakımına daha fazla odaklanmalarına imkân sunmaktadır. Bu durum, çalışan memnuniyetini artırmakta ve tükenmişlik riskini azaltmaktadır (Willcocks vd., 2015).

Dördüncü olarak, RPA uygulamaları veri doğruluğunu yükseltmekte ve klinik karar destek sistemlerinin daha güvenilir çalışmasına zemin hazırlamaktadır. Otomatik veri girişleri sayesinde kayıt tutarlılığı artmakta, manuel hatalar minimize edilmektedir. Bu da klinik kararların daha sağlam veriler üzerinden alınmasını sağlamaktadır (Sharma vd., 2020).

Beşinci olarak, yasal uyum ve raporlama süreçlerinde kolaylık sağlanmaktadır. RPA sistemleri, düzenli ve otomatik rapor üretimi ile yasal düzenlemelere uyumu artırmakta, sigorta ve faturalama gibi hassas işlemlerde daha düzenli ve şeffaf bir süreç yönetimi sunmaktadır (Chaturvedi ve Sharma, 2023).

Son olarak, RPA teknolojileri uzaktan takip ve dijitalleşme açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. Giyilebilir cihazlardan gelen verilerin analiz edilmesi, hastaların anlık izlenmesini mümkün kılmakta ve acil müdahale gereksinimlerine hızlı yanıt verilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, özellikle kronik hastalık yönetiminde etkinlik artmakta, hasta güvenliği güçlenmektedir (Patrício vd., 2024).

Bu yönleriyle değerlendirildiğinde, RPA sistemleri yalnızca teknik bir iyileştirme değil; aynı zamanda sağlık yönetiminin dijitalleşme ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda stratejik bir araç olarak önem kazanmaktadır.

2.4. Geleceğe Yönelik Perspektifler

RPA'nın sağlık hizmetlerinde stratejik olarak konumlandırılabilmesi için kapsamlı bir değerlendirme çerçevesine ihtiyaç duyulmaktadır. Patrício ve Varela (2024), bu doğrultuda beş boyutlu bir değerlendirme modeli önermektedir: teknik uygunluk, hasta sonuçlarına etkisi, ekonomik fayda, yönetim süreçleri ve bağlamsal uyumluluk. Bu çerçeve, RPA projelerinin kuruma özel etkilerini analiz etmek ve başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamak açısından rehber niteliği taşımaktadır.

Gelecek projeksiyonları, RPA'nın yalnızca görev otomasyonu ile sınırlı kalmayacağını, aynı zamanda yapay zekâ ve büyük veri analitiğiyle daha

entegre biçimde çalışarak sağlık sistemlerini dönüştüreceğini göstermektedir. Park ve arkadaşlarının (2025) yaptığı çalışmada, RPA yazılımlarının Elektronik Tıbbi Kayıt (EMR) sistemlerinde performans izleme ve anomali tespiti için kullanıldığı, bu sayede sistemin hem kullanıcı deneyimini hem de iş akışı optimizasyonunu artırdığı saptanmıştır. Benzer şekilde, yapay zekâ ile bütünsel RPA uygulamaları, hasta takibi, erken uyarı sistemleri ve tahmine dayalı analizlerle sağlık profesyonellerine karar destek sunabilmektedir.

Robotik Süreç Otomasyonu, sağlık yönetiminde verimliliği artıran, hata oranlarını azaltan ve insan kaynaklarının daha stratejik biçimde kullanılmasını sağlayan güçlü bir teknolojidir. Ancak bu teknolojinin başarısı yalnızca teknik performansla değil, aynı zamanda organizasyonel adaptasyon, etik uyum ve sürdürülebilir stratejiyle mümkündür. RPA'nın sağlık sistemlerindeki geleceği, yapay zekâ ve veri analitiğiyle olan entegrasyonunun ne ölçüde derinleşeceğine ve bu dönüşümün insan-merkezli yaklaşımlarla ne kadar uyumlu yönetileceğine bağlıdır.

3. Radyolojide Derin Öğrenme ve Uygulamaları (Örneğin MRI Analizi)

3.1. Görüntüleme Teknolojilerinin Evrimi ve Yapay Zekâ

Tıbbi görüntüleme, sağlık hizmetlerinde tanı, tedavi planlaması ve hastalıkların izlenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), pozitron emisyon tomografisi (PET) gibi tekniklerle elde edilen görüntüler, hekimlerin hastalıkları doğru ve hızlı bir biçimde tanılamasını sağlar. Ancak, artan görüntü hacmi ve radyolog sayısındaki sınırlamalar nedeniyle hata riski, gecikme ve iş yükü gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Litjens vd., 2017). Bu noktada derin öğrenme (deep learning) algoritmaları, özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanılarak geliştirilen yapay zekâ sistemleri, radyolojide devrim yaratmıştır.

Derin öğrenme algoritmaları, görüntülerdeki karmaşık desenleri, yapıları ve anomalileri tanımakta oldukça etkilidir. Bu özellikleri sayesinde radyolojik görüntülerde tümör tespiti, lezyon sınıflandırması, doku segmentasyonu ve hastalık ilerleyişi tahmini gibi görevleri başarıyla yerine getirmektedir (Shen vd., 2017; Erickson vd., 2017).

Yapay zekâ (YZ) ve derin öğrenme (DL) teknolojileri, sağlık sistemlerinde devrim niteliğinde dönüşümlere yol açmaktadır. Özellikle radyoloji alanında DL algoritmaları, tıbbi görüntülerin analizinde yüksek doğrulukla çalışarak hem klinik kararları desteklemekte hem de sağlık yönetimi açısından süreç verimliliği, maliyet optimizasyonu ve insan gücü planlaması gibi yönetimsel bileşenleri etkilemektedir (Esteva vd., 2019; Topol, 2019). MRI gibi ileri

görüntüleme yöntemlerinde bu teknolojilerin uygulanması, sadece tanısal fayda değil, aynı zamanda organizasyonel performansa da katkı sağlamaktadır.

3.2. Derin Öğrenmenin Radyolojideki Temel Uygulama Alanları

3.2.1. Tümör Tanısı ve Sınıflandırması

Derin öğrenme, özellikle beyin, akciğer, meme ve prostat kanseri gibi birçok onkolojik vakada tümörleri yüksek doğrulukla tanıyabilmektedir. MRG verileri üzerinde eğitilen CNN tabanlı modeller, tümör dokusunun normal dokudan ayrıştırılmasını, boyutunun belirlenmesini ve malign-benign ayrımının yapılmasını mümkün kılmaktadır (Chang vd., 2018).

Örneğin, Brats Challenge veriseti üzerinde çalışan çalışmalar, gliom (beyin tümörü) sınıflandırmasında %90'a varan doğruluk oranlarına ulaşmıştır (Bakas vd., 2018). Bu sistemler sadece tanı koymakla kalmayıp aynı zamanda tedavi planlamasında da kullanılmakta, tümörün büyüklüğüne ve yayılımına göre radyoterapi alanlarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

3.2.2. Otomatik Görüntü Segmentasyonu

Segmentasyon, bir görüntüdeki ilgi alanlarının (örneğin, bir tümör ya da organ) otomatik olarak belirlenmesi işlemidir. Geleneksel yöntemlerle uzun zaman alan bu işlem, derin öğrenme ile birkaç saniyede tamamlanabilir. Özellikle U-Net ve V-Net gibi modeller, MR görüntülerinde başarılı segmentasyon performansı sergilemektedir (Çiçek vd., 2016).

Bu tür segmentasyon algoritmaları, cerrahi öncesi planlamada, radyoterapi hedefleme süreçlerinde ve yapay zekâ destekli izlem sistemlerinde kullanılmaktadır (Isensee vd., 2021).

3.2.3. Görüntü Kalitesinin Artırılması ve Hızlı Rekonstrüksiyon

MRG gibi bazı görüntüleme teknikleri uzun sürmekte ve hastalar açısından rahatsızlık yaratmaktadır. Derin öğrenme, düşük çözünürlüklü görüntüleri iyileştirerek, daha kısa sürede daha kaliteli sonuçlar alınmasına olanak tanımaktadır. FastMRI gibi projeler, düşük kaliteli MR verilerinden yüksek çözünürlüklü sonuçlar üretebilen GAN (generative adversarial networks) tabanlı modeller geliştirmiştir. Bu yöntemle, görüntü kalitesinden ödün vermeden tarama süresi azaltılabilir, bu da hasta konforunu ve klinik verimliliği artırır (Zbontar vd., 2018).

3.2.4. Hastalık İlerlemesi ve Tedaviye Yanıtın Tahmini

Yapay zekâ destekli modeller, tedavi öncesi ve sonrası görüntüleri analiz ederek hastalığın nasıl ilerlediğini veya tedaviye nasıl yanıt verdiğini tahmin

edebilir. Bu, özellikle nörolojik hastalıklarda (örneğin Alzheimer veya MS) önemlidir. Derin öğrenme, beyin hacminde meydana gelen değişiklikleri ölçerek erken evre hastalıkların saptanmasına yardımcı olabilir (Arbabshirani vd., 2017).

3.3. MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) Üzerine Odaklanan Uygulamalar

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG), yumuşak doku ayrıntısını en iyi şekilde sunan yöntemlerden biridir. Derin öğrenme ile entegre edildiğinde bu yöntemin etkinliği daha da artmaktadır.

- **MS(Emes) Hastalığı Takibi:** MRG ile elde edilen beyin görüntüleri, MS plaklarının zaman içindeki büyümesini derin öğrenme algoritmalarıyla tespit etmekte kullanılmıştır (Valverde vd., 2017).
- **Prostat Kanseri Tanısı:** MRG ile çekilen prostat görüntüleri, CAD (Computer-Aided Diagnosis) bilgisayar destekli tanı sistemleri ile analiz edilerek erken tanı konulmasında kullanılmaktadır (Litjens vd., 2017).
- **Epilepsi Cerrahisi Planlaması:** Derin öğrenme algoritmaları, MR görüntülerinde epileptik odakları yüksek hassasiyetle belirleyerek cerrahi planlama sürecine katkı sağlar (Liu vd., 2025).

3.4. Zorluklar, Etik Sorunlar ve Gelecek Perspektifi

Yapay zekâ (YZ) ve derin öğrenme teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde benimsenmesi, önemli fırsatların yanı sıra çok sayıda etik, teknik ve yönetsel zorluk da doğurmaktadır. Bu zorlukların göz ardı edilmesi, teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenilir biçimde entegrasyonunu engelleyebileceği gibi, hasta güvenliğini ve sistemin bütünlüğünü de riske atabilir. Derin öğrenmenin radyolojideki kullanımı umut verici olsa da bazı zorluklar ve etik sorunlar gündeme gelmektedir:

- **Veri Mahremiyeti ve Güvenliği:** Görüntü verileri yüksek hassasiyet içerir; bu nedenle model eğitimi sırasında anonimleştirme zorunludur. YZ sistemlerinin eğitildiği klinik görüntülerin ve hasta verilerinin oldukça hassas nitelikte olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Model geliştirme süreçlerinde kullanılan verilerin anonimleştirilmesi ve hasta izniyle toplanması zorunlu olmakla birlikte, bu süreçteki ihlaller hem hukuki hem etik sonuçlar doğurabilmektedir. Avrupa Birliği'nin GDPR (General Data Protection Regulation) ve Türkiye'de yürürlükte olan KVKK (Kişisel Verilerin Korunması Kanunu) gibi düzenlemeler, yapay zekâ projelerinde veri işleme süreçlerinin uyumlu biçimde yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (He vd., 2019).

- **Genelleştirme Sorunu:** Bir hastane veya ülkedeki veriyle eğitilen sistemler başka bir kurumda aynı başarıyı gösteremeyebilir (Kelly vd., 2019). Bir ülkede veya hastanede geliştirilen bir YZ modeli, farklı bir coğrafyada ya da sağlık kurumunda aynı başarı düzeyini gösteremeyebilir. Bu durum, veri kaynaklarının heterojenliği, hasta profillerindeki farklılıklar ve altyapı koşullarındaki değişkenliklerle ilişkilidir (Kelly vd., 2019). Bu nedenle, model validasyon süreçleri yalnızca teknik testlerle değil, **bağlamsal değerlendirme** ilkeleriyle de yürütülmelidir.
- **Kara Kutu Sorunu:** Derin öğrenme sistemleri kararlarını nasıl verdiğini açıklayamaz. Bu durum, hekimlerin güvenini azaltabilir (Topol, 2019). Derin öğrenme algoritmalarının karar alma süreçleri çoğu zaman kullanıcılar, özellikle de hekimler açısından anlaşılabilir kalmaktadır. Bu durum, klinik kararların arkasındaki mantığın izlenemez olması nedeniyle güven eksikliği doğurmakta ve sistemlerin benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Bu sorunu aşmak amacıyla geliştirilen açıklanabilir yapay zekâ (XAI) modelleri, algoritmaların karar gerekçelerini sadeleştirilmiş biçimde sunarak hem sağlık profesyonellerinin hem de hastaların şeffaflık beklentilerini karşılamayı hedeflemektedir (Alharthi vd., 2024).

Son olarak, bu teknolojilerin uygulanabilirliği sadece teknik yetkinlikle değil; aynı zamanda organizasyonel adaptasyon ve yönetsel sahiplenme ile de doğrudan ilişkilidir. Sağlık yöneticilerinin, bu sistemlerin etkin biçimde kuruma entegrasyonu için stratejik planlamalar yapması, dijital altyapıyı güçlendirmesi, çalışan eğitimine yatırım yapması ve etik rehberlik sağlaması gerekmektedir (Patrício ve Varela, 2024).

DL tabanlı MRI uygulamaları, sadece teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin yönetsel boyutlarında da önemli bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Bu sistemlerin tanı doğruluğu, hız ve verimlilik gibi teknik faydalarının yanı sıra; süreç optimizasyonu, insan gücü planlaması, maliyet kontrolü, kalite yönetimi ve hasta güvenliği gibi sağlık yönetimi alanlarında da etkili olduğu kanıtlanmıştır (Esteve vd., 2019; Topol, 2019). Sağlık yöneticilerinin bu teknolojileri stratejik olarak değerlendirmesi ve kurumlarına uygun biçimde entegre etmesi, çağdaş ve sürdürülebilir sağlık hizmet sunumu açısından kritik önem taşımaktadır. Bu bağlamda, DL sistemlerinin eğitim, altyapı yatırımı, etik ve yasal uygunluk açısından da bütüncül bir şekilde ele alınması gereklidir.

SONUÇ

Yapay zekâ (YZ), makine öğrenmesi (MÖ) ve robotik süreç otomasyonu (RPA) teknolojileri, sağlık hizmetlerinin yalnızca klinik boyutunu değil, aynı

zamanda yönetsel süreçlerini de dönüştürme potansiyeline sahip ileri dijital araçlardır. Bu bölüm kapsamında, tanı, tedavi, hasta takibi, klinik karar destek sistemleri, radyolojik görüntüleme ve idari süreçlerin otomasyonu gibi çok yönlü alanlarda söz konusu teknolojilerin mevcut uygulamaları ve geleceğe dönük etkileri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bulgular, bu teknolojilerin yalnızca teknik verimliliği artırmakla kalmadığını; aynı zamanda sağlık hizmetlerinin planlanması, sunulması ve değerlendirilmesi süreçlerinde de radikal bir dönüşüm yarattığını ortaya koymaktadır.

YZ ve MÖ tabanlı sistemlerin en dikkat çekici özelliklerinden biri, büyük veri analiz yetkinlikleri sayesinde sağlık yöneticilerine hızlı, nesnel ve öngörülebilir karar alma imkânı sunmalarıdır. Bu sistemler, hastalık örüntülerini saptama, hasta risk skorlamaları oluşturma, tedavi uyumluluğunu izleme ve maliyet-etkinlik analizleri yapma gibi sağlık yönetimi açısından kritik görevlerde destek sağlamaktadır (Topol, 2019; Esteva vd., 2019). Özellikle sağlık yöneticilerinin uzun yıllardır çözüm aradığı kaynak planlaması, insan gücü yönetimi ve performans değerlendirmesi gibi alanlarda YZ destekli uygulamalar yeni bir işleyiş modeli geliştirmeye imkân tanımaktadır. Bu durum, veri temelli yönetişimin sağlık sistemleri içerisinde norm haline gelmesini hızlandırmaktadır.

Robotik süreç otomasyonu (RPA) ise daha çok sağlık hizmetlerinin arka planda yürüten idari ve operasyonel yüklerini azaltarak, kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. RPA'nın hasta kayıt süreçlerinden faturalamaya, laboratuvar sonuçlarının entegrasyonundan sigorta işlemlerine kadar geniş bir alanda kullanılması hem işlem süresini kısaltmakta hem de hata oranlarını azaltmaktadır (Kaur vd., 2023; Nimkar vd., 2024). Bununla birlikte, RPA teknolojileri aynı zamanda çalışan memnuniyetini artıran, hasta deneyimini iyileştiren ve hizmet sürekliliğini sağlayan bir unsur haline gelmiştir. Özellikle hasta merkezli sağlık hizmetlerinin ön plana çıktığı günümüzde, bu tür teknolojilerin operasyonel güvenilirlik açısından da yönetsel bir değer ürettiği açıktır.

Ancak bu teknolojik dönüşüm, beraberinde çeşitli zorlukları ve sorumlulukları da getirmektedir. Etik sorular, veri güvenliği açıkları, algoritmik şeffaflık eksikliği ve “kara kutu” problemleri, yöneticiler için sadece teknik değil aynı zamanda hukuki ve sosyal sorumluluk anlamında da yeni yükümlülükler doğurmaktadır (He vd., 2019; Alharthi vd., 2024). Ayrıca, teknolojilerin tüm sağlık kurumlarında aynı etkiyi göstermemesi, yerel bağlama duyarlılık gerektirmektedir. Bu noktada, teknoloji seçiminden entegrasyon stratejilerine kadar yöneticilerin kuruma özel kararlar alması ve bu kararların organizasyonel kültür ile uyumlu olmasına dikkat etmesi gerekmektedir.

Geleceğe yönelik olarak, YZ ve RPA gibi teknolojilerin sağlık yönetimine kalıcı olarak entegre edilebilmesi için dijital altyapının güçlendirilmesi kadar, insan kaynağının bu dönüşüme hazırlanması da bir zorunluluktur. Sağlık profesyonellerinin ve yöneticilerinin dijital okuryazarlık, algoritma farkındalığı ve etikrefleksler bakımından yetkin hale gelmeleri, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenilir şekilde kullanılabilmesinin ön koşuludur. Aynı zamanda, kurum içi dijital liderliğin teşvik edilmesi, disiplinler arası iş birliklerinin artırılması ve performans değerlendirme mekanizmalarının teknolojiyle uyumlu biçimde yeniden tasarlanması önerilmektedir. Sağlık yönetimi disiplini açısından, bu dönüşüm yalnızca teknolojiye uyum sağlama değil, aynı zamanda yeni bir stratejik yönetim modeli inşa etme fırsatıdır (Patrício ve Varela, 2024).

Sonuç olarak, yapay zekâ ve makine öğrenmesi yalnızca sağlık hizmetlerinin klinik boyutunda değil; hizmet yönetimi, kaynak planlaması, kalite kontrol, süreç verimliliği ve hasta güvenliği gibi çok sayıda yönetsel alanda da ciddi etkiler yaratmaktadır. Bu teknolojiler, sağlık sistemlerinin daha şeffaf, adil, etkili ve hasta odaklı hâle gelmesini sağlayacak stratejik araçlar olarak değerlendirilmelidir. Dolayısıyla sağlık yöneticilerinin bu araçları sadece teknik inovasyonlar olarak değil; aynı zamanda sürdürülebilir, etik ve kurumsal kapasiteyi artırıcı birer dönüşüm unsuru olarak ele almaları gerekmektedir. Bu yaklaşım benimsendiği takdirde, YZ ve RPA tabanlı sistemler, yalnızca mevcut sorunlara çözüm değil, geleceğin sağlık yönetimi vizyonunun da temel taşları olacaktır.

Kaynakça

- Alharthi, A., Alzahrani, A., Alghamdi, M., & Alzahrani, M. (2024). Explainable AI in human health monitoring: Current trends and future directions. *Journal of Healthcare Engineering*, 2024, 1–12.
- Alowais, Y., Almazrouei, A., & Alkaabi, M. (2023). Revolutionizing healthcare: The role of artificial intelligence in clinical practice. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, Article 112233.
- Aguirre, S., & Rodriguez, A. (2017). Automation in business process management. In *Proceedings of the Future Technologies Conference* (pp. 65–80). Springer.
- Ahsan, M., & Siddique, Z. (2021). Machine learning-based heart disease diagnosis: A systematic literature review. *Healthcare Analytics*, 1–2, 100001.
- Arbabshirani, M. R., Plis, S., Sui, J., & Calhoun, V. D. (2017). Single subject prediction of brain disorders in neuroimaging: Promises and pitfalls. *NeuroImage*, 145, 137–165.
- Bakas, S., Akbari, H., Sotiras, A., et al. (2018). Advancing the cancer genome atlas glioma MRI collections with expert segmentation labels and radiomic features. *Scientific Data*, 4(1), 170117.
- Çiçek, Ö., Abdulkadir, A., Lienkamp, S. S., Brox, T., & Ronneberger, O. (2016). 3D U-Net: Learning dense volumetric segmentation from sparse annotation. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (pp. 424–432). Springer.
- Chang, K., Balachandar, N., Lam, C., et al. (2018). Distributed deep learning networks among institutions for medical imaging. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 25(8), 945–954.
- Chaturvedi, R., & Sharma, S. (2023). Robotic process automation in healthcare: Transforming revenue cycle operations. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(3), 45–50.
- Elvas, L. B., Almeida, A., & Ferreira, J. C. (2025). The role of AI in cardiovascular event monitoring and early detection: Scoping literature review. *JMIR Medical Informatics*, 13, e64349.
- Erickson, B. J., Korfiatis, P., Akkus, Z., & Kline, T. L. (2017). Machine learning for medical imaging. *Radiographics*, 37(2), 505–515.
- 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.
- Gala, D., Behl, H., & Makaryus, A. N. (2024). The role of artificial intelligence in improving patient outcomes and future of healthcare delivery in cardiology: A narrative review. *Healthcare*, 12(4), 481.
- Goswami, D., Uddin, M. M., Islam, A., & Saha, R. (2024). The role of machine learning in transforming healthcare: A systematic review. *Journal of Business Intelligence and Management Information Systems Research*, 1(1), 1–16.
- He, J., Baxter, S. L., Xu, J., Xu, J., Zhou, X., & Zhang, K. (2019). The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature Medicine*, 25(1), 30–36.
- He, T., Liu, H., Zhang, Z., Li, C., & Zhou, Y. (2023). Research on the application of artificial intelligence in public health management: Leveraging artificial intelligence to improve COVID-19 CT image diagnosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1158.
- Isensee, F., Jaeger, P. F., Kohl, S. A., Petersen, J., & Maier-Hein, K. H. (2021). nnU-Net: A self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation. *Nature Methods*, 18(2), 203–211.
- Jain, S., & Soni, D. (2019). Impact of robotic process automation on healthcare delivery: A systematic review. *International Journal of Medical Informatics*, 128, 34–42.
- 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), 230–243.
- Kaur, J., Gupta, R., & Singh, D. (2023). Robotic process automation in healthcare sector. *E3S Web of Conferences*, 412, 01055.

- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17, 195.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., et al. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88.
- Liu, Y., Wang, Z., & Wang, T. (2025). Non-invasive localization of epileptogenic zone in drug-resistant epilepsy using multimodal deep learning. *Frontiers in Neuroscience*, 19, 2234.
- Nimkar, P., Patel, R., & Thomas, A. (2024). Increasing trends of artificial intelligence with robotic process automation in health care: A narrative review. *Cureus*, 16(1), e52578.
- Patrício, L., Costa, C. R. d. S., Varela, L., & Cruz Cunha, M. M. (2024). Literature review on the sustainable implementation of Robotic Process Automation (RPA) in medical and healthcare administrative services. *Procedia Computer Science*, 239, 166–176.
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347–1358.
- Shaik, T. B., Tao, X., Higgins, N., Li, L., Gururajan, R., Zhou, X., & Acharya, U. R. (2023). Remote patient monitoring using artificial intelligence: Current state, applications, and challenges. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 13(2), e1485.
- Sharma, A., Harrington, R. A., & McClellan, M. B. (2020). Artificial intelligence applications in health care delivery. *JAMA Health Forum*, 1(5), e200146.
- 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>
- Valverde, S., Cabezas, M., Roura, E., et al. (2017). Improving automated multiple sclerosis lesion segmentation with a cascaded 3D convolutional neural network approach. *NeuroImage*, 155, 159–168.
- Willcocks, L., Lacity, M., & Craig, A. (2015). Robotic process automation at Telefónica O2. *MIS Quarterly Executive*, 14(1), 21–35.
- Zbontar, J., Knoll, F., Sriram, A., et al. (2018). fastMRI: An open dataset and benchmarks for accelerated MRI. *arXiv preprint, arXiv:1811.08839*.

TELE-TIP VE UZAKTAN HASTA TAKİBİ

Refika ÜLKE ŞİMDİ¹

GİRİŞ

Sağlık hizmetlerine erişimin giderek önem kazandığı günümüzde, teknolojik gelişmelerin sunduğu imkânlar sağlık alanında da çığır açmaktadır. Özellikle coğrafi engellerin, zaman kısıtlamalarının ve artan sağlık maliyetlerinin sağlık hizmetlerine ulaşımı zorlaştırdığı durumlarda, yenilikçi yaklaşımlar hayati bir rol oynamaktadır. İşte bu noktada, “tele-tıp” ve “uzaktan sağlık hizmetleri” kavramları, modern sağlık sistemlerinin önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti” (IoT) gibi çığır açan teknolojilerin sağlık alanına entegrasyonu, uzaktan hasta takibi ve tele-tıp uygulamalarının potansiyelini katlayarak artırmaktadır. Giyilebilir sensörler, akıllı cihazlar ve mobil sağlık uygulamaları aracılığıyla hastaların fizyolojik verilerinin sürekli olarak izlenmesi, sağlık profesyonellerine anlık bilgi sağlayarak proaktif müdahale imkânı sunmaktadır. Bu sayede, kronik hastalıkların yönetimi daha etkin hale gelirken, acil durumlar daha hızlı tespit edilebilmekte ve kişiselleştirilmiş sağlık hizmetlerinin sunulmasının önü açılmaktadır.

Bu kitap bölümünde, tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetlerinin kapsamlı bir tanımını yaparak bu kavramların ne anlama geldiğini ve hangi uygulamaları içerdiğini detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ardından, tele-tıbbın sunduğu avantajlar ele alınmıştır. Ancak, her yenilikçi teknolojiye olduğu gibi, tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetlerinin de birtakım zorlukları ve potansiyel dezavantajları bulunmaktadır. Telekomünikasyon maliyetleri ve altyapı eksikliği, hekimlik önyargıları, belirsiz hukuksal çerçeve, yasal gri alanlar, mahremiyet ve gizlilik, sunucu ve alıcının teknolojiye erişim imkânları ve geri ödeme konusunda belirsizlikler gibi dezavantajlardan bahsedilmiştir.

1 Dr. Öğr.Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 0000-0001-8394-2383, refika.ulke@erzincan.edu.tr

Bu bölüm, tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetlerinin günümüz ve gelecekteki sağlık sistemlerindeki rolünü anlamak, faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve karşılaşılan zorluklara çözüm üretmek isteyen herkes için kapsamlı bir kaynak olmayı amaçlamaktadır.

TELE-TIP TANIMI VE KAPSAMI

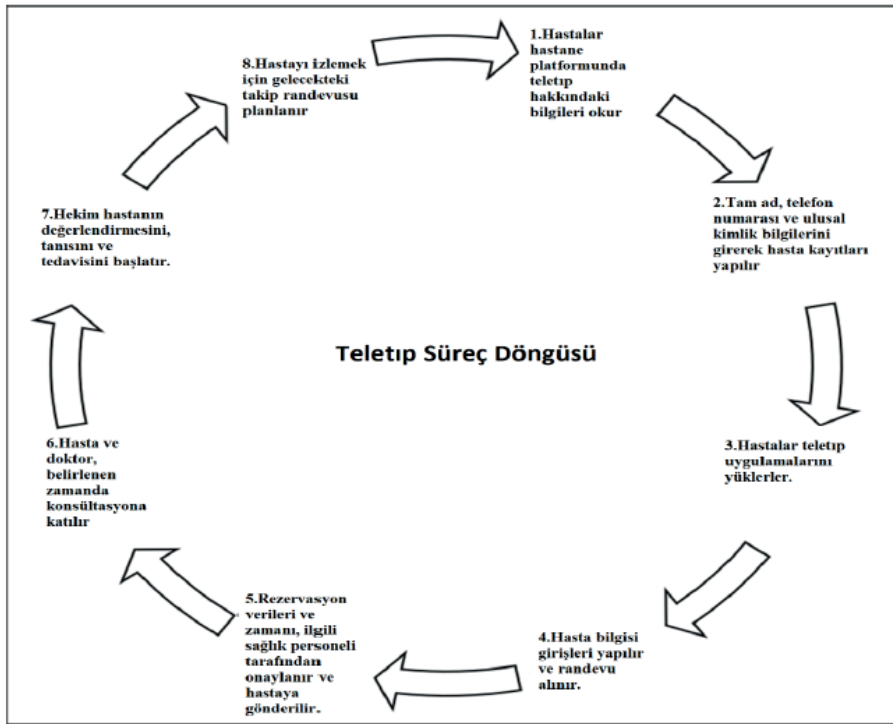
Teknolojideki ilerlemeler ve dijital alandaki büyük adımlar, sağlık hizmetlerinin sunulmasında da yeniliklerin ortaya çıkmasına öncülük etmiş ve sağlıkta dijitalleşme dönemi başlamıştır (Celep, Budakoğlu ve Coşkun, 2024). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından dijital sağlık, “dijital teknolojilerin sağlık için kullanılması” olarak tanımlanmaktadır. Dijital sağlık; e-Sağlık, mobil sağlık (m-Sağlık), tele sağlık ve tele-tıp kavramlarını içermektedir. “E-sağlık” bilgi ve iletişim teknolojilerinin, “m-sağlık” taşınabilir (mobil) kablosuz teknolojilerin (cep telefonları gibi) sağlık için kullanılmasıdır (DSÖ, 2016). Tele- sağlık, sağlık hizmetlerinin, coğrafi engelleri aşarak, telekomünikasyon yöntemleriyle gerçek zamanlı veya zamandan bağımsız bir şekilde sunulması olarak tanımlanmaktadır (Marx vd., 2018). Tele-tıp kavramı ise farklı şekillerde tanımlanmıştır. Tele-tıp uygulamalarının teknolojik gelişmeleri içermesi ve toplumun değişen sağlık ihtiyaçlarına uyum sağlayarak cevap vermesi bu tanımların ortak noktasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla tele-tıp açık uçlu ve sürekli gelişen bir bilim dalı olarak kabul edilmektedir (Khandpur, 2017).

DSÖ tarafından yayınlanan raporda tele-tıp “*mesafenin kritik bir faktör olduğu durumlarda, hastalık ve yaralanmaların tanı ve tedavisi yanında hastalıklardan ve yaralanmalardan korunma; araştırma, değerlendirme ve sağlık çalışanlarının sürekli eğitimi ile bireylerin ve toplumlarının sağlığını geliştirmek ile ilgili bilgi alışverişi için, sağlık profesyonelleri tarafından, bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak sağlık hizmeti sunumu*” olarak ifade edilmektedir. Ayrıca DSÖ’nün tele-tıp için tanımladığı dört temel özellik şu şekilde özetlenebilir (DSÖ, 2010):

1. **Klinik Destek Amaçlı Olması:** Tele-tıp uygulamalarının temel gayesi, sağlık profesyonellerine klinik karar süreçlerinde yardımcı olmaktır.
2. **Mekânsal Sınırları Aşmayı Hedeflemesi:** Tele-tıp, farklı coğrafi konumlardaki kullanıcıları birbirine bağlayarak mesafelerin getirdiği engelleri ortadan kaldırmayı amaçlar.
3. **Çeşitli İletişim Teknolojilerini Kapsaması:** Tele-tıp, farklı türdeki bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını içerir.
4. **Sağlık Sonuçlarını İyileştirmeyi Amaçlaması:** Tele-tıp uygulamalarının nihai hedefi, genel olarak sağlık sonuçlarında olumlu yönde gelişmeler sağlamaktır.

Amerikan Tele-tıp Derneğinin ise tele-tıpı: *sağlığın küresel olarak daha iyileşmesini, hastalıkla savaşımı, sağlık hizmetine katkıda bulunmayı, öte yandan eğitim, yönetim, sağlıkla ilgili araştırma yapmayı amaçlayan, bilişim ve iletişim teknolojilerini kullanarak uzaktan işlem yapma özelliğini içeren sağlıkla ilgili etkinlikler, hizmetler ve sistemler*” olarak tanımlamaktadır.

Literatürde sıklıkla eş anlamlı gibi kullanılan tele-tıp ve tele-sağlık terimleri arasında, Sağlık Bilgi Teknolojileri Ulusal Koordinatörlüğü’ne (ONC) göre önemli bir ayrım bulunmaktadır. ONC’ ye göre tele-sağlık, tele-tıbbın ötesine geçerek uzaktan sunulan daha geniş bir sağlık hizmetleri yelpazesini ifade eder. Tele-tıp daha çok uzaktan klinik hizmetlere odaklanırken, tele-sağlık buna ek olarak sağlık profesyonellerinin eğitimi, idari toplantılar ve sürekli tıp eğitimi gibi klinik olmayan uzaktan hizmetleri de içerebilir (ONC, 2019).



Şekil 1. Tele-tıp Süreç Döngüsü

Kaynak: Jnr 2020: 132.

Tele-tıp uygulamalarının işleyişi Şekil 1’ de şematize edilmiştir. Tele-tıp sürecinin birkaç temel adımdan oluştuğunu açıkça ortaya koyan döngü;

hastaların tele-tıp hakkında bilgi edinmesiyle başlar ve hekim değerlendirmesi veya bir sonraki randevunun planlanmasıyla tamamlanır.

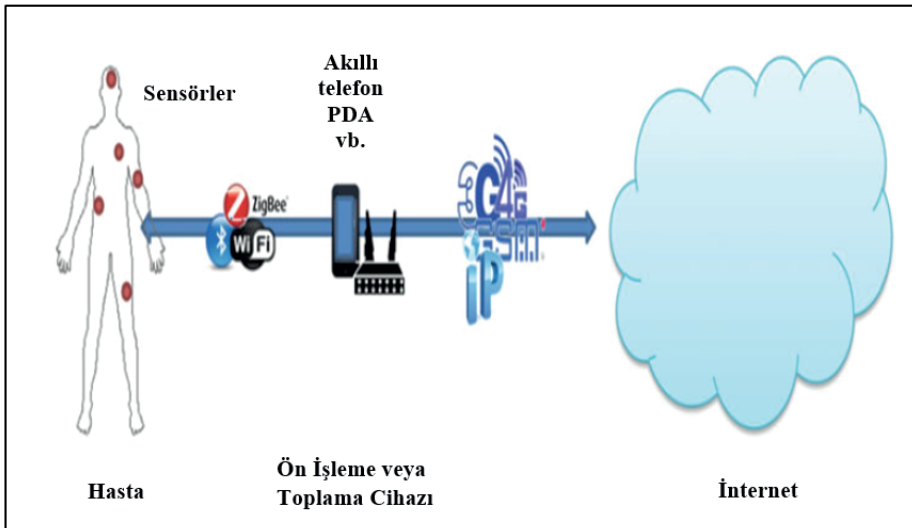
UZAKTAN HASTA TAKİBİ

Tüm dünyada ve Türkiye’de sağlık hizmetlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelen tele-tıp ile uzaktan hasta takibi, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak doktorlara, salgın ve pandemi gibi olağanüstü durumlarda hastaların fiziksel erişiminin kısıtlandığı zamanlarda bile genel sağlık takiplerini sürdürme olanağı sunmaktadır (Niimi ve Ota, 2017). Uzaktan hasta takibi, hastaların sağlık durumlarının ve ilgili verilerinin, bulundukları yerden (genellikle evlerinden) sağlık profesyonelleri tarafından elektronik cihazlar ve iletişim teknolojileri aracılığıyla izlenmesi ve yönetilmesi sürecidir. Elektronik hasta kayıt sistemleri, sağlık personelinin hastaya ait birçok bilgiye kolayca erişebilmesini sağlayarak tedavi süreçlerinin hızlıca başlamasına olanak tanır. Ayrıca bu sistemler, hastalar için veri taşınabilirliği, iletişim kolaylığı, ilaç takibi, doğru reçeteleme, okunabilir bilgiler ve hastalık önleme hatırlatıcıları gibi çeşitli avantajlar sunar. COVID-19 salgını sırasında, vaka ve temaslıların rutin değerlendirmeleri ile karantinadaki hastaların ve kronik rahatsızlığı olan yaşlıların takibi, uzaktan hasta takibi yöntemleriyle yapılarak sağlık hizmetlerinin devamlılığı sağlanmıştır (Önal ve Kaya, 2020). Uzaktan hasta takibi, hastaların sağlık durumunu gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılmaktadır. Giyilebilir cihazlar, sensörler veya evde kullanılan tıbbi cihazlar aracılığıyla hastalardan veri toplanmakta ve toplanan veriler sağlık profesyonelleri tarafından hastaların sağlık durumunu kontrol etmek ve gerektiğinde müdahalede bulunmak için kullanılmaktadır (Ertek, 2011).

UZAKTAN HASTA TAKİBİNDE NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) KULLANIMI

Sağlık sektöründe klinik hizmetlerin niteliğini yükseltme hedefinin yanı sıra, kronik rahatsızlıkları olan bireylerin uzaktan takibinin amaçlanması, daha bütüncül çözüm arayışlarını beraberinde getirmektedir. Bu sebeple, mevcut yeni teknolojilere sürekli olarak yenileri dahil edilmektedir. Bu teknolojilerden biri de Nesnelerin İnterneti [Internet of Things (IoT)]’dir. Nesnelerin İnterneti (IoT), internete bağlanabilen her türlü fiziksel nesneyi kapsayan bir tanımdır ve bu teknoloji sayesinde sensörler ve yazılımlarla donatılmış bu nesneler, internet aracılığıyla diğer cihazlar ve sistemlerle veri alışverişi yaparak bilgi paylaşımını gerçekleştirir (Oracle, 2024). İnternetin günlük yaşama entegre olmasıyla birlikte hayatımıza dahil olan IoT kavramı, ilk kez 1999’da İngiliz Kevin Ashton tarafından, kablosuz cihaz pazarındaki hızlı büyüme ve Radyo Frekansı Tanımlaması (RFID) ile Kablosuz Sensör Ağı (WSN) teknolojilerinin küresel çapta tanıtımının ardından ortaya atılmıştır (Albishi vd., 2017). IoT cihazları,

kablosuz bir ağ üzerinden herhangi bir insan müdahalesine ihtiyaç duymadan veri alabilen, gönderebilen ve saklayabilen dijital cihazlardan meydana gelir ve bu cihazlar birbirleriyle iletişim halinde ve eşgüdümlü bir şekilde çalışır (Kelly vd., 2020). IoT, kablosuz algılayıcı ağları, yapay zeka ve bulut bilişim gibi gelişmiş teknolojileri bünyesinde barındırarak robotik, lojistik, ulaşım ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli sektörlerde önemli fırsatlar sunmaktadır (Mahdavejad vd., 2017). IoT' nin sağlık alanındaki uygulamaları, bireylerden sağlıkla ilgili bilgi toplayabilen çeşitli cihazları içerir. Bunlar arasında hesaplama cihazları, mobil aygıtlar, akıllı bileklikler, giyilebilir teknolojiler, dijital ilaçlar ve implante edilebilir cerrahi cihazlar sayılabilir ve bu cihazların ortak özelliği sağlık verilerini ölçerek internete bağlanabilmeleridir (Dang vd., 2019). Sağlıkta IoT uygulamaları, sağlık kaynaklarının daha etkin ve verimli yönetilmesine olanak tanırken, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin daha iyi planlanması ve hastaların gereksinimlerine daha hızlı ve etkili çözümler sunulması anlamına gelir. IoT' nin sağlık sistemlerine dahil olmasıyla birlikte Tıbbi Nesnelerin İnterneti (IoMT) kavramı ortaya çıkmıştır. IoMT, sağlık cihazları ve sensörlerinin IoT altyapısı üzerinden veri alışverişi yapmasını sağlayarak sağlık hizmetlerinin daha izlenebilir, kişiye özel ve etkili bir şekilde sunulmasına imkân tanır (Srivastava ve diğerleri, 2022).



Şekil 2: IoT Kavramsal Sunum ve e-Sağlık Yapısı

Kaynak: Ould-Yahia vd., 2017: 69.

Sağlık uygulamalarında IoT teknolojisinin yaygınlaşması, çeşitli fırsatlar sunmuştur. Bunlar arasında uzaktan sağlık izlemi, kronik hastalıkların

kişisel kontrolü, normalden farklılaşmaların erken saptanması, semptomların tanımlanma süresinin kısalması, klinik teşhislerin kolaylaştırılması, erken müdahalenin mümkün kılınması ve tedaviye uyumun iyileştirilmesi yer almaktadır (Yuehong vd., 2016; Dang vd., 2019; Nazir vd., 2019). IoT' nin temelini hasta, teknolojik cihazlar ve internetin eş zamanlı varlığı zorunludur. IoT' un kavramsal sunumu ve e-sağlık yapısı Şekil 2'de sunulmuştur. Hastanın vücuduna yerleştirilen sensörler veya invaziv yöntemlerle uygun bölgelere takılan cihazlar vasıtasıyla hastaya ait veriler toplanır. Bu veriler, Wi-Fi, Bluetooth gibi çeşitli kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla bir alıcı cihaza (akıllı telefon, PDA vb.) iletilir ve son olarak bu alıcı cihazın internet bağlantısı üzerinden sağlık kuruluşuyla paylaşılır (Demir ve Şahin, 2019). Hastaya ilişkin elde edilen bilgilerin gizlilik ve güvenlik ilkeleri çerçevesinde korunması ve yönetilmesi gerekmektedir (Allen, 2009). Elektronik sağlık (e-sağlık), mobil sağlık (m-sağlık), bitcoin ve blok zinciri teknolojilerinde olduğu gibi, IoT alanında da bilgi güvenliği ve gizliliği konusunda çeşitli kaygılar mevcuttur (Khan ve Salah, 2017). Buna ilişkin çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir (Sikorski vd., 2017).

TELE-TIBBIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Literatür incelendiğinde, tele-tıbbın kökeni 19. yüzyılın ortalarındaki teknoloji alanındaki gelişmelerle ilişkilendirilmektedir (Currell vd., 2000). Tele-tıbbın gelişimindeki ilk önemli adımlardan biri, Alexander Graham Bell'in telefonu icat etmesiyle atılmıştır. Telefonun tıbbi bir araç olarak tanınması, 1897 yılında krup hastalığı olan bir çocuğa telefonla teşhis konulması ve bu olayın bir tıp yayınında yer almasıyla gerçekleşmiştir (Aronson, 1977). Radyo iletişiminin tıbbi amaçlarla ilk kullanımlarından biri, 1900'lü yılların başında Antarktika'ya tıbbi yardım ulaştırmak şeklinde olmuştur (Sullivan ve Lugg, 1995). Tele-tıp alanında video teknolojisinin ilk kayda değer kullanımı ise, 1959 yılında elektronik cihazların icadıyla birlikte görülmüştür (Breen ve Matusitz, 2010). Sağlık alanında bilinen ilk etkileşimli video sistemi, 1950'lerin sonunda Nebraska Psikiyatri Enstitüsü'nden Norfolk Devlet Hastanesi'ne tele-psikiyatri danışmanlığı vermek amacıyla çift yönlü televizyon sistemi üzerinden kullanılmıştır (Maheu, Whitten ve Allen, 2000). Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'nın tele-tıbbın ilerlemesinde önemli bir yeri olmuştur. Astronotların yerçekimsiz ortamda fiziksel durumu üzerine etkileriyle ilgili olarak hayati fonksiyonlarını takip etme gereksinimiyle tele-tıp uygulamalarından faydalanmıştır (Bashshur ve Lovett, 1977). NASA tele-sağlık teknolojilerini sadece uzay görevlerinde değil, aynı zamanda doğal afetlerde yardım amacıyla da kullanmıştır. Örneğin, Ermenistan'da meydana gelen deprem sonrasında depremzedelere tıbbi danışmanlık hizmeti sunmak için "Uzay Köprüsü" adıyla bilinen ilk uluslararası tele-sağlık programını hayata

geçirmiştir. 1990'lı yılların başlarında tele-tıp alanında belirgin bir canlanma yaşanmıştır. Bu durumun temelinde, kırsal kesimlerdeki sağlık hizmetlerine ulaşım zorluklarının anlaşılmaması ve bu tür projeler için ayrılan kaynakların çoğaltılması yatmaktadır (Maheu, Whitten ve Allen, 2000). 1990'lardan sonra internetin yaygınlaşmasıyla birlikte tele-tıp, web temelli uygulamalar ve çoklu ortam teknolojileriyle bütünleşerek sağlık hizmeti sunumunda köklü bir dönüşüm başlatmıştır. Bu sayede sağlık hizmetlerine ulaşım kolaylaşmış, hastaların memnuniyeti artmış ve sağlık sistemlerinin etkinliği yükselmiştir. Analog iletişimin yerini dijital teknolojilerin alması ve bilgi iletişim teknolojilerindeki maliyet düşüşleri, tele-tıbbın sağlık hizmetlerindeki rolünü daha da güçlendirmiştir (Einthoven, 2005).

Tele-tıp uygulamaları temelde iki farklı kategoride incelenebilir: Birincisi, sağlık çalışanlarının eğitim, fikir alışverişi gibi amaçlarla bilgi paylaşımında bulunmasıdır. İkincisi ise, sağlık profesyonelleri ile hastalar arasında görüntülü görüşmeler aracılığıyla muayene gibi hizmetlerin sunulmasıdır (Kolcuoğlu, 2023).

TÜRKİYE'DE TELE-TIP UYGULAMALARI VE POLİTİKALARI

Türkiye'de tele-tıp uygulamalarına yönelik ilk adımlar, 2004 yılında hayata geçirilen "Türkiye Sağlık Bilgi Sistemi Eylem Planı" ile atılmıştır. Bu plan çerçevesinde, eğitim ve yönetim gibi sahaların yanı sıra, sağlık hizmetlerine ulaşımın kısıtlı olduğu bölgelerde, doğal afet gibi olağanüstü hallerde ve özel uzmanlık gerektiren vakalarda tele-tıp uygulamalarının daha geniş kitlelere ulaştırılması amaçlanmıştır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2004). Türkiye'de kamu hizmetlerinin dijital platformlar üzerinden sunulması, 20 Nisan 2006 tarihinde e-devlet uygulamasıyla resmiyet kazanmış ve zaman içinde bu uygulamaların içeriği yaygınlaştırılmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı da Tele-tıp adıyla bir sistem hayata geçirerek, doktorların radyolojik incelemelere internet aracılığıyla kesintisiz erişimine, bu görüntülerin raporlanmasına, radyoloji uzmanları arasında uzaktan danışma imkânına ve hastaların da bu tetkik sonuçlarına e-devlet üzerinden ulaşabilmesine olanak tanımıştır (Dağdelen, 2021). Devlet Planlama Teşkilatı'nın 2006'da yayımladığı "Bilgi Toplumu Stratejisi Eylem Planı (2006-2010)" çerçevesinde, tele-tıp uygulamaları aracılığıyla teşhis, tedavi ve sağlık danışmanlığı hizmetlerinin verilmesi öngörülmüştür. Bu doğrultuda, 2007 senesinde tele-patoloji, tele-radyoloji ve tele-EKG servisleri faaliyete geçirilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı 2006). 2015 yılında sağlık hizmeti sunan kurumların ve bu hizmetlerden yararlanan kişilerin sağlık bilgilerine erişebildiği e-nabız uygulaması hizmete girmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı 2020).

COVID-19 salgınının başladığı 2020 yılından itibaren tele-tıp, en kritik sağlık hizmeti sunma yöntemlerinden biri haline gelmiştir (Eren ve Denkboy Öngen, 2021). Sağlık Bakanlığının 07/10/2020 tarihli genelgesiyle birlikte teknik çalışmalar tamamlanarak ülkemizde farklı tıbbi alanlarda tele-tıp uygulamalarına yaygın bir şekilde geçilmiştir. Bu bağlamda sunulan hizmetlerin standart hale getirilmesi için 2022 yılında Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından yayımlanan Uzaktan Sağlık Hizmetinin Sunulmasına Dair Yönetmelik yayınlanmıştır. Yönetmelikle birlikte, sağlık hizmetlerinin coğrafi sınırlamalar ve mekânlardan bağımsız olarak, güncel tıbbi teknolojilerle birlikte sunulmasına, uzaktan sağlık hizmetlerinin içeriğine, bu hizmetleri sunacak kuruluşlara izin verilmesine, sistemin iyileştirilmesine, kayıt süreçlerine ve denetimine ilişkin yöntem ve prensipler belirlenmiştir (Sağlık Bakanlığı 2022). Pandemi sürecinde İstanbul Sağlık Müdürlüğü tarafından salgın koşulları altında Koronavirüs Online Destek ve Ruhsal Destek Programı başlatılmıştır (Sağlık Bakanlığı 2021).

TELE-TIP UYGULAMALARI

Telekomünikasyon teknolojileri, tıp alanında dermatoloji, kardiyoloji, pulmonoloji, KBB, birinci basamak sağlık hizmetleri, onkoloji, nöroloji, psikiyatri, romatoloji, enfeksiyon hastalıkları, endokrinoloji ve acil tıp gibi birçok farklı uzmanlık dalında sağlık hizmetlerinin sunulmasında çeşitli imkanlar yaratmaktadır. Bu tıbbi uygulamalar, sağlık teknolojilerinin kullanım alanlarının genişliğini ve hastaların özel gereksinimlerinin hedefe yönelik olarak karşılanabileceğini ortaya koyması bakımından kayda değerdir (Maheu, Whitten ve Allen, 2000). Burada dahili ve cerrahi klinik branşlarda kullanılan tele-tıp uygulamalarından bahsedilmiştir.

1) Tele-onkoloji

Onkoloji, kanser teşhisi almış bir kişinin hayatının tüm evrelerinde, tanı sürecinden başlayıp tedavi, takip ve yaşamı destekleyici bakıma kadar hem hastaya hem de ailesine destek sağlayan çok boyutlu bir tıp alanıdır. Kanser tedavisi, ameliyat, ışın tedavisi, ilaç tedavisi gibi klasik yöntemlerin yanında, günümüzde bağışıklık sistemini güçlendiren tedaviler ve hedefe yönelik tedaviler gibi daha modern ve kişiye özel metotları da içeren geniş bir yelpazeye sahiptir (Wysocki, Komorowski ve Aapro, 2005).

Tele-onkoloji, kanser hastalığının yönetimi sürecinde, tanı (laboratuvar, radyoloji, patoloji), tedavi (cerrahi, radyasyon onkolojisi, medikal onkoloji) ve destekleyici bakım (rehabilitasyon ve yaşam kalitesini artırmaya yönelik bakım) gibi aşamalarda kullanılan bir tele-tıp uygulamasıdır. Tele-onkoloji, patoloji ve radyoloji gibi onkoloji ve ilgili diğer branşlardaki tıbbi telekomünikasyon uygulamalarını kapsayarak, klinik kanser tedavisine ulaşımı kolaylaştırma,

bu tedavinin kalitesini yükseltme ve eğitim olanaklarını geliştirme potansiyeli taşımaktadır (Hazin Qaddoumi, 2010). Bu uygulama, hastaların aktif katılımını teşvik ederek, seyahat yükünü azaltır, tedavi süreçlerini kolaylaştırır ve sağlık hizmetlerine erişimi artırır (Saltan, Akbıyık ve Yıldız, 2023). Tele-onkoloji; tele-diagnoz, tele-konsültasyon, tele-patoloji, tele-cerrahi, bilgisayar destekli radyoterapi planlamasında uzaktan yardım ve tele-takipten oluşur (Wysocki, Komorowski ve Aapro, 2005).

2) Tele-dermatoloji

Tele-dermatoloji, bir cilt hastalıkları uzmanının, başka bir hekime danışmanlık vermesi veya doğrudan cilt sorunu yaşayan bir bireye sağlık hizmeti sunması şeklinde gerçekleşen bir tele-tıp uygulamasıdır (Soyer vd., 2012). Tele-dermatoloji; eş zamanlı ve canlı etkileşimli görüşmeler ya da görüntülerin kaydedilip daha sonra bir hekim tarafından değerlendirildiği etkileşimler olmak üzere temelde iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Canlı etkileşimli tele-dermatolojide, bir dermatolog, tıpkı yüz yüze muayenede olduğu gibi canlı video konferans aracılığıyla hastalarla iletişim kurmaktadır. Kaydet ve gönder yönteminde ise; bir hemşire, sağlık asistanı veya pratisyen hekim, bir muayenhanede veya hastanede klinik ve dermoskopik fotoğraflar çeker ve bu görüntüleri değerlendirilmek üzere uzaktaki bir dermatoloji uzmanına iletir (Pasquali vd., 2020).

Tele-dermatoloji, hem muayene hem de uzman görüşü alma süreçlerinde sıklıkla başvurulmuş bir yöntemdir. Bu uygulama, kuşkulu bir durumda hastayı farklı bir sağlık kuruluşuna yönlendirmeden tanı veya tedavi konusunda ikinci bir uzman fikri almak için hekimler arasında veya hastanın sağlık merkezine gitmesine gerek kalmadan muayene olabilmesi için hasta ile hekim arasında kurulan telekomünikasyon bağlantısıdır. Aynı zamanda tele-dermatoloji, uluslararası düzeyde uzmanlar arası bilgi ve deneyim paylaşımına da olanak tanımaktadır (Armstrong vd., 2012).

3) Tele-nöroloji

Nöroloji uzmanları, baş ağrısı, bunama, sar'a, inme, hareket sistemi rahatsızlıkları ve multiple skleroz gibi bazı sinir sistemi hastalıklarının tedavisinde tele-tıp uygulamalarından yararlanmaktadır. Telefon, internet gibi çeşitli teknolojiler aracılığıyla kurulan bağlantılarla gerçekleştirilen uzaktan veya yüz yüze nörolojik görüşmeler, tele-nöroloji olarak adlandırılır. Klinisyenlerin veya hastaların isteği üzerine başlatılabilen tele-nöroloji, tele-konsültasyon, telekonferans ve tele-eğitim gibi unsurları içerir (Larner, 2011).

Gelir seviyesi düşük ülkelerde nörolojik bakım hizmetlerine erişim sınırlı olduğundan, birçok insan bu hizmetlerden yeterince yararlanamamaktadır.

Tele-nöroloji ise mobil uygulamalar ve giyilebilir sensörler gibi araçlarla daha sık kontrol imkanı sağlayarak hastalıkların yönetimini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Dorsey vd., 2018).

4) Tele-radyoloji

Tele-radyoloji, radyolojik görüntülerin bir yerden başka bir yere elektronik olarak aktarılması işlemidir (Gitlin, 1986). Bu iş modeli, radyolojik görüntülerin (örneğin, röntgen ve bilgisayarlı tomografi) teşhis amacıyla yorumlanmak üzere elektronik ortamda uzaktan gönderilmesine dayanmaktadır. En sık kullanılan yöntem, tıbbi görüntülerin (röntgen, MR vb.) depolandığı ve paylaşıldığı PACS/RIS sistemleriyle birlikte kullanılan, çevrimdışı bir yaklaşım olan mesajlaşma sistemidir (Ruotsalainen, 2010). Tele-radyoloji şu dört alanda önemli rol oynamaktadır (Caramella vd., 2000):

- Görüntülerin çekildiği yerde yeterli değerlendirme yapılamadığında uzman bir radyolog tarafından uzaktan incelenmesi,
- Aynı sağlık kuruluşunun farklı birimleri veya iştirakleri arasında tıbbi görüntülerin paylaşılması (kurum içi tele-radyoloji),
- Uzak bir uzman radyologdan ikinci bir görüş alma imkânı sunarak karmaşık vakalarda tanısal kesinliği artırması,
- Tıp öğrencilerinin uzaktan eğitim imkânlarından faydalanabilmesi ve önde gelen radyologların derslerine erişebilmesi.

2019 Sağlık Bakanlığı genelgesiyle 1855 sağlık kuruluşunun PACS sistemleri E-Nabız'a bağlanarak radyolojik görüntülere ve raporlara kesintisiz erişim imkânı sunulmuştur. Bu entegrasyon sayesinde hasta takibi kolaylaşmış, gereksiz tetkikler azalmış ve radyasyon maruziyeti düşürülmüştür. Bu durum hem sağlık hizmetlerinin verimliliğini artırmış hem de sağlık maliyetlerini düşürmüştür (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2019/16).

5) Tele-endokrinoloji

Lorig ve Holman'a (2003) göre, kronik hastalıklarla yaşayan kişilerin kendi sağlıklarını yönetebilmeleri ve bu konuda bilgilendirilmeleri tedavinin önemli bir parçasıdır. Tele-tıp, kronik rahatsızlıkları bulunan kişiler için uzaktan takip ve tedavi olanağı sağlayarak, bireye özel ve etkili bir bakım yaklaşımı olarak kabul edilmektedir (Fredericks, Martorella ve Catallo, 2015).

Günümüzde sıklıkla görülen kronik hastalıklardan biri diyabettir. Bağışıklık sistemlerinin genellikle daha hassas olması sebebiyle, diyabetli bireyler özellikle salgın hastalıkların yaygın olduğu dönemlerde enfeksiyonlara karşı yüksek risk taşırlar. Bu durum, diyabet yönetiminin sadece kan şekeri kontrolünü değil, aynı zamanda enfeksiyon riskini azaltıcı önlemleri de içeren, farklı uzmanlık alanlarının iş birliğini gerektiren bir yaklaşımla ele alınmasının önemini

artırmaktadır. Amaç, olası komplikasyonları en aza indirmek ve hastaların yaşam kalitesini iyileştirmektir (Kesavadev vd., 2015).

6) Tele-patoloji

Tele-patoloji, dijital patoloji görüntülerinin elektronik iletişim ağları aracılığıyla uzaktan iletilmesini sağlayan bir uygulamadır ve temel olarak ilk tanıların konulması, ikinci görüş alınması, kalite kontrolü, eğitim ve araştırma gibi amaçlarla kullanılabilir (Farahani ve Pantanowitz, 2015). Tele-patoloji sayesinde, telekomünikasyon ağları üzerinden hem çıplak gözle görülebilen (makroskopik) hem de mikroskopla incelenebilen (mikroskopik) patoloji görüntüleri paylaşılabılır (Weinstein, Bhattacharyya ve Graham, 1997).

7) Tele-cerrahi

Robotik sistemler ve yüksek hızlı iletişim teknolojilerinin kullanıldığı tele-cerrahi, cerrahın fiziksel olarak ameliyat alanında olmadığı durumlarda uzaktan cerrahi müdahale imkânı sunan bir yöntemdir (Raison, Khan ve Challacombe, 2015). Tele-cerrahi, tıp alanında bir dönüm noktası teşkil ederek hem cerrahlara çeşitli kolaylıklar sunmakta hem de hastalar için umut vadetmektedir. Ancak bu yenilikçi yöntemin uygulanmasında teknik altyapı eksiklikleri, yüksek finansman gereksinimi ve etik tartışmalar gibi çözülmesi gereken bazı sorunlar bulunmaktadır (Özgüleş, 2025).

8) Tele-psikiyatri

Psikiyatrik değerlendirme, tedavi ve takip hizmetlerinin danışanlara telekomünikasyon yoluyla sunulmasına tele-psikiyatri denir (Fadıloğlu, 2021). Psikiyatristler, gelişmiş teknolojiler sayesinde hem uzak bölgelerdeki hastalara uzmanlık desteği sunabilmekte hem de kırsal kesimdeki birinci basamak sağlık çalışanlarına danışmanlık yapabilmektedir. Bu teknoloji, psikiyatrik konsültasyon, değerlendirme, tanı, ilaç takibi, bireysel ve grup terapileri ile yönetim süreçlerinde kullanıldığı gibi, tıbbi veri ve araştırmaların eğitim, depolama ve erişim amaçları için de değerlendirilmektedir (Malhotra, Chakrabarti ve Shah, 2013).

COVID-19 salgınının getirdiği fiziksel mesafe zorunluluğu, alışlagelmiş psikiyatrik hizmetlerin sunulmasında büyük sorunlara yol açmıştır. Ancak bu süreçte tele-psikiyatri gibi iletişim teknolojilerinin devreye girmesi, psikiyatrik bakımda aksamaları en aza indirerek hastaların ruh sağlığı hizmetlerine ulaşımını kolaylaştırmış ve bu alandaki bakımın devamlılığını sağlamıştır (O'brien ve McNicholas, 2020).

9) Tele-pediyatri

Tele-pediyatri, uzman çocuk sağlığı hizmetlerinin gerçek zamanlı veya depola ve ilet iletişim yöntemleriyle uzaktan sunulmasıdır. Telefon, e-posta

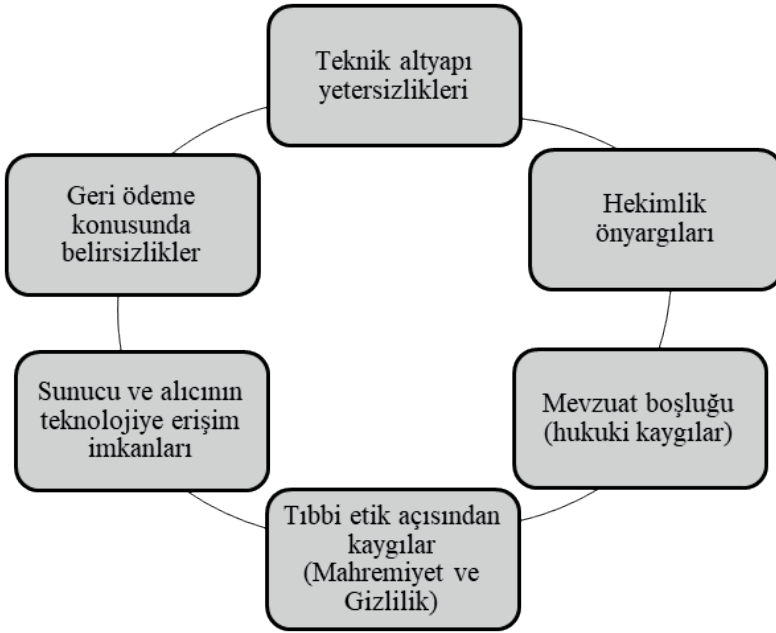
veya video konferans gibi yaygın araçlarla bilgi alışverişini içerir ve diğer tele-tıp uygulamalarında olduğu gibi klinik, eğitsel veya idari amaçlara hizmet edecek şekilde düzenlenir (Smith, 2007). Tele-pediatric hizmetleri, çocuk sahibi ailelerin seyahat etme ve işlerinden uzak kalma gibi zorluklarını hafifletir. Aynı zamanda uzmanlar ve birinci basamak sağlık çalışanları arasındaki iletişim sorunları veya gecikmelerden kaynaklanabilecek tıbbi hataların riskini azaltma potansiyeline sahiptir. Son olarak, kırsal bölgelerdeki birinci basamak sağlık personeline eğitim imkanı sunarak izolasyonlarını azaltabilir ve tıbbi uzmanlık alanlarındaki bilgilerini artırabilir (Marcin vd., 2004).

TELE-TIBBIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Özellikle kısıtlı imkânlarla sahip yerler de dâhil olmak üzere tele-sağlık teknolojileri sağlık hizmetlerinin verimliliğini yükseltme ve sağlık alanındaki adaletsizlikleri giderme konusunda büyük bir imkân sunmaktadır (Yücel, 2023). Tele-tıp, kırsal kesimde ikamet edenlerin sağlık hizmetlerine ulaşımını kolaylaştırır. Ulaşım giderlerini düşürerek ekonomik açıdan rahatlama sağlar. Özellikle uzun süreli rahatsızlıkları olan veya ufak tefek sağlık sorunları yaşayanlar için büyük bir avantaj sunar (Haleem vd., 2021). Tele-tıp sayesinde sağlık personeli, en güncel ve küresel sağlık bilgisine kolayca ulaşabilir, bu da onların yeteneklerini geliştirmelerine olanak tanır. Aynı zamanda tele-tıp, ülkenin genel sağlık seviyesini yükseltmek için tüm sağlık sisteminin potansiyelini artırır. Hatta bazı durumlarda, doktorlar ve diğer sağlık profesyonelleri arasında fikir alışverişini yapılmasına ve ikinci bir uzman görüşü alınmasına da imkân tanır (Katzenstein vd., 2012). Tele-tıp, tecrübesiz veya bilgi düzeyi daha düşük sağlık personelinin uzmanlarla kolayca iletişim kurmasını sağlayarak, hatalı teşhis ve/veya tedavi riskini düşürür ve dolayısıyla yanlış uygulamalara maruz kalma ihtimalini azaltır (Baquet, 1997). Tele-tıp yapay zekâ ile bütünleştğinde, hastanelerin ve kliniklerin üzerindeki iş yükü hafifler. Elektronik sağlık kayıtları sayesinde sağlık personeli, hastaların tıbbi geçmişine anında erişerek doğru tanı ve tedavi planlarını oluşturabilir. Elektronik reçete sistemi, ilaç kaynaklı hataları en aza indirir ve hasta memnuniyetini yükseltir. Taburcu edilen hastaların takip edilmesini ve sağlıklarına kavuşma süreçlerinin daha iyi yönetilmesini sağlar (Haleem vd., 2021).

Her teknolojiye olduğu gibi tele-tıbbın da sayısız faydasının yanında bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Hasta verilerinde gizlilik ve mahremiyet açığı oluşturabilir. Hastanın tıbbi bilgilerinin yetkisiz kişilerin eline geçmesi gibi ciddi sorunlar ortaya çıkabilir (Haleem vd., 2021). Tele-tıp, sağlık hizmetlerine ulaşımı kolaylaştırmasına rağmen, bakımın sürekliliği açısından bazı soru işaretleri oluşturmaktadır. Özellikle yüz yüze iletişimin eksikliği ve sanal ortamda fiziksel muayenenin yapılamaması, bu endişelerin temelini

oluşturmaktadır. Ancak, tele-tıbbın mevcut sağlık hizmetlerinin bir parçası olarak görülmesi ve belirli önlemlerin alınmasıyla bu endişeler önemli ölçüde azaltılabilir. Yüz yüze muayenelerin hala önemini koruduğu durumlarda, tele-tıp, takip ve tedavi süreçlerine destekleyici bir unsur olarak katkı sağlayabilir. Örneğin, uzun süreli rahatsızlıkları olan hastaların düzenli olarak izlenmesi, ilaçlarının ayarlanması ve psikolojik destek sunulması gibi konularda tele-tıp oldukça faydalı bir araç olabilir (Gajarawala ve Pelkowski, 2021).



Şekil 3. Tele-tıpta Sağlık Hizmetlerinin Desteklenmesinde Sık Karşılaşılan Engeller

Kaynak: Dağdelen, 2025: 129 kaynağından türetilmiştir.

Bir tele-tıp sisteminin hayata geçirilmesi veya mevcut sistemin devamlılığı önünde bazı önemli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar Şekil 2’ de ifade edildiği gibi telekomünikasyon maliyetleri ve altyapı eksikliği, hekimlik önyargıları, belirsiz hukuksal çerçeve, yasal gri alanlar, mahremiyet ve gizlilik, sunucu ve alıcının teknolojiye erişim imkânları ve geri ödeme konusunda belirsizliklerden oluşmaktadır. Tele-tıbbın avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Celep, Budakoğlu ve Coşkun, 2024);

Tele-tıbbın Avantajları

- Zaman ve mekân kısıtlılığının ortadan kalkması
- Hekim etkinliğinde artma

- Sağlık harcamalarında azalma
- Hizmet kalitesini artırma fırsatı
- Uygun izleme ve veri toplama, hasta takibi
- Kişilerin kendi sağlık durumları ile ilgili daha çok sorumluluk alması
- Sağlık okuryazarlığında artma
- 7/24 hasta izlemi ve kayıt olanağı
- Uzaktan hasta yönetimine izin, hayatı tehdit edebilecek durumlarda erken müdahale şansı
- Sağlık merkezine ulaşımın dijital ortamda sağlanması ve dijital ortamdaki hizmetlerin çevre dostu olması

Tele-tıbbın Dezavantajları

- Fizik muayene olmamasının getireceği olası tanı ve tedavi eksiklikleri,
- Zaman yönetiminde sorunlar,
- Endikasyonlarda belirsizlik,
- Belirsiz hukuksal çerçeve, yasal gri alanlar,
- Erişimde sosyal adalet konusunda çekinceler
- Yazılım ve cihaz maliyeti
- Bağlantı kalitesi sorunları
- Beklenti derecesinde belirsizlik
- Geri ödeme konusunda belirsizlikler
- Hasta ve hasta yakınının hizmeti benimsemesi
- Verilerin saklanması, hasta mahremiyeti ile ilgili sorunlar ve çekinceler

SONUÇ

Bu bölümde ele aldığımız üzere, tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetleri, modern sağlık sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. Özellikle sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlı olduğu coğrafyalarda ve kronik hastalıkların yönetiminde sunduğu avantajlar yadsınamaz bir gerçektir. Maliyet etkinliği, zaman tasarrufu, artan hasta memnuniyeti ve sağlık profesyonellerinin bilgi paylaşımını kolaylaştırması gibi pek çok faydası bulunmaktadır. Yapay zeka entegrasyonu, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve elektronik sağlık kayıt sistemleri gibi yeniliklerle birlikte, tele-tıbbın tanı ve tedavi süreçlerindeki etkinliği giderek artmaktadır. Ayrıca, sağlık çalışanlarının mesleki gelişimine katkısı ve hatalı uygulama riskini azaltma potansiyeli de göz ardı edilmemelidir. Özellikle yaşlanan nüfus ve artan kronik hastalık yükü düşünüldüğünde, uzaktan hasta takibi ve tele-konsültasyon gibi uygulamalar sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayabilir.

Ancak, bu geniş kapsamlı faydalarının yanı sıra, tele-tıbbın bazı önemli zorlukları da bulunmaktadır. Bakım sürekliliği konusundaki endişeler, özellikle yüz yüze iletişimin ve fiziksel muayenenin yerini tam olarak alamaması nedeniyle önemini korumaktadır. Hasta verilerinin güvenliği ve gizliliği, güvenli altyapı eksikliği ve telekomünikasyon maliyetleri gibi teknik ve altyapısal sorunlar da çözülmesi gereken önemli konulardır. Doktorların katılımı konusundaki çekinceler, yasal sorumluluklar ve değişime karşı direnç gibi organizasyonel ve kültürel engeller de tele-tıbbın yaygınlaşmasını yavaşlatabilmektedir.

Tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetlerinin potansiyelinden tam olarak yararlanmak ve karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

- Tele-tıp uygulamalarının, yüz yüze muayenelerle entegre bir şekilde sunulması ve hastaların sanal ortamda da sürekli ve kişiselleştirilmiş bir takip alması sağlanmalıdır. Güven ilişkisinin tesis edilmesi için sanal görüşmelerde empati ve etkili iletişim becerileri ön plana çıkarılmalıdır.
- Hasta verilerinin güvenliğini en üst düzeyde sağlamak için güçlü şifreleme yöntemleri ve güvenli iletişim kanalları kullanılmalı, yasal düzenlemelere tam uyum sağlanmalıdır. Hastaların veri gizliliği konusunda bilgilendirilmesi ve onaylarının alınması kritik öneme sahiptir.
- Özellikle kırsal ve sosyoekonomik düzeyi düşük bölgelerde telekomünikasyon altyapısının güçlendirilmesi ve uygun maliyetli erişim imkanlarının sunulması gerekmektedir. Mobil sağlık (m-sağlık) uygulamaları ve düşük bant genişliği gerektiren çözümler yaygınlaştırılabilir.
- Sağlık çalışanlarının tele-tıp uygulamaları konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahip olması için kapsamlı eğitim programları düzenlenmeli, tele-tıbbın faydaları ve kullanım alanları konusunda farkındalık artırılmalıdır.
- Tele-tıp uygulamalarının yasal sorumlulukları, hasta hakları ve mesleki etik ilkeleri gibi konularda net düzenlemeler yapılmalı, belirsizlikler giderilmelidir. Uluslararası standartlara uyumlu bir hukuki altyapı oluşturulmalıdır.

Bu önerilerin hayata geçirilmesiyle, tele-tıp ve uzaktan sağlık hizmetleri, geleceğin sağlık sistemlerinde daha etkin ve yaygın bir rol oynayarak, daha erişilebilir, kaliteli ve sürdürülebilir sağlık hizmetlerinin sunulmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Albishi, S., Soh, B., Ullah, A. & Algarni, F. (2017). "Challenges and Solutions for Applications and Technologies in the Internet of Things". *Procedia Computer Science*, 124: 608–614. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.196>.
- Allen, A. L. (2009). Confidentiality: an expectation in health care. *The Pen Center Guide to Bioethics*, 127-128.
- American Telemedicine Association. What is telemedicine?. <https://www.americantelemed.org/>. (Erişim tarihi 24 Nisan 2025).
- Armstrong, A., Wu, J., Kovarik, C., Goldyne, M., et al., (2012). "State of Tele-dermatology Programs in the United States". *Journal of the American Academy of Dermatology*, 67(5): 939-944.
- Aronson, Sidney (1977). "The Lancet on the Telephone 1876–1975". *Medical history*, 21(1), 69-87.
- Baquet, C. R. (1997). An overview of telemedicine. *Journal of the Association for Academic Minority Physicians: the Official Publication of the Association for Academic Minority Physicians*, 8(1): 2-10.
- Breen, G.M. & Matusitz, J. (2010). "An Evolutionary Examination of Telemedicine: a Health and Computer-Mediated Communication Perspective". *Social Work in Public Health*, 25(1), 59-71.
- Caramella, D., Reponen, J., Fabbrini, F., & Bartolozzi, C. (2000). Teleradiology in Europe. *European journal of radiology*, 33(1): 2-7.
- Celep, G., Budakoğlu, İ.İ. & Coşkun, Ö. (2024). Tele-tıp ve Tıp Eğitiminde Tele-tıp Müfredatı. *Tıp Eğitimi Düşüncesi*, 23(70):5-23.
- Currell, R., Urquhart, C., Wainwright, P. & Lewis, R. (2000). Telemedicine versus face to face patient care: Effects on professional practice and health care outcomes. *Cochrane Database Systematic Reviews*, (2).
- Dağdelen, S. (2021). Tele-tıp uygulamaları: bugünden geleceğe öngörü ve beklentiler. *TELETIP*, 127.
- Dang, L. M., Piran, M. J., Han, D., Min, K., & Moon, H. (2019). A survey on internet of things and cloud computing for healthcare. *Electronics*, 8(7): 768.
- Demir, H., & Şahin, İ. (2019). Tip 2 diyabet hastalarının nesnelerin interneti tabanlı izlemi. *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, 17(2): 97-134.
- Dorsey, E. R., Glidden, A. M., Holloway, M. R., Birbeck, G. L., & Schwamm, L. H. (2018). Teleneurology and mobile technologies: the future of neurological care. *Nature Reviews Neurology*, 14(5): 285-297.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2010). Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth: Geneva, Switzerland World Health Organization.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2016). Tele-health. Analysis of third global survey on eHealth based on the reported data by countries. <https://www.who.int/gho/goe/telehealth>. (Erişim tarihi 24 Nisan 2025).
- Einhoven, W. (2005). Le télécardiogramme [The telecardiogram]. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 11(1):3–9.
- Eren, E. & Denkboy Öngen, Y. (2021). *Tele-tıbbın tarihsel süreci*. Arslanoğlu İ., editör. Çocuk Endokrinolojisinde Tele-tıp. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; p.1-4.
- Ertek, S. (2011). Endokrinolojide tele-sağlık ve tele-tıp uygulamaları. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, (3): 126-130.
- Fadıloğlu, E. (2021). *Çocuk ve ergenlerde telepsikiyatri uygulamaları* (C. Özlü, N. Köylüoğlu, M. A. Gedik, H. S. Yangal ve A. Özlü, Ed.). Akademisyen.
- Farahani, N., & Pantanowitz, L. (2015). Overview of telepathology. *Surgical pathology clinics*, 8(2): 223-231.
- Fredericks, S., Martorella, G. & Catallo, C. (2015). "A Systematic Review of Web-based Educational Interventions". *Clinical Nursing Research*, 24(1): 91-113.

- Gajarawala, S. N. ve Pelkowski, J. N. (2021). Telehealth benefits and barriers. *The Journal for Nurse Practitioners*, 17(2): 218-221.
- Gitlin, J. (1986). Teleradiology. *Radiologic Clinics of North America*, 24(1): 55-68.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. & Suman, R. (2021). "Telemedicine for Healthcare: Capabilities, Features, Barriers, and Applications" *Sensors International*, 2, 100117:1-12.
- Jnr, Bokolo Anthony. (2020). "Use of Telemedicine and Virtual care for Remote Treatment in Response to COVID-19 Pandemic". *Journal of Medical Systems*, 44(7): 1-9.
- Katzenstein, J., Yrle, A. C., Chrispin, B., Hartman, S., & Lundberg, O. (2012). Telemedicine: An Innovative Technique In Healthcare Delivery. *Academy of Health Care Management Journal*, 8.
- Kelly, J. T., Campbell, K. L., Gong, E. & Scuffham, P. (2020). The Internet of Things: Impact and implications for health care delivery. *Journal of Medical Internet Research*, 22(11): e20135. <https://doi.org/10.2196/20135>.
- Kesavadev, J., Saboo, B., Shankar, A., Krishnan, G., & Jothydev, S. (2015). Telemedicine for diabetes care: An Indian perspective-feasibility and efficacy. *Indian journal of endocrinology and metabolism*, 19(6): 764-769.
- Khan, M.A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future generation computer systems*, 82, 395-411.
- Khandpur, R.S.(2017). Telemedicine: Technology and Applications(mHealth, TeleHealth and eHealth). Delhi, India: PHI Learning. (Erişim tarihi: 24 Nisan2025).
- Kolcuoğlu, A. (2023). "Covid-19 Sürecinde Sağlık Personelinin Tele-tıp Uygulamaları Konusunda Farkındalık Düzeyi". Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Toros Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mersin.
- Larner, A. (2011). Teleneurology: an overview of current status. *Practical neurology*, 11(5): 283-288.
- Lorig, K. & Holman, H. (2003). "Self-management Education: History, Definition, Outcomes, and Mechanisms". *Annals of behavioral medicine*, 26(1): 1-7.
- Mahdavinejad, M. S., Rezvan, M., Barekatain, M., Adibi, P., Barnaghi, P., & Sheth, A. P. (2018). Machine learning for Internet of Things data analysis: A survey. *Digital Communications and Networks*, 4(3): 161-175.
- Maheu, M., Allen, A. & Whitten, P. (2000). *E-Health, Telehealth, and Telemedicine: a Guide to Startup and Success*. John Wiley & Sons.
- Malhotra, S., Chakrabarti, S., & Shah, R. (2013). Telepsychiatry: Promise, potential, and challenges. *Indian journal of psychiatry*, 55(1): 3-11.
- Marcin, J. P., Ellis, J., Mawis, R., Nagrampa, E., Nesbitt, T. S., & Dimand, R. J. (2004). Using telemedicine to provide pediatric subspecialty care to children with special health care needs in an underserved rural community. *Pediatrics*, 113(1): 1-6.
- Marx, W., Kelly, J. T., Crichton, M., Craven, D., Collins, J., Mackay, H., Isenring, E., & Marshall, S. (2018). Is telehealth effective in managing malnutrition in community-dwelling older adults? A systematic review and meta-analysis. *Maturitas*, 111, 31-46. doi: 10.1016/j.maturitas.
- Niimi, Y. & Ota, K. (2017). "Examination of An Electronic Patient Record Display Method To Protect Patient Information Privacy". *Computers, Informatics, Nursing*, 35(2): 100-108.
- Nazir, S., Ali, Y., Ullah, N., & García-Magariño, I. (2019). Internet of things for healthcare using effects of mobile computing: a systematic literature review. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019(1), 5931315.
- O'brien Marey and McNicholas Fiona (2020). The use of telepsychiatry during COVID-19 and beyond. *Irish journal of psychological medicine*, 37(4): 250- 255.
- ONC (2019). Erişim: <https://www.healthit.gov/faq/what-telehealth-how-telehealthdifferenttelemedicine#:~:text=While%20telemedicine%20refers%20specifically%20to,other%20ways%20to%20define%20telehealth.> (Erişim Tarihi: 24.04.2025).

- Ould-Yahia, Y., Banerjee, S., Bouzeffrane, S., & Boucheneb, H. (2017). Exploring formal strategy framework for the security in IoT towards e-health context using computational intelligence. *Internet of things and Big data technologies for next generation healthcare*, 63-90.
- Önal, S. & Kaya, G. G. (2020). "Pandemi Sürecinde Uzaktan Hasta Takibi Uygulamalarında Tele-Tıp ve Birinci Basamaktaki Yeri". *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 12 (3): 98-106.
- Oracle. (2024) Nesnelerin interneti (IoT) nedir?. Erişim adresi <https://www.oracle.com/tr/internet-of-things/what-is-iot/>. (7 Mayıs 2025)
- Özgüleş, R. (2025). "Teletıp İle Yeni Nesil Sağlık Deneyimi: İnovatif Girişimcilik Perspektifi". Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Pasquali, P., Sonthalia, S., Moreno-Ramirez, D., Sharma, P., Agrawal, M., Gupta, S., Kumar, D. & Arora, D. (2020). "Teledermatology and its Current Perspective". *Indian Dermatolgy Online Journal*, 11(1): 12-20.
- Ruotsalainen, P. (2010). "Privacy and Security in Teleradiology". *European Journal of Radiology*, 73(1): 31-35.
- Saltan, H., Akbıyık, A. & Yıldız, M. (2023). Hasta-hemşire-doktor perspektifi ile teletıp cihaz ve sistemlerinin kabul ve kullanımına yönelik faktörlerin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, İşletme Enstitüsü, Sakarya.
- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied energy*, 195, 234-246.
- Soyer, H. P., Binder, M., Smith, A. C., & Wurm, E. M. (2012). *Telemedicine in Dermatology*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Smith, A. (2007). "Telepaediatrics". *Journal of Telemedicine and Telecare*, 13(4): 163-166.
- Sullivan, P., & Lugg, D. J. (1995). Telemedicine between Australia and Antarctica. *SAE Technical Paper*, 1911-1995.
- Srivastava, J., Routray, S., Ahmad, S., & Waris, M. M. (2022). [Retracted] Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System: Trends and Progress. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 7218113.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Bilgi İşlem Daire Başkanlığı (2004). Türkiye Sağlık Bilgi Sistemi Eylem Planı.
- T.C. Sağlık Bakanlığı (2006). Bilgi Toplumu Stratejisi Eylem Planı 2006-2010.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2019). *Tele-tıp ve tele-radyoloji sistemi hakkında genelge*. 2019/16 Erişim adresi: <https://sbsgm.saglik.gov.tr/TR,56638/teletip-ve-teleradyoloji-birimi-genelgesi-201916-yayimlandi.html>. Erişim tarihi: 05.05.2025
- T.C. Sağlık Bakanlığı (2020). e-Nabız | T.C. Sağlık Bakanlığı. Erişim: <https://enabiz.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 30 Nisan 2025).
- T.C. Sağlık Bakanlığı İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü (2021) Erişim: <https://istanbulism.saglik.gov.tr/TR,180686/korona-virus-pandemisindeonline-ruhsal-destek.html> (Erişim Tarihi: 01 Mayıs 2025).
- T.C. Sağlık Bakanlığı (2022). Erişim: <https://teletip.saglik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 30 Nisan 2025).
- Yuehong, Y. I. N., Zeng, Y., Chen, X., & Fan, Y. (2016). The internet of things in healthcare: An overview. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 3-13.
- Yücel, M. (2023). "Uzaktan sağlık hizmetlerinin kullanılmasına yönelik tutum ölçeği geliştirilmesi". Tıpta Uzmanlık tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi, Konya.
- Weinstein, R. S., Bhattacharyya, A. K., Graham, A. R., & Davis, J. R. (1997). Telepathology: a ten-year progress report. *Human Pathology*, 28(1): 1-7.
- Wysocki, W. M., Komorowski, A. L. & Aapro, M. (2005). The new dimension of oncology: Teleoncology ante portas. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 53(2): 95-100.

NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) VE AKILLI SAĞLIK CİHAZLARI

Semra ALTSOY¹

Giriş

İnternetin ortaya çıkışı askeri teknolojinin bir ürünüdür. İnternet, 1969 yılında ABD ordusunda ortaya çıkmıştır. Dünya çapında web'in ortaya çıkışı, internetin “her şeyin birbirine bağlanmasını” gerçekleştirmesini sağlamış ve askeri olandan sivil olana doğru hareket etmeye başlamıştır. Web 1.0, Web 2.0 ve Web 3.0, internetin ana gelişim aşamalarını özetlemektedir. Web 1.0, bilgi çağıdır. İnternetin en erken kullanımı bilgi iletmek olduğundan, bilgi iletiminin kolaylığı ve anında olması internetin getirdiği kazançlardır. Web 2.0, insanların internet aracılığıyla anında bilgi iletmesinden ve insanlar arasındaki ilişkinin internet üzerine kurulmasından kaynaklanan ilişki çağıdır. Web 2.0'dan başlayarak, internet yavaş yavaş basit bir bilgi iletim kanalından sanal bir kişilerarası ağa dönüşmüştür. Genel olarak, mevcut internet gelişiminin Web 2.0 aşamasında olduğuna inanılmaktadır. Web 3.0, “her şeyin birbirine bağlanmasının” tam olarak gerçekleştirilmesini sağlamıştır (Fang ve Shen, 2021). Web 3.0, Web 2.0'ın yerine geçerek yeni bir sistem olarak ön plana çıkmış, insan işbirliğini sağlayan ağ bağlantılı dijital teknolojiler şeklinde işlev yüklenmektedir (Keskin ve Bayram, 2023). Web 3.0'ın sahip olduğu özellikler sayesinde bilgisayarlar, bir insan gibi verileri yorumlayabilir ve insanların ihtiyaçlarına dayalı şekilde tasarlanan yararlı içerikler yapay zeka aracılığıyla üretilerek paylaşılır. Web 3.0 veri ve bilgilerin bilgisayar sistemleri tarafından anlaşılacak şekilde depo edildiği teknolojilerdir. Ayrıca yeni nesil bir yapay zekanın ortaya çıkmasını sağlayacak güce sahiptir (Koçak, 2023).

İnternetin gelişimi ile birlikte nesnelerin interneti ve akıllı sağlık cihazları kazanımlarına sahip olunmuştur. Bu nedenle internetin gelişim süreci önem taşımaktadır. Nesnelerin interneti (IoT) ve akıllı sağlık cihazları konusunun ele alındığı bu kitap bölümünde; öncelikle nesnelerin interneti tanımı, gelişimi,

bileşenleri, süreci, uygulamaları, sağlık alanındaki avantajları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra akıllı sağlık cihazları tanımı, faydaları, zorlukları ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak giyilebilir teknolojiler (wearables) ve hasta izleme sistemleri ve akıllı hastane uygulamaları konuları açıklanmıştır. Giyilebilir teknolojilerin tanımı, süreci, cihazları, güvenlik problemleri, uygulama alanları, güçlü ve zayıf yönlerine değinilmiştir. Hasta izleme sistemleri tanımı, kullanım durumları ve uygulama alanları açıklanmıştır. Akıllı hastane uygulamaları tanımı ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Nesnelerin İnterneti (IoT)

İlk sanayi devrimi, 18. yüzyılın sonunda makinelerin icadı ve buhar gücünden faydalanılmasıyla başladı. Endüstri 1.0'ın temel özelliği mekanizasyondur. İkinci sanayi devrimi (Endüstri 2.0), 1870'ten sonra elektrik enerjisi sayesinde mekanik üretimin hızlanmasıyla başladı. Üçüncü sanayi devrimi (Endüstri 3.0), 1969 yılı itibariyle elektronik ve otomasyon sistemlerinin yaygınlaşarak işçilik maliyetlerinin daha da azalmasıyla başlamıştır. Dijital dönüşümü anlatan dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) ise sensörler ve akıllı kontrol birimlerine sahip makinelerin geliştirilmesi ve uygulanmasına bağlı olmuştur. Böylece makinelerin birbirleri ile iletişim sağlamalarına ve otomatik olarak sorun giderme ve raporlama gerçekleştirmelerine imkan sunulmuştur (Turkyılmaz, 2024). Endüstri 4.0'ün bileşenlerinden bir tanesi olan nesnelerin interneti ile teknoloji, yeni bir döneme girmiştir. Böylece çeşitli araçlar arasında işbirliği ve iletişim sağlamak mümkün olmuştur (Erol ve Eraslan, 2024).

Nesnelerin interneti, durumlara ve çevredeki değişikliklere karşı tepki verme ve hareket etme kapasitesine sahip, kendiliğinden organize olabilen, bilgi, veri ve kaynakları paylaşabilen akıllı nesnelerin açık ve kapsamlı bir ağı şeklinde tanımı yapılabilmektedir. Nesnelerin interneti, her bir nesneye benzersiz bir kimlik sağlayarak dünyadaki herhangi bir şey olan insandan insana, insandan nesnelere ve nesnelerden nesnelere arasındaki iletişimi sağlayan küresel bir ağ olarak da düşünülebilir (Madakam vd., 2015). Nesnelerin interneti, mobil telefonlar, tabletler ve bilgisayarlar gibi dağıtılmış cihazlar arasında bağlantılar kurarak, son kullanıcılar için dış çevrelerden veri algılayıp iletme işlevini yerine getirmektedir (Aouedi vd., 2024).

Makineden makineye (machine-to-machine (M2M)), nesnelerin interneti teknolojisinin başka bir adıdır. Makineden makineye teknolojisi sayesinde SIM kart kullanılarak akıllı duruma getirilen makineler tasarrufun sağlanması, çevrenin korunması, sahada kontrolün sağlanması, verimliliğin artırılması, fiziki ve sağlık güvenliğine katkıda bulunarak kullanıcılara, kurumlara ve ülke ekonomisine büyük katkısı olmaktadır (Aktaş vd., 2016).

Kevin Ashton tarafından nesnelerin interneti kavramı tarihte ilk kez 1999 yılında kullanılmıştır. Fakat fikir olarak ilk kez 1990 yılında kahve makinesinin doluluk-boşluk durumu kontrolü için faydalanan kamera sistemi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra, nesnelerin interneti olarak akıllı özelliğe sahip olan bileklikler, saatler, gözlükler, kıyafetler, spor aletleri, ev otomasyon sistemleri, arabalar gibi ürünler sunulmuştur. Böylelikle nesnelerin interneti piyasası oluşmuştur (Bıçakçı, 2019). LG 2000 yılında ilk internet buzdolabı planlarını açıkladı. David Rose ve diğerleri tarafından 2002 yılında MIT Media Lab'den bir yan ürün olarak yaratılan Ambient Orb, NY Times Magazine'in yılın fikirlerinden biri olarak adlandırdığı bir şekilde piyasaya sürüldü. RFID, 2003-2004 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı tarafından Savi programında ve ticari dünyada Wal-Mart tarafından büyük ölçekli olarak kullanılmıştır. Birleşmiş Milletler Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), 2005 yılında nesnelerin interneti konusundaki ilk raporunu yayımladı. Avrupa Birliği tarafından 2008 yılında tanınma ve ilk Avrupa nesnelerin interneti konferansı düzenlenmiştir. ABD Ulusal İstihbarat Konseyi, nesnelerin internetini 2025 yılına kadar ABD çıkarları üzerinde potansiyel etkileri olan 6 “Bozucu Sivil Teknoloji” arasında listelemiştir. Çin Başbakanı Wen Jiabao, 2010 yılında nesnelerin internetini Çin için kilit bir sanayi olarak nitelendirmiş ve nesnelerin internetine büyük yatırımlar yapma planları olmuştur (Madakam vd., 2015). Dünyada nesnelerin interneti cihazlarının sayısı incelendiğinde 2020’de sayı 9,7 milyar olduğu 2030 yılına gelindiğinde ise sayının 29 milyardan fazla olacağı düşünülmektedir. Çin’de 2030 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak 5 milyar kullanıcı ile en fazla nesnelerin interneti cihazının olması tahmin edilmektedir (Turkyılmaz, 2024).

Nesnelerin interneti bileşenleri incelendiğinde insan, süreç, veri ve nesne olmak üzere dört tane olduğu görülmektedir. Aşağıda nesnelerin interneti bileşenleri hakkında bilgi verilmiştir (Gündüz ve Daş, 2018):

Nesne: Nesnelerin internetinin amacı nesneler arasında bilgi paylaşımının internet vasıtasıyla sağlanmasıdır. Nesnelerin interneti her tür nesneyi kapsamaktadır. Hemen hemen her nesne, nesnelerin interneti ile bağlanabileceği düşünülmektedir. Söz konusu nesneler dâhili sunucu ve harici çevre ile bilgi paylaşımı yapmak için gömülü sistemlerden faydalanmaktadır. İnternete ve birbirine bağlanan cihazlar anlamında kullanılan kavram nesne bileşenidir.

Veri: Veri ortamda bulunan herhangi bir şeye atanmış değer olarak tanımlanır. Tek başına bazen bir anlam ifade etmeyen veri, yorumlandığında, ilişkili duruma getirildiğinde, bir işleme tabi tutulduğunda ya da karşılaştırıldığında daha anlamlı bir hal alır. Anlamlı hale dönüşen veri, bilgiye (information), bilgi uygulandığında ya da anlaşıldığında ise özbilgi (knowledge) haline dönüşür.

İnsan: İnsanların kullanabileceği faydalı bilgiler, en uygun kararlara dayanarak eylemlerin gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır. İnsanların faydalanması için verinin oluşturulması makineden makineye (Machine to Machine (M2M)), makineden insana (Machine to People (M2P)), insandan insana (People to People (P2P)) olmak üzere üç şekilde etkileşim ile ortaya çıkmaktadır. Nesnelerin internetinin başlangıç noktası, internette sağlanan verilerdeki bilgilerden yararlanarak bir eylemi yapmaktır. Nesnelerin interneti, insanların yararları için insan davranışlarını değişikliğe uğratabilecek doğru ve zamanlı bilgiyi insanlara ulaştırma gücü bulunmaktadır.

Süreç: Nesnelerin internetinde yer alan diğer üç bileşenin uyumlu çalışmasında süreç bileşeninin etkisi bulunmaktadır. Süreç, insan-nesne-veri arasında bulunan etkileşimi kolaylaştırmayı sağlamaktadır. Bilginin doğru kişiye, doğru zamanda ve uygun biçimde ulaştırılmasını süreç bileşeni gerçekleştirir.

Nesnelerin interneti uygulama alanları; akıllı şehirler, sağlık uygulamaları, lojistik uygulamaları, inşaat uygulamaları, tarım alanında uygulamalar ve giyilebilir teknolojilerdir (Erol ve Eraslan, 2024).

Atzori vd., (2010) çalışmalarında nesnelerin interneti uygulamalarını beş gruba ayırmıştır: Ulaşım ve lojistik alan (lojistik, yardımcı sürüş, mobil biletleme, çevre izleme, artırılmış haritalar), sağlık alanı (izleme, tanımlama, kimlik doğrulama, veri toplama, algılama), akıllı ortamlar alanı (konforlu evler/ofisler, endüstriyel tesisler, akıllı müze ve spor salonu), kişisel ve sosyal alan (sosyal ağ, tarihsel sorgular, kayıplar, hırsızlıklar) ve fütüristik alan (robot taksi, şehir bilgi modeli, geliştirilmiş oyun odası) olarak sıralamıştır. Sundmaeker vd., (2010) ise çalışmalarında nesnelerin interneti uygulama alanlarını şu şekilde sıralamıştır: Uzay ve havacılık (sistem durum izleme, yeşil operasyonlar), otomotiv (sistem durum izleme, V2V ve V2I iletişimi), telekomünikasyon, akıllı binalar (otomatik enerji ölçümü/ ev otomasyonu/ kablosuz izleme), tıbbi teknoloji, sağlık, (kişisel alan ağları, parametrelerin izlenmesi, konumlandırma, gerçek zamanlı konum sistemleri), bağımsız yaşam (sağlıklı yaşam, hareketlilik, yaşlanan bir nüfusun izlenmesi), ilaç, perakende, lojistik, tedarik zinciri yönetimi, üretim, ürün yaşam döngüsü yönetimi (beşikten mezara), işleme endüstrileri - petrol ve gaz, güvenlik, emniyet ve gizlilik, çevre izleme, insan ve mal taşımacılığı, gıda izlenebilirliği, tarım ve yetiştirme, medya, eğlence ve biletleme, sigorta, geri dönüşüm olarak yer almaktadır.

Nesnelerin internetinin sağlık alanındaki avantajları hataları azaltma, sistem yönetimini geliştirme, verimli süreçler, güvenliği artırma, varlıkların geliştirilmiş şekilde kullanımı, iyileştirilmiş tedavi, daha hızlı hastalık teşhisi,

senkronize izleme ve raporlama, uygun fiyatlı uçtan uca bağlantı, veri çeşitliliği ve daha iyi analiz, kesin izleme ve uyarı yardımı ve son olarak uzaktan tıbbi yardım olarak sıralanmaktadır (Dalal vd., 2020).

Akıllı Sağlık Cihazları

E-sağlık, sağlık hizmetlerinin dijitalleştirilmesine yönelik çeşitli süreçleri ve her vatandaşın verilerinin sadece klinik yönetimini değil, idari yönetimini de kapsayan elektronik altyapıların oluşturulmasını ifade etmektedir. Akıllı sağlık ise, aynı süreçleri ve kişiselleştirilmiş modelleri uygulayan akıllı telefonlar da dahil olmak üzere nesnelerin interneti cihazlarına daha fazla odaklanmaktadır. Bu cihazlar, sağlık durumlarının izlenmesi ve tedavisi için kullanılmaktadır (Aversano vd., 2024).

Akıllı sağlık uygulamaları, hem hastalar hem de sağlık kuruluşlarıyla ilgili verileri oluşturmak, toplamak, saklamak ve yönetmek için kullanılan yazılımlardır. Bu veriler, uzaktan hasta sağlığı izleme, hasta kayıtları oluşturma, tedavi planlama, hastalık tespiti, hasta durumlarını algılama vb. gibi farklı görevleri yerine getirmek için kullanılmaktadır. Akıllı sağlık sistemleri hastalar, doktorlar, veliler, sağlık merkezleri ve sigorta kuruluşlarına fayda sağlamaktadır (Saba Raoof ve Durai, 2022).

Akıllı sağlık cihazlarının üç özelliği bulunmaktadır: Belirli sağlık parametrelerini izlemek, bir internet hizmetine bağlanmak ve esas olarak tıbbi uzman yerine sıradan tüketiciyi hedeflemektir. Geleneksel evde sağlık bakım cihazları, örneğin tansiyon aletleri, kronik hastalığı olan ya da risk altındaki bireyler üzerine odaklanırken, bu yeni sağlık cihazları aktif ve sağlıklı bir yaşam tarzı arayan insanları hedeflemektedir (Meyer ve Boll, 2014).

Akıllı sağlık izleme cihazları, gereksiz hastane ziyaretlerinin önlenmesi, doktorların hastaların durumunu uzaktan gerçek zamanlı olarak kontrol edebilmesi gibi birçok önemli özelliğe sahiptir (Sujith vd., 2022). Akıllı sağlık, prosedürleri otomatikleştirmek ve bürokrasiyi basitleştirmek, maliyetleri kontrol altına almak, süreleri azaltmak, akışları optimize etmek, insanların sağlık durumlarını verilerin şeffaflığı sayesinde farkında olmalarını sağlamak ve hemen danışılabilir hale getirmek, ayrıca 'birey dostu' sağlık yollarını geliştirmek için hizmet etmektedir. Hava, su ve bina güvenliğinin kalitesinin izlenmesi için esas olmaktadır (Aversano vd., 2024).

Hastalar için sağladığı faydaların yanı sıra, uygulanabilir çözümler gerektiren bazı riskli zorluklara da yol açmaktadır. Bazı önemli zorluklar aşağıda listelenmiştir (Saba Raoof ve Durai, 2022):

Güvenlik ve gizlilik: Bulut tabanlı nesnelerin interneti sistemleri her yerde mevcut olduğundan, güvenlik, gizlilik ve bütünlük gibi temel

konuların iyileştirilmesi, farklı teknolojilerin entegrasyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

Hizmet kalitesi (QoS): Bu, entegre ağların genel performans sonucunu ele alırken en önde gelen paradigmadır. Nesnelerin interneti cihazları ve bulut/ veri bankaları arasında muazzam veri depolama ve veri alışverişi söz konusu olduğunda, hizmet kalitesinin sürdürülmesi en önemli zorluktur.

Standart protokol desteği: Ortak bir standart nesnelerin interneti mimarisi olmadığından, ağda iletişim kurmak ve veri aktarmak için çeşitli protokoller kullanılır. Zigbee, CoAp, 6LoWPAN ve Z-wave gibi homojen düğümlerin birincil protokollerinin heterojen kalmasına rağmen, tutarsız çatışmalara yol açmaktadır. Nesnelerin interneti ve bulut birleştirildiğinde büyük bir zorluğa yol açabilir. Bu nedenle, bulut tabanlı nesnelerin interneti mimarilerini mümkün kılan standart protokoller oluşturmaya ihtiyaç vardır.

Gecikme ve bant genişliği sınırlaması: Merkezi olmayan bulut platformları sınırsız kaynak ve çeşitli hizmetler sağlar, ancak gecikme ve gecikme yoluyla hizmet erişimini garanti etmez. Optimum verimlilikte bir sistem için çözüm, veri iletmek için yüksek bant genişliği kullanmaktır. Gecikme ve gecikme sorunlarını ortadan kaldırmak için, nesnelerin interneti ve bulut arasında bir ara katman olarak bir sis bilişim yaklaşımı uygulanabilir.

Nesnelerin interneti tabanlı akıllı sağlık cihazları ve sistemleri hasta izleme, doktorlarla temasları devam ettirme, rehabilitasyon performansını artırma vb. gibi görevlere katkıda bulunmaktadır. Aşağıda sağlık hizmetlerinde faydalanan nesnelerin interneti uygulama örnekleri yer almaktadır (Akgün, 2021):

- Openaps- Cloosed-Loop İnsülin Delivery (Kapalı Döngü İnsülin İletimi)
- Continuous Glucose Monitoring (CGM) System (Sürekli Glikoz İzleme (CGM) Sistemi)
- Activity Trackers During Cancer Treatment (Kanser Tedavisi Sırasında Aktivite İzleyiciler)
- Ingestible Sensors (Sindirilebilir Sensörler)
- Depression-Fighting Apple Watch App (Depresyon Mücadele Apple Watch Uygulaması)
- Coagulation Testing (Pıhtılaşma Testi)

Giyilebilir teknolojiler (wearables) ve hasta izleme sistemleri

Giyilebilir teknolojiler (wearables)

Giyilebilir cihazlar terimi, akıllı telefonlar gibi diğer elektronik cihazlara kablosuz ya da Bluetooth teknolojisi aracılığıyla bağlanabilen geniş bir akıllı cihaz yelpazesini ifade etmektedir. Böylece, farklı verilerin algılanması, saklanması ve değiştirilmesi mümkün hale gelmekte; genellikle bunu insan müdahalesine ihtiyaç duymadan gerçekleştirmektedir. Giderek daha ileri bir seviyeye ulaşan giyilebilir cihazlar, biyometrik sinyallerin tespitinden, cilt üzerine yerleştirilen sensörler ile, çevrimiçi bilgilere hızlı erişim sağlamaya kadar çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Aversano vd., 2024). Giyilebilir Akıllı Sağlık Cihazı (WSHD), kullanıcının sağlığını izleyen ve veri alışverişi için internete bağlı sensörler ya da aktüatörler içeren fiziksel cihazları ifade etmektedir (Timko vd., 2024).

Giyilebilir cihazlara yerleştirilmiş minyatür sensörler, insan hareketlerini ve fizyolojik ve davranışsal verileri izlemek için hareket verilerini algılayabilmektedir. Bu veriler arasında kalp atış hızı, kan basıncı, uyku düzeni, fiziksel aktiviteler ve transkutan oksijen satürasyonu (SpO2) gibi bilgiler yer almaktadır. Bu veri akışları, hasta kayıtları, yaşam tarzı ve çevresel verilerle birlikte, hem sağlık hizmeti sağlayıcıları hem de bireyler için önemli bir kaynak oluşturarak sağlık alanındaki eğilimler hakkında içgörüler sağlamakta ve potansiyel sağlık sorunlarının erken teşhisini mümkün kılmaktadır (Aversano vd., 2024).

Akıllı saatler, akıllı telefonlar ve fitness bantları aracılığıyla mobil teknoloji günlük yaşamın her yerinde mevcut hale gelmektedir. Bu popüler tüketici cihazları, aktivite takibi ve elektronik PRO aracılığıyla hastaları uzaktan izlemek için çekici araçlar olmaktadır (Liao vd., 2019).

Tipik olarak, akıllı bir cihaz, internet erişimi için bir mobil yardımcı uygulama kullanmaktadır. Mobil uygulama, veri göndermek ve veri almak için bir iletişim kanalı oluşturmak amacıyla giyilebilir akıllı sağlık cihazı ile eşleşmekte ve bağlantı kurmaktadır. Bu şekilde, kullanıcının cihazı kontrol etmesi, ayarlarını ayarlaması ve cihazla bir arayüz sağlaması sağlanmaktadır. Akıllı cihazlar tarafından kullanılan iletişim protokolleri, örneğin Bluetooth Düşük Enerji (BLE), genellikle pil kısıtlamalarını aşmak için düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. Ancak, bu cihazların sınırlı hesaplama ve pil kaynakları, kablosuz iletişimlerinin güvenliğini engellemektedir. Bu, mobil yardımcı uygulamanın giyilebilir akıllı sağlık cihazı sisteminin önemli bir bileşeni olarak kullanıcıların hassas verilerine erişim sağladığı düşünüldüğünde özellikle önemli olmaktadır.

Giyilebilir akıllı sağlık cihazı ortamında, bilgi düzeyinde (veri güvenliği, bütünlük, gizlilik ve mahremiyet), erişim düzeyinde (kontrol, kimlik doğrulama ve yetkilendirme) ve işlevsel düzeyde (ağ esnekliği ve nesnelerin interneti kendi kendine örgütlenme) birçok güvenlik zorluğu bulunmaktadır. Saldırıları, nesnelerin interneti cihazlarını ağa giriş kapısı olarak kullanarak ya da nesnelerin interneti işlevlerini sınırlamak, kötüye kullanmak ve genişletmek için farklı katmanlarda gerçekleştirilebilir (Timko vd., 2024).

Giyilebilir cihazlar, akustik, gastrointestinal sensörler, ileus tahmini; UV güneşe maruz kalma; ısıyla ilişkili hastalık ölçümleri; elektrolit takibi, örneğin kistik fibroz veya eğitim yönetimi; giyilebilir bir yüzük ile atriyal fibrilasyonun erken uyarısı; elektrokardiyogramların (EKG) oluşturulması; kardiyopulmoner resüsitasyon kalitesinin ölçülmesi; sürekli noninvaziv kan şekerinin ölçülmesi ve ayrıca astım takibi için akıllı inhalerler ve aktivite izleyicileri dahil olmak üzere çeşitli sağlık alanlarında uygulanmaktadır. Bilek, gövde ve kalçaya takılan fitness takipçileri, ivmeölçerler (vücut hareketi ivmesini ölçer), EKG göğüs kayışları ve yamaları, akıllı saatler ve oksimetre halkaları veya kan basıncı kol bantları gibi belirgin hayati belirti takipçileri de giyilebilir cihazlardır (Huhn vd., 2022).

Huhn ve diğerleri (2022) giyilebilir cihazlarla yürütülen güncel araştırmaları kapsayan çalışmalarında, derleme kapsamındaki çalışmalarda değinilen giyilebilir cihazların güçlü ve zayıf yönleri en fazladan en aza doğru çalışmada yer almaya göre sıralanmıştır:

Güçlü yönler:

- Doğrulama, doğruluk veya sertifikasyon,
- Yenilik veya sağlık hizmeti açığını kapatma,
- Ekolojik değerlendirme veya doğal ortamda giyilmesi,
- Bildirilen sonuçlara göre nesnel veya üstün olması,
- Düşük maliyetler,
- Göze batmayan,
- Sürekli veya uzun vadeli,
- Kolay kullanım,
- Ortak cihazlar,
- Elverişlilik,
- Teknik,
- Sağlamlık,
- Motivasyon veya fiziksel aktivite,
- Veri erişimi,

- Büyük ölçekli potansiyel,
- Kolay veri kullanımı,
- Çeşitli işlevler,
- Hızlı veya zaman açısından verimli olması şeklinde sıralanmıştır.

Zayıf yönler:

- Doğrulama veya yanlışlık olmaması,
- Teknik sorunlar,
- Uyumsuzluk veya katılımcıların beğenmemesi,
- Ham verilere erişim olmaması,
- Yüksek maliyetler,
- Zor kullanım,
- Göze batan şekilde sıralanmıştır.

Hasta izleme sistemleri

Hasta izleme sistemi, bir hastanedeki çeşitli hasta bakım ortamlarında hastanın biyolojik verilerini ölçerek hastanın durumunu izleyen bir cihazdır ve Yoğun Bakım Ünitesi'ndeki (YBÜ) önemli bileşenlerden biridir. Bu cihaz, invaziv kan basıncı, elektroensefalogram (EEG), elektrokardiyogram (EKG), karbondioksit (CO₂) gazı ölçümleri ve transkutan oksijen saturasyonu (SPO₂) dahil olmak üzere hastanın biyolojik verilerini ölçmekte ve tehlikeli koşullar tespit edildiğinde görünür ve duyulabilir alarmlar sağlamaktadır (Kim vd., 2023).

Hasta izleme sistemleri, paramedik, teşhis, cerrahi, ameliyat sonrası ve ev gözetimi durumları gibi çeşitli sağlık hizmet senaryolarında kullanılabilir. Veriler bir sağlık hizmeti kuruluşunun dışında üretilebileceğinden, sistemler yüksek bir esneklik talebini karşılamalıdır. Güvenlik, kullanılabilirlik, gizlilik ve hizmet kalitesi taleplerini karşılamak için belirli önlemler gerektirmektedir. Sistem, hareketlilik, hastane dışı altyapı, kullanımda olan biyomedikal sensör ağları ve kablosuz kanal özelliklerine sahip olmalıdır (Leister vd., 2011).

Kalp hızı, kalp ritmi, arteriyel kan basıncı, solunum hızı ve kan oksijen saturasyonu gibi hasta fizyolojik parametrelerinin sürekli ölçümü, kritik hasta bakımı sırasında yaygın hale gelmiştir. Etkili hasta bakımı için doğru ve hızlı karar alma çok önemli olduğunda, fizyolojik verileri toplamak, görüntülemek ve depolamak için başucu monitörleri kullanılmaktadır. Bu tür veriler giderek artan bir şekilde yoğun bakım ünitelerinde (YBÜ), yenidoğan yoğun bakım ünitelerinde (NICU), ameliyathanelerde (OR), doğum ve doğumhanelerde (D&D), acil servislerde (ER) ve hastanın keskinliğinin arttığı diğer hastane

bakım ünitelerinde hastalara bağlanan invaziv olmayan sensörler tarafından toplanmaktadır (Gardner vd., 2014).

Kritik hastalar, sürekli tıbbi müdahaleye ihtiyaç duydukları için Yoğun Bakım Ünitelerinde (YBÜ) yakından izlenmeli ve hassas bir şekilde tedavi edilmelidir. Hayati belirtiler, fizyolojik parametreler, hızlı ve doğru karar almaya olanak tanıyan uyarılar hakkında gerçek zamanlı veri sağlayan hasta izleme sistemleri, bu yüksek stresli koşullarda YBÜ hemşireleri için paha biçilmez araçlardır. Teknoloji sürekli olarak geliştikçe gelişmiş hasta izleme sistemleri dünya çapında YBÜ’lerde giderek daha yaygın hale gelmektedir. Güvenilir ve etkili hasta izleme sistemlerinin kullanımıyla YBÜ hemşire süreçleri kolaylaştırılabilenekte, klinik sonuçlar iyileştirilebilmekte ve hasta güvenliği artırılabilenmektedir (Rayan vd., 2024).

Sağlık hizmetlerinde uygulamaları olan üç ana giyilebilir sensör modalitesi olduğu görülmektedir. İlk olarak, EKG, elektromiyografi (EMG) ve elektroensefalografi (EEG) sensörleri gibi biyopotansiyel-özgü sensör üniteleri, ikinci olarak, ivmeölçerler ve jiroskoplar gibi hareket sensörü üniteleri ve son olarak, video kameralar, hayati belirti monitörleri (kalp hızı, nabız hızı ve sıcaklık gibi) ve basınç sensörleri gibi çevresel sensör üniteleri olmaktadır (Baig vd., 2017).

Akıllı hastane uygulamaları

“Akıllı hastane”, temel olarak nesnelerin interneti, veri analitiği, kişiselleştirilmiş hizmetlerin kullanılabilirliği ve yapay zeka (AI) olmak üzere temel etkinleştirici teknolojilerin kullanımıyla sağlık sektörlerinde hızlı dijitalleşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkan bir kavramdır (Uslu vd., 2020).

Yapılan çalışmalarda önerilen, geliştirilen ve tasarlanan tıbbi nesnelerin internetinin akıllı hastane uygulamaları aşağıdaki gibidir (Huang vd., 2023):

Akıllı ambulans: Tıbbi nesnelerin interneti teknolojileri kullanılarak akıllı bir hastane ambulans yönetim sistemi geliştirildi. Sisteme, ambulans yaklaştığında trafik ışığını yeşile çeviren ‘yeşil koridor’ adı verildi. Önerilen sistem, hastane ambulans hizmetlerinin verimliliğini etkili bir şekilde iyileştirdi.

Tıbbi nesnelerin interneti platformu: Geliştiricilerin akıllı hastane alanında çeşitli uygulamaları kolayca dağıtmalarını sağlayan bir tıbbi nesnelerin interneti platformu tasarlandı.

İlaç tedarik zinciri yönetimi: İlaçların üretimi, dağıtımı ve satışını etkili bir şekilde yönetebilen, sahte ilaç ve uyuşturucu kötüye kullanımı risklerini azaltan, blok zinciri teknolojisine dayalı bir ilaç tedarik zinciri yönetim sistemi önerildi.

Dezenfeksiyon robotu: Koronavirüs gibi yüksek riskli alanları otomatik olarak dezenfekte edebilen bir dezenfeksiyon robotu geliştirildi.

Akıllı hastanede veri analizi: Akıllı hastane için bir veri madenciliği ve bilgi yönetim sistemi önerildi.

Hızlı tanı: Akıllı hastane ortamında hafif makine öğrenimi modelleri uygulanarak COVID-19 için otomatik bir tanı yaklaşımı önerildi.

Kalabalık kontrolü: Tıbbi nesnelerin interneti teknolojisi kullanılarak bir binadaki insan akışını yönlendiren ve aşırı toplanmaları önleyen bir kalabalık kontrol sistemi tasarlandı.

Elektriksel sağlık kayıtları (EHR) analizi ve sağlık izleme: Sağlık verilerinin güvenliğini sağlamak için bir blok zincirinin uygulanması şeklinde tanımı yapılmaktadır.

Sonuç

İnternetin gelişimi ile birlikte nesnelerin interneti ortaya çıkmıştır. Akıllı şehirler, sağlık uygulamaları, lojistik uygulamaları, inşaat uygulamaları, tarım alanında uygulamalar ve giyilebilir teknolojiler şeklinde çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Nesnelerin interneti kavram olarak ortaya çıktığı 1999 yılından itibaren günümüze kadar önemli bir gelişme gösterdiği ve göstermeye devam edeceği düşünülmektedir. Özellikle sağlık alanında hataları azaltma, sistem yönetimini geliştirme, verimli süreçler, güvenliği artırma, varlıkların geliştirilmiş şekilde kullanımı, iyileştirilmiş tedavi, daha hızlı hastalık teşhisi, senkronize izleme ve raporlama, uygun fiyatlı uçtan uca bağlantı, veri çeşitliliği ve daha iyi analiz, kesin izleme ve uyarı yardımı ve uzaktan tıbbi yardım gibi avantajlara sahip olduğu görülmektedir.

Akıllı sağlık cihazları hastalar, doktorlar, sağlık merkezleri ve sigorta kuruluşları için veriler üretmektedir. Ve taraflara sağlık ile ilgili konularda maliyet, zaman, müdahale, fark etme gibi faydalar sunmaktadır. Akıllı sağlık cihazlarının faydaları yanında güvenlik ve gizlilik, hizmet kalitesi, standart protokol desteği, gecikme ve bant genişliği sınırlaması gibi zorlukları da olduğu görülmüştür.

Giyilebilir cihazlar çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kalp atış hızı, kan basıncı, uyku düzeni, fiziksel aktiviteler ve transkutan oksijen satürasyonu (SpO2) gibi bilgilerin elde edilmesini sağlayarak kullanıcıları aydınlatmaktadır. Giyilebilir cihazların güçlü ve zayıf yönleri olduğu görülmüştür.

Özellikle yoğun bakım ünitelerinde kullanılan hasta izleme sistemleri hastanın biyolojik verilerini ölçmekte ve tehlikeli koşullar oluştuğunda alarm vererek ilgilileri harekete geçirmektedir. Hasta izleme sistemlerinin, paramedik,

teşhis, cerrahi, ameliyat sonrası ve ev gözetimi durumlarında kullanıldığı görülmüştür.

Son olarak akıllı hastane uygulamaları tıbbi nesnelerin interneti platformu, ilaç tedarik zinciri yönetimi, dezenfeksiyon robotu, akıllı hastanede veri analizi, hızlı tanı, kalabalık kontrolü, elektriksel sağlık kayıtları (EHR) analizi ve sağlık izleme akıllı hastane uygulamalarının geliştirildiği ortaya çıkarılmıştır.

Sonuç olarak nesnelerin interneti ve akıllı sağlık cihazları konusunun özellikle hastalar, doktorlar ve sağlık profesyonelleri açısından önem taşıdığı ve önemli olmaya devam edeceği düşünülmektedir. Sağlık alanında bu uygulamalara ihtiyaç duyulmakta ve gelecekte giyilebilir teknolojiler, hasta izleme sistemleri ve akıllı hastane uygulama sayısının daha da artacağı öngörülmektedir. Bu uygulamaların önemli faydalarının yanında zorlukları da bulunmaktadır. Gelecekte nesnelerin interneti ve akıllı sağlık cihazlarında meydana gelen gelişmelerin bu zorlukları ortadan kaldırmaya yönelik olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Akgün, E. (2021). *Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti Teknolojisi ve Kullanım Alanları*. Bayraktar, B. ve Çelikel, S. (Ed.) Sağlık Bilimleri Alanında Güncel Araştırmalar (201-255) içinde. Erişim adresi: <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/01/SAGLIK-BILIMLARI-ALANINDA-GUNCEL-ARASTIRMALAR.pdf#page=88>.
- Aktaş, F., Çeken, C., & Erdemli, Y. E. (2016). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 4(1), 37-54.
- Aouedi, O., Vu, T. H., Sacco, A., Nguyen, D. C., Piamrat, K., Marchetto, G., & Pham, Q. V. (2024). A survey on intelligent Internet of Things: Applications, security, privacy, and future directions. *IEEE communications surveys & tutorials*, 27(2), 1238-1292.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Aversano, L., Iammarino, M., Mancino, I., & Montano, D. (2024). A systematic review on artificial intelligence approaches for smart health devices. *Peerj Computer Science*, 10, e2232.
- Baig, M. M., gholamhosseini, H., Moqem, A. A., Mirza, F., & Lindén, M. (2017). A systematic review of wearable patient monitoring systems—current challenges and opportunities for clinical adoption. *Journal of medical systems*, 41, 1-9.
- Bıçakçı, S. N. (2019). Nesnelerin interneti. *Takvim-i vekayi*, 7(1), 24-36.
- Dalal, P., Aggarwal, G., & Tejasvee, S. (2020). Internet of things (iot) in healthcare system: IA3 (idea, architecture, advantages and applications). In *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC)*.
- Erol, M., & Eraslan, E. (2024). Nesnelerin İnterneti, Uygulama Alanları ve İş Sağlığı ve Güvenliği İle Etkileşimi. *Journal of Turkish Operations Management*, 8(1), 73-89. <https://doi.org/10.56554/jtom.1258262>.
- Fang, L., & Shen, H. (2021). Changes in technology and civilization—a conceptual study of the metaverse. *Metaverse*, 2(2). Doi: 10.54517/met.v2i2.1785.
- Gardner, R.M., Clemmer, T.P., Evans, R.S., Mark, R.G. (2014). *Patient Monitoring Systems*. In: Shortliffe, E., Cimino, J. (Ed.) Biomedical informatics: Computer applications in health care and biomedicine (561-591) içinde. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4474-8_19.
- Gündüz, M. Z., & Daş, R. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 327-335.
- Huang, C., Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2023). Internet of medical things: A systematic review. *Neurocomputing*, 557, 126719.
- Huhn, S., Axt, M., Gunga, H. C., Maggioni, M. A., Munga, S., Obor, D., ... & Barteit, S. (2022). The impact of wearable technologies in health research: scoping review. *JMIR mhealth and uhealth*, 10(1), e34384.
- Keskin, U. Ve Bayram, A. (2023). Dijitalleşme sürecinde metaverse ve eğitim. *Dijital Teknolojiler ve Eğitim Dergisi*, 2(1), 1-15.
- Kim, Y., Son, J., & Jang, W. (2023). Usability Study on Patient Monitoring Systems: An Evaluation of a User Interface Based on User Experience and Preference. *Medical science monitor : international medical journal of experimental and clinical research*, 29, e938570. <https://doi.org/10.12659/MSM.938570>.
- Koçak, D. (2023). Web 1,0'dan Web 3,0'a Metaverse'ün Gelişimi ve Sunduğu Fırsatlar. *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, 7(2), 97-113.
- Leister, W., Schulz, T., Lie, A., Grythe, K., & Balasingham, I. (2011). *Quality of service, adaptation, and security provisioning in wireless patient monitoring systems*. Laskovski, A. (Ed.) Biomedical Engineering, Trends in Electronics, Communications and Software (711-736) içinde. Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?RepId=rep1&type=pdf&doi=51cd8f612843fe8b8c450f16044dbb18b38eac8b>.

- Liao, Y., Thompson, C., Peterson, S., Mandrolu, J., & Beg, M. S. (2019). The Future of Wearable Technologies and Remote Monitoring in Health Care. American Society of Clinical Oncology educational book. American Society of Clinical Oncology. Annual Meeting, 39, 115–121. https://doi.org/10.1200/EDBK_238919.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (iot): A literature review. *Journal of computer and communications*, 3(5), 164-173.
- Meyer, J., & Boll, S. (2014). Digital health devices for everyone!. *IEEE Pervasive Computing*, 13(2), 10-13.
- Rayan, A., Al-Ghabeesh, S. H., Fawaz, M., Behar, A., & Toumi, A. (2024). Experiences, barriers and expectations regarding current patient monitoring systems among ICU nurses in a University Hospital in Lebanon: a qualitative study. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1259409.
- Saba Raoof, S., & Durai, M. S. (2022). A comprehensive review on smart health care: applications, paradigms, and challenges with case studies. *Contrast Media & Molecular Imaging*, (1), 4822235.
- Sujith, A. V. L. N., Sajja, G. S., Mahalakshmi, V., Nuhmani, S., & Prasanalakshmi, B. (2022). Systematic review of smart health monitoring using deep learning and Artificial intelligence. *Neuroscience Informatics*, 2(3), 100028.
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S. (2010). Vision and challenges for realising the Internet of Things. Cluster of European research projects on the internet of things, European Commission, 3(3), 34-36.
- Timko, D., Sharko, M., & Li, Y. (2024). Security analysis of wearable smart health devices and their companion apps. In 2024 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW) (pp. 274-280). IEEE.
- Turkyılmaz, S. (2024). Endüstri 4.0 ve endüstriyel nesnelerin interneti: uygulama, fırsat ve zorluklar-literatür taraması. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 25(2), 153-172.
- Uslu, B. Ç., Okay, E., & Dursun, E. (2020). Analysis of factors affecting iot-based smart hospital design. *Journal of Cloud Computing*, 9(1), 67.

BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİ VE SAĞLIK GÜVENLİĞİ

Özlem GEDİK¹

GİRİŞ

Dijital teknolojilerin hızla gelişmesi, bilgi işleme ve veri güvenliği gibi alanlarda köklü dönüşümleri beraberinde getirmiştir. İnternet, iletişim ve küreselleşmenin ön planda olduğu üçüncü sanayi devriminden, biyoteknoloji, nanoteknoloji, yapay zekâ, robotik, nesnelerin interneti, bulut bilişim ve blockchain gibi teknolojilerin öne çıktığı dördüncü sanayi devrimine geçiş, bu yeni teknolojilerin entegrasyonunu içeren rolüyle belirlemiştir. Veri bütünlüğü ve şifreleme yöntemleri ile beliren merkeziyetsiz yapısıyla öne çıkan blockchain teknolojisi ise yalnızca kripto paralarla sınırlı kalmayıp, finans, lojistik, sağlık ve kamu yönetimi gibi çok sayıda sektörde yenilikçi uygulamalara olanak tanımıştır. Şeffaflık, veri bütünlüğü ve güvenilirlik gibi temel ilkeler üzerine inşa edilen bu teknoloji, özellikle merkezi yapılara olan bağımlılığı azaltarak yeni bir dijital güvenlik ve işlem altyapısı sunmuş ve sunmaya devam etmektedir.

Teknolojik gelişmelerin, sanayi devrimlerinin evrimi bağlamında değerlendirilmesi, günümüzde yaşanan dönüşümün kapsamını ve etkisini daha bütüncül bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında toplumda köklü değişimlere dair güçlü sinyaller gözlemlenmekte olup, bu değişimlerin, kamu ve özel sektör paydaşlarını kapsayan entegre bir tepkiyle karşılanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Blockchain, sağlık hizmetlerinin evriminde ve toplumun en acil sorunlarının çözülmesinde kritik rol üstlenecek bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Dijital verileri fiziksel sistemlerle entegre etme potansiyeline sahip olan blockchain, verilerin bütünlüğünü, şeffaflığını, verimliliğini ve doğruluğunu sağlamak amacıyla tasarlanmış merkeziyetsiz bir veri depolama ağıdır. Yaşlanan nüfus, artan sağlık hizmeti talebi, yükselen tıbbi maliyetler ve kronik hastalıkların artışı, sağlık alanında yeni bir yaklaşımın benimsenmesini ve inovasyona olan

1 Dr. Öğr. Üyesi, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0840-0765>, ozlem.gedik@afsu.edu.tr

gereksinimi işaret etmektedir. İleri teknoloji ve bilgi yoğun bir ortamda sunulan sağlık hizmetleri, hastaneden ev ortamına taşınan hizmet modelinin karmaşık sağlık bilgi alışverişini etkin bir şekilde organize etmeyi gerektirdiğini ortaya koymaktadır (Veuger ve Woldendorp, 2021: 38).

Blockchain teknolojisinin sağlık alanında uygulanabilirliği, veri güvenliği, hasta mahremiyeti, tedarik zinciri şeffaflığı ve sağlık hizmetlerine erişimin iyileştirilmesi gibi birçok kritik konuda yenilikçi çözümler sunmaktadır. Merkeziyetsiz yapısı sayesinde verilerin değiştirilemez ve izlenebilir bir biçimde saklanması sağlayan blockchain, özellikle pandemi döneminde önemi artan dijital sağlık kayıtlarının yönetiminde stratejik bir araç haline gelmiştir. Gelecekte, kamu sağlığı politikalarının geliştirilmesinden klinik araştırmaların şeffaf yürütülmesine kadar geniş bir yelpazede bu teknolojinin entegre edilmesi, sürdürülebilir ve dirençli sağlık sistemlerinin inşasında önemli bir adım olacaktır. Bu bölümde artan dijitalleşme ile önemini koruyan blockchain teknolojisinin sağlığa yansıyan yönleri hakkında okuyucuya bilgiler sunulmuş, bu teknolojinin sağlık güvenliğine yansımaları hakkında kavramsal bir portre çizilmeye çalışılmıştır. Blockchain kavramı, blockchain teknolojisinin gelişimi, blockchainde hasta veri bütünlüğü ve şifreleme yöntemleri, ilaç tedarik zincirinde blockchain uygulamaları ve blockchain teknolojisinin uygulamasına yönelik zorluklara ilişkin değerlendirmeler ele alınmıştır.

BLOCKCHAIN KAVRAMI

Günümüzde büyük bir ilgi gören blockchain, “işlemlerin merkeziyetsiz bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan değiştirilemez bir defter” olarak tanımlanmaktadır. Halka açık bir defter olarak kabul edilen ve gerçekleştirilen tüm işlemlerin bir blok listesinde saklandığı bu zincir, yeni blokların eklenmesiyle sürekli olarak büyümektedir. Bu teknoloji, 2009 yılında başlatılan bir platform ve mimari yapıyı temsil etmektedir. Blockchain, temelde merkeziyetsizlik (işlemlerin geleneksel merkezi sistemlerdeki gibi bir otorite tarafından doğrulanmasını gerektirmeyen), kalıcılık (blockchaine dâhil edilen işlemlerin silinmesi veya geri alınmasının imkânsız olması), anonimlik (kullanıcıların kimliklerinin gizli tutulması) ve denetlenebilirlik (geçerli işlemlerin zincire kaydedilmesiyle kolayca doğrulanabilir ve izlenebilir olması) gibi temel özelliklere sahip bir teknolojidir. Bu özellikler, blockchainin maliyetleri azaltma ve verimliliği artırma gibi önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Finans, güvenlik, kamu hizmetleri, sağlık gibi birçok sektörde uygulanabilir olan bu teknoloji, internet sistemlerinin gelecekteki yapılandırılmasında önemli bir potansiyel taşımaktadır (Zheng vd., 2017: 557-559).

Blockchain, verilerin zincir şeklinde saklanması prensibine dayanan bir teknolojidir ve bu yapıda her bir blok, bir işlem veya işlem grubunu içermekte

olup, her yeni blok önceki bloğa referans vermektedir. Bu bloklar aracılığıyla veriler, merkezi bir otoriteye ya da güvenilir bir aracıya ihtiyaç duyulmadan, şeffaf ve güvenilir bir biçimde saklanabilmektedir. Blockchainin benzersizliği, verilerin zincirleme bir yapı oluşturması ve merkeziyetsiz bir ağda doğrulama işlemlerinin gerçekleştirilmesidir. Blockchaini diğer otomasyon teknolojilerinden ayıran dört temel prensip ise dağıtık ağ yapısı, konsensüs mekanizmaları, kriptografi ve veri depolama yöntemleridir. Bu prensipler, kayıt ve doğrulama süreçlerini daha verimli hale getirirken, veri kopyalarının ortadan kaldırılmasını, maliyetlerin azaltılmasını, işlemlerin kimlik doğrulamasının yapılmasını, verilerin kalıcı olarak saklanmasını, araçlara gerek duyulmadan işlemlerin gerçekleştirilmesini, kendi kendini yürüten akıllı sözleşmelerin devreye girmesini, işlem sürelerinin kısaltılmasını ve daha fazla otomasyonun mümkün kılınmasını sağlayan bir altyapı sunmaktadır (Veuger ve Woldendorp, 2021: 41-42).

Bilginin birbirini refere eden bloklar içerisinde saklanması esaslı dağıtık bir defter teknolojisi olan blockchain, bilgi sahipliğinin aktif şekilde kontrol edilmesi ile tutulan kayıtların birer kopyasının tüm kullanıcılarda dağıtık olarak saklanabilmesini sağlamaktadır. Her istemcinin aynı zamanda bir sunucu olarak çalışması prensibi ile hareket eden blockchain, ademi merkeziyetçi yapıyı destekleyen eşler arası ağlar üzerine konumlandırılmıştır (Aydar ve Çetin, 2020: 533). Blockchain, yeni blokların oluşturulup ağa entegre edilmesi, dağıtık bir defterin tutulması, işlemlerin dikkatlice doğrulanması, ağdaki veri işlemlerinin kontrol edilmesi, yeni eklenen blokların görüntülenmesi ve doğrulama sürecinin ardından işlemlerin onaylanması gibi temel adımlarla tanımlanmaktadır. Blockchain teknolojisi, geniş bir uygulama yelpazesi sunmakta olup, kaynakların denetimi ve değiş tokuşunun gerçekleştirilmesinin yanı sıra güven, anlaşmalar, akıllı sözleşmeler, performans ve güvenlik konularında veri alışverişini teşvik etmektedir. Bu bağlamda, blockchain üç farklı türde sınıflandırılabilir: herkese açık ve görünür olan genel blockchain, ağdaki kurumların işlem ve veri madenciliği yapmasına olanak tanıyan özel blockchain ve ayrıcalıklı sunucularla yönetilen dağıtık konsensüs protokolüne dayalı konsorsiyum blockchain (Saranya ve Murugan, 2021: 2-3).

BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

Kriptografik temelli ilk blockchain, 1991 yılında Stuart Haber ve W. Scott Stornetta tarafından geliştirilmiş olup, bu teknoloji sonrasında 2008 yılında Satoshi Nakamoto'nun ismiyle birlikte anılmaya başlanmıştır (Chouhan vd., 2021: 1). Blockchain teknolojisinin temel teknik özellikleri; merkeziyetsizlik, araçların ortadan kaldırılması, değişmezlik, anonimlik, akıllı sözleşme, izlenebilirlik ve köken, maliyet düşürme, şeffaflık, güvenlik ve gizlilik

olarak dokuz farklı başlıkta ele alınmıştır. Blockchain teknolojisinin pratikte hızla gelişmesi akademik çalışmalarda ilgi görmüş ve blockchainin çalışma prensibinin teknolojik perspektifi, teknik özellikleri ve olası zorlukları incelenmiştir. Blockchain tabanlı hizmet sunumu ve teknoloji uygulaması, araştırmaların çoğunun odak noktası olmuştur. Dağıtılmış bir defter teknolojisi olarak blockchain birçok disipline ve endüstriye uygulanmıştır. Bu durum, teknolojik inovasyonun ve bilgi sistemleri araştırmalarının özelliklerini yansıtmakta ve ekonomi, finans, yönetim, sosyoloji, psikoloji ve sağlık alanlarında bilgi sistemleri perspektifinden yürütülen araştırmaları blockchaini benimseme, özümseme ve iş değerleri üzerine araştırmalara doğru yükseliş eğilimini açıklamaktadır (Zheng ve Lu, 2021: 1834-1835).

Blockchain teknolojisine duyulan yaygın ilginin başlıca sebeplerinden biri de, geçmişte yalnızca güvenilir bir aracı aracılığıyla işleyebilen uygulamaların, artık merkezi bir otoriteye gerek duymadan aynı işlevselliği sürdürebilmesidir. Aracının ortadan kalkması, işlem yapan taraflar arasında daha hızlı uzlaşma sağlamakta ve otomatik iş akışlarının gerçekleşmesine olanak tanımaktadır. Bu süreçlerde, taraflar arasındaki sözleşme maddeleri bilgisayarlı bir işlem protokolü aracılığıyla koda ve yazılıma dönüştürülerek akıllı sözleşmelerle yönetilmekte, böylece zincir üzerinde veriye dayalı etkileşimler gerçekleştirilmekte ve otomatikleştirilmektedir (Christidis, ve Devetsikiotis, 2016: 2296).

Blockchain teknolojisinin gelişim süreci Blockchain 1.0, Blockchain 2.0, Blockchain 3.0 ve Blockchain 4.0 şeklinde dört temel adıma ayrılarak incelenmektedir. Bu bağlamda Blockchain 1.0; bitcoin'in ortaya çıkmasıyla tanınmakta ve temelde kripto para için kullanılan bir teknolojiyi ifade etmektedir. Tüm dijital paraların bu blok zinciri içinde yer aldığı ve işlemleri sağlayan yazılımlarla ilişkilendirildiği belirtilmektedir. Blockchain 2.0; ödemeler ve para transferleri gibi işlemlerin daha gelişmiş bir yönünü temsil etmekte ve akıllı sözleşmeler ile tanınmaktadır. Blockchain 3.0; öncekilere kıyasla daha güvenilir bir yapı sunarak ölçeklenebilir, adapte edilebilir ve sürdürülebilir şekilde çalışabilmeyi vadetmektedir. Kullanım alanı bakımından sağlık ve eğitim gibi çeşitli alanlarda varlığını göstermekte ve geniş bir yelpazeye hitap eden dağıtılmış uygulamaların geliştirilmesine odaklanmaktadır. Blockchain 4.0 ise Endüstri 4.0 uygulamaları için dağıtılmış defter teknolojisine ve gerçek hayattaki blok zincir uygulamalarına odaklanmaktadır (Ceylan ve Işık, 2023: 136).

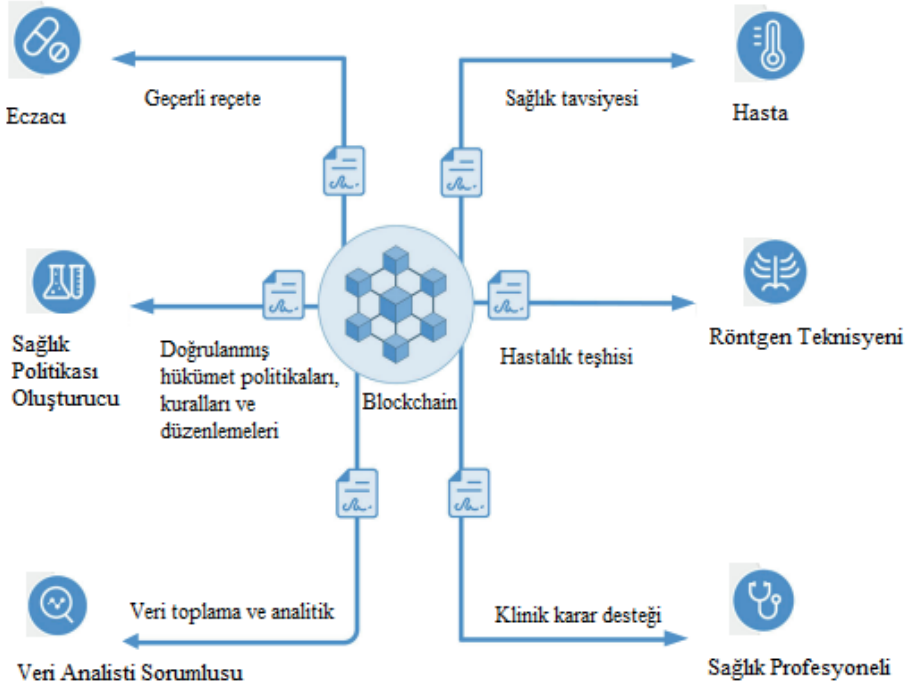
Sağlık bakış açısı ile ise sağlık hizmetlerinin hastaneden hastaya daha yakın bir şekilde sunulması, teknolojik gelişmeler ve dijitalleşmenin tetiklediği bir dönüşümü ifade etmektedir. Bu dönüşüm, hastayı merkezde tutan bir yaklaşıma geçişi karakterize etmekte olup, kurumlar için değişime açıklığı sürekli hale getiren ve paydaşlarla kaliteden ödün vermeden işbirlikleri yapmaya olanak

tanıyan platformlara erişim sağlama yeteneğini de beraberinde getirmektedir. Sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm sağlayacak bir teknoloji olarak blockchain, temelde eşler arası ağ aracılığıyla yalnızca dijital olarak imzalanmış verilerin toplu bir şekilde eklenebildiği bir veri tabanı yapısına sahiptir. Bu yapıda, verilerin değiştirilmesi veya silinmesi, belirli konsensüs protokollerine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir; bu da verilerin değiştirilemezliğini, şeffaflık, güven, gizlilik ve savunma gibi güçlü yönlerin sağlık sektörü verileri için kritik öneme sahip olmasını sağlamaktadır (Garritsen vd., 2021: 3).

Blockchain teknolojisinin sağlık alanındaki gelişim seyri incelendiğinde; bu teknolojinin hasta güvenini artırma, hastaların güvenilir verilere erişimini iyileştirme, şeffaflığı artırma, hasta deneyimini iyileştirme ve kişiselleştirme, verimliliği artırma ve işletme maliyetlerini azaltma, hastaların sağlık kayıtlarına dünyanın her yerinden erişebilmesini sağlama, hastaların en son reçetelerine erişmesini sağlama, gerçek zamanlı olarak doğrulanabilen güvenilir bir denetim izi oluşturma, gizlilik düzenlemelerini otomatik olarak uygulamak için bir platform kurma, verilerin kim tarafından ve kiminle paylaşıldığının ifşa edilmeden izlenmesini sağlama, akıllı sözleşmeler aracılığıyla otomatik ödemeleri kolaylaştırma, ödeme hızını artırma, tıbbi cihazlar ve servis sağlayıcılar arasında sertifikalı ve özel mesajlaşmayı sağlama, tüm işlemleri tek bir platformda bir araya getirme gibi temel avantajları ile sağlık hizmetlerini iyileştirmeye yönelik bir dizi teknolojik faydayı da beraberinde getirdiği ifade edilmektedir (Attaran, 2022: 72).

BLOCKCHAINDE HASTA VERİ BÜTÜNLÜĞÜ VE ŞİFRELEME YÖNTEMLERİ

Veri yönetimi, verilerin belirli bir düzen içinde toplanması, işlenmesi, güvence altına alınması, dağıtılması ve saklanması süreci olarak tanımlanabilir. Sağlık hizmetlerinde blockchain tabanlı uygulamaların kullanım alanlarına bağlı olarak değişen sistem mimarisi, farklı veri yönetimi faaliyetlerini gerektirmektedir. Veri yaşam döngüsü boyunca gerçekleştirilen temel görevler, veri yönetimi işlevlerindeki eksiklikleri gidermeye yönelik bir motivasyona dayanarak yürütülmektedir (Adere, 2022: 8-9). Sağlık sektöründe, küresel çapta blockchain teknolojisine olan ilginin giderek arttığı gözlemlenmektedir. Blockchainin destekleyici teknoloji olarak kullanıldığı alanlar arasında tıbbi kayıt yönetimi, tıbbi talep yönetimi, sağlık profesyonellerinin sertifikalandırılması ve sağlık ile yaşam bilimleri tedarik zinciri yönetimi yer almaktadır. Ayrıca, mevcut iş modellerini blockchain teknolojisi ile uyarlamaya yönelik pek çok girişim, bu alandaki önemli bir eğilim olarak öne çıkmaktadır (Garritsen vd., 2021: 8).



Şekil 1. Blockchain özellikli sağlık sistemleri

Kaynak: Yaqoob vd., 2022: 11476.

Şekil 1’de yer alan blockchain teknolojisinin sağlık bilgi sistemleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, elektronik sağlık kayıtları, kişisel sağlık kayıtları, klinik araştırma destek sistemleri, bilgi altyapıları, resim arşivleme ve iletişim sistemlerinin öne çıktığı, bu sistemlerin çoğunlukla verilerin paylaşımı, depolanması ve erişimine odaklandığı belirtilmektedir (Hasselgren vd., 2020: 7). Blockchain teknolojisinin sağladığı güvenlik, değişmezlik, doğrulama, veri erişimi, bilgi paylaşımı, merkeziyetsiz depolama, hareketlilik ve güvence gibi özellikler, sağlık sektörü için kritik olan güvenlik, birlikte çalışabilirlik, bilgi paylaşımı ve veri erişimi gereksinimlerini karşılamaktadır. Sağlık endüstrisinin, tıbbi bilgilerin korunmasına yönelik yasal, güvenlik ve mahremiyetle ilgili zorunlulukları göz önünde bulundurulduğunda, veri paylaşımının daha yaygın hale geldiği günümüzde, bu süreçlerin daha fazla dikkat ve özenle yönetilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır (McGhin vd., 2019: 63).

Elektronik sağlık kayıtları (Electronic Health Record - EHR), hasta bireylerin tıbbi durumları, kullandıkları ilaçlar, yaş, cinsiyet, kilo gibi kişisel bilgilerini içeren sağlıkla ilgili verilerin bir koleksiyonunu temsil etmektedir. Bu veriler son derece hassas olup, yetkisiz erişimden korunması gerekmektedir.

Blockchain tabanlı şifreleme, sağlık verilerinin güvenli bir şekilde paylaşılması için uygulanabilecek etkili bir çözüm sunmaktadır. Blockchain tabanlı çözümler, veri bütünlüğünü koruyarak, standartlaştırılmış bir denetim mekanizması sağlamakta ve veri erişimi için resmi sözleşmelerle desteklenen kriptografik algoritmalar sunmaktadır. Bu özellikler, hastalara kolaylık sağlarken, tıbbi verilerin araştırmacılar arasında etkili bir şekilde paylaşılmasına olanak tanıyan pratik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Chen vd., 2019: 420-421).

Blockchain teknolojisi, hasta kimliğinin yönetimi, hasta merkezli sağlık hizmetlerinin desteklenmesi, kişiselleştirilmiş ilaçların kaydı ve takibi, hastaların tıbbi kayıtlara ve bilgilere ilişkin bakış açılarını farklı paydaşlarla güvenli bir şekilde paylaşabilmelerini sağlayan politikaların oluşturulması gibi birçok sağlık hizmeti çözümü sunmaktadır. Ayrıca, blockchain mimarisi ile nesnelerin internetinin entegre bir yapısının kurulması, giyilebilir cihazlardan elde edilen verilerin güvenli şekilde saklanması, klinik bilgilere yalnızca hastaların izin verdiği kişilerin erişiminin sağlanması yoluyla hastaların güçlendirilmesi, kimlik doğrulama süreçlerinde güvenliğin artırılması ve tedarik zincirinde paydaşlara güvenli ilaç dağıtımı için gerçek zamanlı bilgilere erişim sağlanması mümkün olmaktadır. Sağlık sektörünün artan veri hacmi karşısında, tıbbi kayıtların saklanarak başkaları tarafından değiştirilmesinin engellenmesi, ağ üzerinden gerçekleştirilen işlemlerin takibinin yapılması, genom verilerinin güvenliğinin sağlanması ve en doğru tedavi yöntemlerinin tahmin edilmesinde yapay zekâ algoritmalarında kullanılmak üzere şifrelenmiş sağlık verilerinin toplanması ve yönetilmesi konusunda blockchain teknolojisinin önemi giderek artmaktadır (Farouk vd., 2020: 232-234).

Blockchain teknolojisinin sağlık alanındaki en önemli katkılarından biri, sağlık hizmeti kullanıcılarının tıbbi kayıtları üzerindeki sahiplik ve kontrol haklarını artırarak bu iki özelliği teşvik etme potansiyelidir. Sağlık hizmetlerinde verilerin mahremiyet ve gizlilik içeren doğası, dijital çağda bilgilerin blockchain gibi güvenilir yöntem ve sistemlerde kaydedilmesini gerektiren bir durumu ortaya koymaktadır. Tıbbi kayıtların güvenli bir şekilde saklanması, her sağlık sistemi için kritik bir öneme sahiptir; bu bağlamda blockchain teknolojisi, şeffaflık ve güvenlik açısından ideal bir platform olarak öne çıkmaktadır. Blockchain üzerinde hastaların verileri kriptografi ile güvence altına alınarak, gizliliğe duyarlı bilgilerin güvenli bir şekilde saklanması sağlanmakta, aynı zamanda hasta onayı ile bu bilgilerin sağlık kurumlarıyla paylaşılması mümkün hale gelmektedir (Veuger ve Woldendorp, 2021: 37).

Sağlık sektöründe 2025 yılına kadar veri ihlali, operasyonel maliyetler, personel giderleri, dolandırıcılık ve sahte ürünlerle ilgili maliyetlerde önemli bir azalma sağlanarak yılda 100-150 milyar ABD dolarına kadar tasarruf edilmesi, blockchain teknolojisinin benimsenmesini teşvik eden önemli vaatlerden biri

olarak öne çıkmaktadır (Arsene, 2022). Araştırmacılar ve sağlık profesyonelleri, blockchain teknolojisinden faydalanarak veri paylaşımını sağlamanın, sağlık alanında klinik araştırma kayıtlarının yönetimi için güvenli, mahremiyeti koruyan ve merkeziyetsiz bir çerçeve sunduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, blockchain teknolojisi, tıbbi kaynak tasarrufu sağlamak ve sağlık hizmetlerini daha verimli hale getirmek adına kontrol edilebilir bir mekanizma oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Guo vd., 2018: 11680). Blockchain teknolojisinin sağlık hizmetlerinde etkin bir şekilde veri paylaşımında kullanılabilmesi için bir dizi model de araştırılmaktadır. Bu modellerden biri, sağlık hizmeti sağlayıcılarını —hastaneler, klinikler ve sağlık hizmeti şirketlerini— birbirine bağlayan esnek bir veri paylaşım altyapısı sunan “MedChain”dir. MedChain’de, blockchain hizmeti, sağlık verilerinin değişmez bilgilerini yönetir ve sağlık hizmeti kayıt dosyası oluşturulduğunda, veri oluşturma olayı kaydedilir; aynı şekilde, hasta verilerine erişim izni verildiğinde oturum açma olayı gerçekleşir. Hasta, erişim izni veren kişilerin erişimini iptal edebilir veya her bir erişim için veri erişim aralığını başlangıç ve bitiş zamanlarıyla belirleyebilir. Bu yapı, hasta odaklı bir sağlık hizmeti veri paylaşım çerçevesi sunmaktadır (Shen vd., 2019: 8).

İLAÇ TEDARİK ZİNCİRİNDE BLOCKCHAIN UYGULAMALARI

Malzeme ve mal taşıyan herhangi bir endüstride gerekli olan tedarik zinciri yönetimi, söz konusu ilaç tedarik zinciri olduğunda üretim için tedarik edilen malzemeleri, üretim sürecinin kendisini ve üretilen malların dağıtımını izlemek için özellikle gerekli ve önemlidir. Çünkü standart altı veya sahte ilaçların teslim edilmesi, iyileştirme işlevi olan ilaçların hastalar üzerinde tam tersi olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Dolayısıyla ilaçların orijinalliğini sağlamak, hasta sağlığı ve sonuçları için hayati öneme sahiptir. ABD’de İlaç Tedarik Zinciri Güvenlik Yasası, sahte ilaca karşı bir kontrol mekanizması olup bu yasaya uygun tedarik zinciri yönetimi teknolojileri için temel gereksinimler; ürün tanımlama, ürün izleme, ürün doğrulama, standart dışı ilaçların tespiti ve yanıtlanması, standart dışı bir ilaç tanımlandığında bildirim ve lisanslar, doğrulama ve ürün bilgileri dâhil olmak üzere ilgili bilgileri saklama yeteneği olarak belirtilmiştir. Blockchain teknolojisi, bu yasanın her bir temel gereksinimiyle uygulanabilir ve uyumlu niteliktedir. Benzer şekilde tıbbi cihazların ve malzemelerin emniyeti ve güvenliği de blockchain uygulamasıyla iyileştirilebilmektedir. Kalp pilleri ve ilaç pompaları gibi cihazların kontrolünde blockchain teknolojisi, her tıbbi cihaz için benzersiz cihaz tanımlayıcıları tutarak ve akıllı sözleşmeleri kullanarak aygıt yazılımı güncellemelerini takip ederek ve yayınlarak bu alanda uygulanabilmektedir (Kamel Boulos, Wilson ve Clauson, 2018: 6).

Kişisel sağlık verilerinin güvenli bir şekilde saklanması idari süreçlerin iyileştirilmesi ve kaynak, zaman, işgücü maliyetlerinde azalmaya; ilaç geliştirme ve halk sağlığı sorunlarında hızlı çözümlerden ilaç ve tüm tıbbi ürünlerin tedarik zinciri yönetiminde ürün hayat eğrisi boyunca takibinin yapılmasına kadar geniş bir yelpazede blockchain teknolojisinin sağlık hizmetlerinde avantajlı kullanım alanları bulunmaktadır (Türkdoğan Görgün ve Kurşun, 2021: 915). İlaç tedarik zincirinde blockchain teknolojisini kullanmanın nedenlerinden birinin güvenlik olduğu ifade edilmektedir. Blockchainin günümüz siber güvenliğini sağlamak için en iyi seçeneklerden biri olduğu ve herhangi bir kişinin verileri ve işlemleri değiştirmesini önlemek için tasarlandığı belirtilmektedir. Bu sebeple de güvensiz bir dünyadaki güveni aktarmak ve ilaç tedarik zincirinde bir ürünün tedarik zinciri boyunca yolculuğunu kaydetmek için en iyi seçenek olduğu vurgulanmaktadır. Tedarik zincirinde ürün her sahip değiştirdiğinde, blockchaine yeni bir işlem gönderilerek ürünün geçmişini depolamak, gerçek kökenini ve kilometre taşlarını ortaya çıkarmayı kolaylaştırmaktadır. Blockchain teknolojisi, tedarik zincirindeki işlemlere daha fazla şeffaflık getirmektedir (Haq ve Esuka, 2018: 9).

Blockchain teknolojisi, sağlık sektöründe ilaç izlenebilirliğini geliştirerek değişmez ve şeffaf ilaç denemelerinin gerçekleştirilmesine olanak tanımakta, sahte ilaç riskini ortadan kaldırmakta ve ilaç tedarik zinciri ile veri kaynağı güvenliğini sağlamaktadır. Ayrıca, hasta kayıt yönetimi kapsamında tıbbi kayıtlara eksiksiz erişim imkânı sunmakta, aynı kayıtların tekrarını önleyerek yeni doktorların hastaların önceki geçmişine dair bilgi edinmelerine yardımcı olmaktadır. Klinik araştırmalar ve hassas tıp alanlarında veri güvenliğini artırmakta, veri analitiği doğruluğunu yükseltmekte ve genomik dizilerin yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Hasta verilerine anında erişim sağlanması, tutarlı izin yönetimi sunulması ve güvenli izin süreçlerinin uygulanması sayesinde, hasta veri toplama süresi azaltılmaktadır. Telesaglık sistemlerinde araçlara olan ihtiyacın ortadan kaldırılması, yasal zemin sağlanmasına yardımcı olmakta ve hastaların özel bilgilerinin sızma tehditlerine karşı ağlar arasında güvenli, değişmez ve anonim işlemlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Sağlık sigortası kapsamında veri birlikte çalışabilirlik sorunlarını aşarak idari süreçleri iyileştirmekte, sahte sigorta taleplerini tespit etmekte ve sağlık sigortası süreçlerini basitleştirmektedir. Ayrıca, tıbbi faturalandırma sistemlerinde ödeme süreçlerini kolay ve güvenli hale getirerek kaynak, zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamakta, sigorta taleplerinin daha hızlı ödenmesine olanak tanımaktadır (Yaqoob vd., 2022: 11480).

Hastalara ait tıbbi kayıtların siber saldırılara karşı korunma gerekliliği, blockchain teknolojisinin sağladığı mükemmel sistemle karşılık bulmaktadır. Bu teknoloji, sağlık hizmetlerinde reçete edilen ilaçların takibi, tedarik zinciri

izleme, tehlike raporlarının kontrolü ve komuta erişim desteği gibi bilgi paylaşımı gereksinimlerini karşılamada etkin bir araç olarak kullanılabilir. Ayrıca, klinik dosyalama sistemleri için de bir alternatif sunmaktadır (Chouhan vd., 2021: 5). Blockchain teknolojisi, klinik deneylere güvenilirlik kazandırarak kayıtların dijital parmak izi biçiminde akıllı sözleşmeler olarak saklanmasını mümkün kılmaktadır. Bu teknoloji, ilaç tedarik zincirinin izlenmesini sürdürme, ilaç sorumluluklarının takibini yapma, belirli prosedürlerin etkilerini analiz etme ve doğrulama süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, hastanelerde mali tabloların tutulması, veri dönüştürme süreçlerinin ve maliyetlerinin en aza indirilmesi, araştırmacıların rutin klinik deneyler için gerekli veri setlerine odaklanarak analizler yapmalarına, tahminlerde bulunmalarına ve verimlilik oranlarını artırmalarına olanak tanımaktadır. Bu süreçler, her seviyede ağ altyapısı güvenliği ile kimlik doğrulaması ve elektronik sağlık bilgilerine erişim için tek tip yetkilendirme modelleri sunarak daha güvenli ve verimli bir sağlık hizmeti sağlayacaktır. Sonuç olarak, blockchain teknolojisinin sağlık hizmetlerini iyileştirme yöntemlerini geliştirme potansiyeli, önemli ölçüde bu teknolojilerin ekosistemde benimsenmesine bağlı olarak gerçekleşecektir (Haleem vd., 2021: 134-137).

Bilgi teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte ürün geri çağırma, ürün hizmetinin bir aşaması olarak çeşitli paydaşların ilgisini çeken bir konu olmuştur. İlaç tedarik zincirinde özellikle ilaç geri çağırma konusunda var olan düşük etkinlik, şeffaflık, verilerin kolayca değiştirilebilmesi gibi bazı uzun vadeli sorunlar, çözüm için araştırmacıları blockchain tabanlı bir ilaç geri çağırma hizmet sistemi sunumu tasarımıyla yönelik adım atmaya yöneltmiştir. Bu bağlamda paydaşların ilaç geri çağırmada açık yönetime katılmaya teşvik edildiği bir çerçeve tasarlanmış ve bu çerçeve; çoklu nesne verilerini almak için akıllı bir ağ geçidi, tarafın ilaç geri çağırmayı toplaması, işlemesi ve düzenlemesi için akıllı sözleşmeye dayalı bir bileşen, bir blok zinciri ağı ve çeşitli uygulamalardan oluşturulmuştur. Bu geri çağırma yönteminin işlerlik kazanması her ne kadar zaman alacak bir konu olsa da yöntem ile ilaç geri çağırmada zamanın kısalması, şeffaflığın artması ve verilerin bütünlüğünün korunması amaçlanmıştır (Wu ve Lin, 2019: 595).

Blockchain tabanlı bir ilaç tedarik zinciri yönetim sistemi tasarımının yapıldığı bir çalışmada, yalnızca güvenilir taraflara ağa katılma izni veren güvenli bir ağ kurulumunun ardından uçta, tüm gerekli işlemleri depolamak için izinli ve bir kez girilen bilgilerin asla değiştirilemediği bir blockchain bulunduğu ve katılımcıların blockchain'e işlem yapmak için kullanacağı mobil uygulama yer almıştır. İşleyiş prensibi bakımından üretimi yapılan her yeni ürün, blok zinciri ağında dijital bir varlık olarak kabul edilmekte ve ürünün benzersiz kimliği olan karma değeri, ağda herhangi bir zamanda onu izlemek

için kullanılmaktadır. Ürüne ait herhangi bir ek bilgi, üreticinin seçimine bağlı olarak zincir dışında veya zincir üzerinde saklanabilmekte, zincir dışı veriler ise bir tür tanımlayıcı kullanılarak zincir üzerindeki verilerle birleştirilmektedir. Üretici tarafından blok zincirine kaydedildikten sonra, mülkiyeti bir mobil uygulama kullanılarak kolayca başka bir katılımcıya aktarılabilir. Yani üretici toptancıya, toptancı dağıtıcıya, dağıtıcı eczaneye ve eczane ise hastaya ilaçları transfer etmek için aynı işlemi tekrarlayarak aynı anda bir transfer işlemi blok zincirine kaydedilecektir. Blockchain tabanlı ilaç tedarik zincirine entegre edilen mobil uygulama ile hekimin ihtiyacı olduğu herhangi bir ilacı mobil uygulamayı kullanarak ilaç kimliğini sorgulama ve ilacın üreticiden eczaneye kadar olan tüm yolculuğunu doğrulama imkanının olacağı ve ürün orijinalse, mobil uygulamanın tüm geçmişini göstereceği ve ilaç sahteyse hiçbir kayıt görüntülenmeyeceği ifade edilmektedir. Hekim ilaçların orijinalliklerinden emin olduktan sonra bunları satın alabilecek ve diğer paydaşlar da ilaçların yolculuğunu takip edebileceklerdir (Haq ve Esuka, 2018: 10).

BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİNİN UYGULAMASINA YÖNELİK ZORLUKLAR

Blockchain teknolojisinin sağlık alanındaki hastalara yönelik faydaları arasında kişiselleştirilmiş sağlık, sağlık durumunun izlenmesi, sağlık verilerinin takibi, güvenlik ve yetkilendirme yer alırken; örgütsel faydaları ise ilaç tedarik zinciri yönetimi, klinik yollar, sağlık sigortası yönetimi ve sağlık bilgi alışverişi gibi alanlarda görülmektedir. Ancak blockchain teknolojisinin kullanımına ilişkin çeşitli tehditler de bulunmaktadır. Teknik tehditler arasında ölçeklenebilirlik, yetkilendirme ve güvenlik, yüksek enerji tüketimi ve işlem hızındaki yavaşlık yer alırken; sosyal tehditler, sosyal kabul ve yönetmeliklerle ilgili sorunlar olarak ifade edilmektedir. Örgütsel tehditler ise birlikte çalışabilirlik sorunları, kurulum ve işlem maliyetleri ile teknik beceri eksikliklerini kapsamaktadır (Abu-Elezz vd., 2020: 4-5).

Bununla birlikte verilerin güvenliği ve gizliliğinin başta gelen zorluklardan birisi olduğu ifade edilmektedir. Blockchain teknolojisine dayalı uygulamalarda bir işlemi gerçekleştirmek için tek bir güvenilir üçüncü taraf yerine tüm topluluğun blockchain mimarisindeki kayıtları doğrulamasına izin verdiğinden veriler, potansiyel gizlilik ve güvenlik risklerine maruz kalmaktadır. Yetkilendirme için üçüncü bir tarafın olmaması, hastanın acil bir durumda kendi adına bilgilerine ve/veya tıbbi geçmişine erişebilecek bir veya daha fazla temsilci seçmesini gerektirmektedir. Bu temsilci ayrıca bir grup insanın aynı hastanın kayıtlarına erişmesine izin verebilir ve bu da büyük bir veri gizliliği ve güvenlik tehdidi oluşturabilir. Verilere yüksek güvenli mekanizmalar dâhil etmek ise sırayla verilerin bir bloktan diğerine

aktarılmasında engellere yol açabilmekte ve alıcıların sınırlı veya eksik verilere erişimine neden olabilmektedir. Bununla birlikte blockchain teknolojisinin tıp ve sağlık hizmetlerinde yaygın pratik uygulamasında standardizasyon zorluklarıyla karşılaşılacağı ifade edilmektedir. Uluslararası standardizasyon otoritelerinden doğrulanmış ve sertifikalı standart gerekeceği ve tanımlanmış standartların blockchain uygulamalarında paylaşılan bilgilerin boyutunu, veri niteliğini ve biçimini değerlendirmek için yardımcı olacağı vurgulanmaktadır. Bu standartların ise sadece paylaşılan verileri incelemekle kalmayacağı aynı zamanda güvenlik önlemleri olarak da hizmet edeceği belirtilmektedir (Siyal vd., 2019: 10-11).

Bir diğer zorluk ise blockchainin sağlık verilerini depolamak için ne kadar uygun olduğudur. Başlangıçta nispeten küçük boyutlu ve doğrusal olan işlem verilerini kaydetmek için tasarlanan blockchain, görüntüleme ve tedavi planları gibi çıktılar nedeniyle büyük ve ilişkisel sağlık verileri üzerinde arama yapabilmeyi mümkün hale getiren bir yapı sunabilmelidir. Sağlık sektörünün günlük olarak işlenmesi gereken çok miktarda veri barındırması blockchainin depolamaya özgü zorluklarını belirginleştirmiştir. Hasta kayıtlarından, sağlık geçmişine ve test raporlarına, MRI taramalarına, X-ışınlarına ve diğer tıbbi görüntülere kadar, blockchaindeki tüm verilerin zincirdeki tüm düğümler tarafından kullanılabilir olması, büyük bir depolama alanı gerektirmektedir. Hızlı bir oranda büyüme eğiliminde olan veri tabanlarının boyutunun artması nedeniyle kayıt arama ve erişim hızının düşmesi söz konusu olmakta ve bu durum hızın önemli olduğu işlem türleri için yeterli olamamaktadır. Bu nedenle, bir blockchain çözümünün ölçeklenebilir ve dayanıklı olması gerekmektedir (Esposito vd., 2018: 36).

SONUÇ

Yeni bir teknoloji olan blockchain; depolama, hesaplama, güvenlik, etkileşim ve işlem gibi merkezi olmayan teknolojilerde ve uygulamalarda önemli rol oynamaktadır. Blockchainin yetenek, birlikte çalışabilirlik, ölçeklenebilirlik ve çeviklik avantajları ile kurumlar, blockchaini iş değerlerine dönüştürmek için yaklaşımlar aramaktadır. Blockchain teknolojisi sağlık sektöründe hem bireysel hasta deneyimini dönüştürme hem de kurumsal süreçleri daha şeffaf, güvenli ve verimli hale getirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi, teknolojik gelişmelerin yanı sıra sosyal, ekonomik ve hukuki yapıların da bu dönüşüme uyum sağlayacak şekilde yeniden kurgulanmasını gerektirmektedir. Blockchain uygulaması ve blockchain merkezli yönetim sorunları için blockchainin teknolojik özelliklerini, potansiyel avantajlarını, uygulama risklerini ve yönetişimini, benimsenmesini ve iş değerini anlamak gerekmektedir. Ayrıca blockchainin

nesnelerin interneti, bulut bilişim ve 6G gibi diğer ortaya çıkan teknolojilerle entegrasyonu ve iş birliği, blockchaini iş faaliyetlerinin sadece yaratılmasında değil yanı sıra devrim yaratma potansiyeline sahip bir teknoloji olma niteliğini de vurgulamaktadır.

Blockchain teknolojisi, ilaç tedarik zincirinde şeffaflık, izlenebilirlik ve sahteciliğin önlenmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Geleneksel tedarik zincirlerinin aksine blockchain sayesinde ilaçların üretim, dağıtım ve teslimat süreçleri bloklar hâlinde kayıt altına alınarak değiştirilemez biçimde saklanmakta; böylece her bir ilacın kaynağı ve geçirdiği aşamalar doğrulanabilir hale gelmektedir. Bu yapı, sahte ilaçlarla mücadelede etkin bir çözüm sunarken aynı zamanda blockchain tabanlı sistemler ilaç güvenliğini artırmakta ve sağlık hizmet sağlayıcıları arasında güvene dayalı iş birliğini de teşvik etmektedir. Hasta veri bütünlüğü açısından ise blockchain, sağlık verilerinin güvenli biçimde saklanması ve yetkisiz erişimlere karşı korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Blockchain, hastaların kendi verileri üzerindeki kontrolünü artırmakta ve gerektiğinde bu verilerin farklı sağlık kurumları arasında güvenli biçimde paylaşılmasını mümkün kılmaktadır. Bu durum, özellikle kronik hastalık yönetimi, acil müdahaleler ve kişiselleştirilmiş tedavi süreçlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

Blockchain teknolojisini uygulamaya yönelik tehditlerin etkin bir şekilde yönetilebilmesi, hem teknolojik altyapının güçlendirilmesini hem de yasal ve kurumsal düzenlemelerin uyumlu hale getirilmesini gerekli kılmaktadır. Sağlık sektöründe blockchain uygulamalarının sürdürülebilir bir biçimde entegre edilebilmesi için çok paydaşlı bir yaklaşım benimsenmeli; devlet, özel sektör, akademi ve sivil toplum arasında iş birliği sağlanmalıdır. Ayrıca, kullanıcıların teknolojiye yönelik bilgi düzeylerinin artırılması ve dijital okuryazarlığın yaygınlaştırılması, sosyal kabulün geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu çerçevede, blockchain teknolojisinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda yönetim modellerinde ve hizmet sunum biçimlerinde kapsamlı bir yeniden yapılanmayı da beraberinde getirmektedir. Bu kapsamlı yeniden yapılanma sürecinde, etik ilkelerin ve hasta haklarının korunması da blockchain tabanlı sağlık sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında öncelikli unsurlar arasında yer almalıdır. Veri sahipliği ve erişim denetimi gibi konular, hem bireylerin mahremiyetinin korunması hem de sistemlere duyulan güvenin artırılması açısından titizlikle ele alınmalıdır. Ayrıca, blockchain teknolojisinin sunduğu şeffaflık ve hesap verebilirlik özelliklerinin, sağlık kurumlarının iç denetim mekanizmalarına entegre edilmesi, klinik ve idari süreçlerdeki suistimallerin önüne geçilmesini sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Abu-Elezz, I., Hassan, A., Nazeemudeen, A., Househ, M., & Abd-Alrazaq, A. (2020). The benefits and threats of blockchain technology in healthcare: A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 142, 1-9.
- Adere, E.M. (2022). Blockchain in healthcare and IoT: A systematic literature review. *Array*, 14, 1-20.
- Arsene, C. (2022). The Global “Blockchain in Healthcare” Report: The 2022 Ultimate Guide For Every Executive, Healthcare Weekly. (<https://healthcareweekly.com/blockchain-in-healthcare-guide/>, Erişim Tarihi: 08.05.2025).
- Attaran, M. (2022). Blockchain technology in healthcare: Challenges and opportunities. *International Journal of Healthcare Management*, 15(1), 70-83.
- Aydar, M., & Çetin, S.C. (2020). Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Bilgi Sistemlerinde Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 533-538.
- Ceylan, O., & Isık, A. H. (2023). Blokzincir Teknolojisi ve Uygulama Alanları. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(1), 129-154.
- Chen, L., Lee, W.K., Chang, C.C., Choo, K.K.R., & Zhang, N. (2019). Blockchain based searchable encryption for electronic health record sharing. *Future generation computer systems*, 95, 420-429.
- Chouhan, A.S., Qaseem, M.S., Basheer, Q.M.A., & Mehdi, M.A. (2021). Blockchain based EHR system architecture and the need of blockchain in healthcare. *Materials Today: Proceedings*, 1-7.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access*, 4, 2292-2303.
- Esposito, C., De Santis, A., Tortora, G., Chang, H., & Choo, K. K. R. (2018). Blockchain: A panacea for healthcare cloud-based data security and privacy?. *IEEE Cloud Computing*, 5(1), 31-37.
- Farouk, A., Alahmadi, A., Ghose, S., & Mashatan, A. (2020). Blockchain platform for industrial healthcare: Vision and future opportunities. *Computer Communications*, 154, 223-235.
- Garritsen, G., Veuger, J., & de Weerd-Nederhof, P.C. (2021). Systematic literature review on implementing blockchain solutions in healthcare and the organisational consequences. Edt: Veuger, J., Blockchain and Health: Transformation of Care and Impact of Digitalization. Nova, 1-34.
- Guo, R., Shi, H., Zhao, Q., & Zheng, D. (2018). Secure attribute-based signature scheme with multiple authorities for blockchain in electronic health records systems. *IEEE Access*, 6, 11676-11686.
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R.P., Suman, R., & Rab, S. (2021). Blockchain technology applications in healthcare: An overview. *International Journal of Intelligent Networks*, 2, 130-139.
- Hasselgren, A., Kralevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S.A., & Faxvaag, A. (2020). Blockchain in healthcare and health sciences-A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 134, 1-10.
- Haq, I., & Esuka, O.M. (2018). Blockchain Technology in Pharmaceutical Industry to Prevent Counterfeit Drugs. *International Journal of Computer Applications*, 180(25), 8-12.
- Kamel Boulos, M. N., Wilson, J. T., & Clauson, K. A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17, 1-10.
- McGhin, T., Choo, K.K.R., Liu, C.Z., & He, D. (2019). Blockchain in healthcare applications: Research challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, 135, 62-75.
- Saranya, R., & Murugan, A. (2021). A systematic review of enabling blockchain in healthcare system: analysis, current status, challenges and future direction. *Materials Today: Proceedings*, 1-6.
- Shen, B., Guo, J., & Yang, Y. (2019). MedChain: Efficient healthcare data sharing via blockchain. *Applied Sciences*, 9(6), 1-23.
- Siyal, A. A., Junejo, A. Z., Zawish, M., Ahmed, K., Khalil, A., & Soursou, G. (2019). Applications of blockchain technology in medicine and healthcare: Challenges and future perspectives. *Cryptography*, 3(1), 1-16.

- Türkdoğan Görgün, C., & Kurşun, A. (2021). Sağlık ekosisteminde blokzinciri teknolojisinin rolü ve önemi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 24(4), 903-920.
- Veuger, J., & Woldendorp, H. (2021). Blockchain in health care. Edt: Veuger, J., Blockchain and Health: Transformation of Care and Impact of Digitalization. Nova, 35-129.
- Wu, X., & Lin, Y. (2019). Blockchain recall management in pharmaceutical industry. *Procedia CIRP*, 83, 590-595.
- Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., & Al-Hammadi, Y. (2022). Blockchain for healthcare data management: opportunities, challenges, and future recommendations. *Neural Computing and Applications*, 34(14), 11475-11490.
- Zheng, X. R., & Lu, Y. (2021). Blockchain technology – recent research and future trend. *Enterprise Information Systems*, 16(12), 1834-1856.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In 2017 IEEE international congress on big data (BigData congress), 557-564.

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) VE SANAL GERÇEKLİK (VR) İLE SAĞLIK HİZMETLERİ

Ferhat Onur Ağaoğlu¹

Giriş

Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojilerinin ortaya çıkışı; kullanıldıkları farklı sektörlerde önemli gelişmeleri beraberinde sürükleyerek, mevcut durumun bir üst seviyeye geçmesinde ciddi bir itici güç olarak görünmektedir. VR, kullanıcının VR cihazı aracılığıyla izleyebileceği ve etkileşimde bulunabileceği, ancak görüntülenen tüm görüntülerin “sahte”, yani sanal olduğu bir yolculuk olarak tanımlanırken; AR; bir cep telefonu, tablet veya AR gözlükleriyle görülen gerçek ortam aracılığıyla bir bilgisayar tarafından oluşturulan sanal bir nesne olarak bilinir (Hsieh ve Lee,2018). AR ve VR’ın yapay zeka (AI) ile entegrasyonu ise profesyonel hayatın standartlarını kökten değiştirecek bir düzeni beraberinde getirmekte; gelecek perspektifinde ana aktörlerin dijital araçlar olacağını göstermektedir. Tablo 1 de farklı alanlarda kullanılan gündem teknolojileri örneklendirilmiştir..

Tablo 1. Farklı alanlarda kullanılan sürükleyici teknolojiler

Faktör	Eğitim	Sağlık hizmeti	Eğlence	Perakende
Kullanılan teknoloji	VR, AR, MR	VR, AR, MR	VR, AR	VR, AR
Birincil uygulama	Etkileşimli öğrenme, sanal sınıflar, dil eğitimi	Tıbbi eğitim, cerrahi simülasyonu, hasta terapisi	Video oyunları, sanal turlar, sürükleyici filmler	Sanal denemeler, etkileşimli ürün gösterimleri, mağaza içi gezinme
Temel faydalar	Katılımı artırır, güvenli öğrenme ortamları sağlar, uzaktan öğrenmeye olanak tanır	Cerrahi hassasiyeti artırır, yatan hasta rehabilitasyonuna yardımcı olur, risksiz eğitim ortamları sunar	Kullanıcı etkileşimini artırır,yeni deneyimler sunar, hikaye anlatma yeteneklerini genişletir	Müşteri deneyimini geliştirir, ayrıntılı ürün görselleştirmesi sağlar, satın alma kararlarını iyileştirir
Zorluklar	Teknolojik erişilebilirlik, içerik geliştirme, geleneksel müfredatlarla entegrasyon	Uygulamanın yüksek maliyetleri, gizlilik endişeleri, uzmanlaşmış eğitim ihtiyacı	Teknolojinin benimsenmesi, VR’da hareket hastalığı, içerik denetimi	Mevcut perakende sistemleriyle entegrasyon, kullanıcı gizliliği, gerçekçi deneyimler yaratma
Gelecek trendleri	Okullarda yaygın olarak benimsenmesi, özel eğitimde kullanılması, küresel sınıf deneyimleri	Tele tıp, gelişmiş hasta bakımı, gelişmiş cerrahi eğitim araçları	Filmlerde ve dizilerde artırılmış gerçeklik kullanımının artması, daha etkileşimli oyun deneyimleri	Kişiselleştirilmiş alışveriş deneyimleri, fiziksel mağazalarda AR, çevrimiçi alışverişle entegrasyon

Kısaltmalar: AR; artırılmış gerçeklik, MR; karma gerçeklik, VR; sanal gerçeklik.

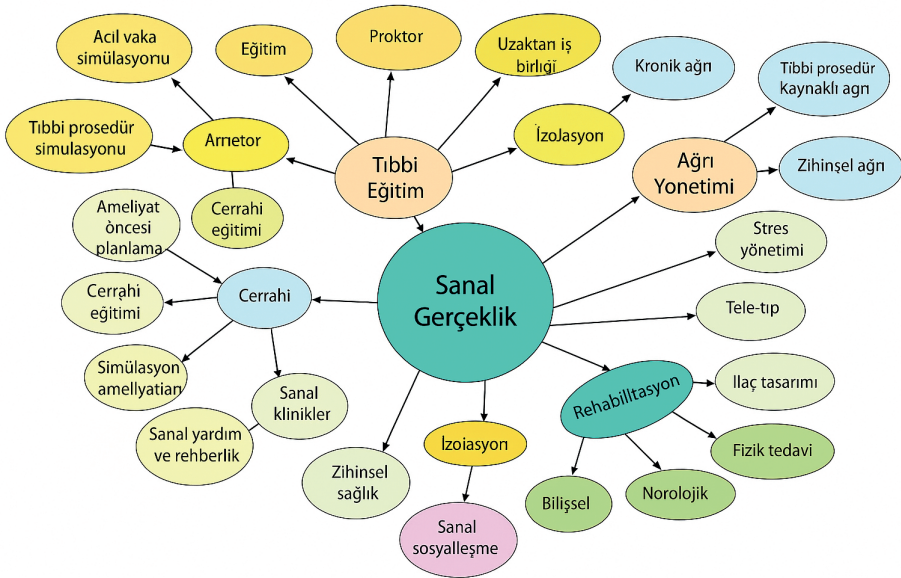
Kaynak: Saudagar vd.,2024

Covid-19 etkisi ile insanların yaşam tarzlarında oluşan önemli değişiklikler beraberinde sağlık hizmetlerinin sunumunda etkilemiştir. Sağlık hizmetlerinin hastalar bakımı için yeniden düzenlemesi, yüz yüze konsültasyonları azaltması, acil müdahale gerektiren vakaları sınıflandırması, acil olmayan randevuları erteleme ve yeni enfeksiyon kontrol önlemleri uygulaması gerekli hale geldi (Gunasekeran vd.,2021). Bu etmenler beraberinde sağlık sistemlerinin verimliliğini artırma, sağlık tesislerinde geçirilen süreyi azaltma ve fiziksel temas noktalarını azaltarak bakımı merkezden uzaklaştırma amaçlarıyla dijital dönüşüme olan ihtiyacı ve talebi artırmıştır (Li vd.,2020).

AR,VR ve AI etkisiyle; farklı, pratik, yenilikçi uygulamaların, çözümlerin planlamalara dahil olmasıyla birlikte sağlık profesyonellerinin iş süreçleri iyileşmekte ve hasta deneyimi pozitif yönde dönüşmektedir. Hasta beklentilerinin artması, tıp eğitimcilerini öğrencilerin sınıf içi öğrenim ile gerçek dünya uygulamaları arasında bağlantı kurmalarına yardımcı olacak yeni yollar aramaya itmektedir. Bu noktada geleneksel öğretim yaklaşımları yetersiz kalmakta, dijital uygulamaların desteği özellikle bu noktada önemli hale gelmektedir. AR ve VR simülasyonları çeşitli uygulamalara entegre edilecek şekilde sağlayacak şekilde uyarlanabilir ve kişiselleştirilebilir arayüzler, uyarlanabilir etkileşimler ve bireysel ihtiyaçlara hitap eden duyuşsal deneyimler sunabilir (Saudagar vd.,2024). Öğrenciler simüle edilmiş tıbbi ortamlarda sanal hastalarla etkileşimleri yoluyla empati geliştirebilir ve kişilerarası becerilerini geliştirebilirler (Ruthenbeck ve Reynolds,2015). AR ve VR, tıp öğrencilerini simüle edilmiş durumlara yerleştirerek aktif öğrenme için yeni seçenekler sunar; burada gerçek zamanlı kararlar alabilir ve bu kararların sonuçlarını görebilir, böylece materyale ilişkin anlayışlarını güçlendirebilirler (Chirico vd.,2021). Bunun yanında; yeni nesil tıp uzmanlarını kendi uzmanlık alanlarında uzman olmaları ve aynı zamanda hastalara bakmak için gerekli yumuşak becerilere ve hümanist bir bakış açısına sahip olmaları için eğitime potansiyeline sahiptir (Bohr ve Memarzadeh,2020).

1.AR ve VR Teknolojilerinin Sağlık Hizmetlerinde Örnek Uygulama Alanları

AR ve VR teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde benimsenmesi önemli bir aşama kaydetmekte ve tıp eğitimi, cerrahi planlama, hasta bakımı dahil olmak üzere bir çok alanlarda dönüştürücü avantajlar vadetmektedir. Bu sürükleyici teknolojiler, hekimlerin öğrenme süreçlerini bir sonraki seviyeye getirerek ve potansiyel olarak hasta sonuçlarını iyileştirerek sağlık hizmetleri alanını yeniden şekillendirebilmektedir.



Şekil 1. Sağlık sektöründe sürükleyici teknolojilerin uygulamaları

Kaynak:Khan vd., 2024

Çalışmalar, VR'nin tıp eğitimi sırasında bilişsel yükü etkili bir şekilde azaltabileceğini ve daha verimli bir öğrenme sürecini kolaylaştırabileceğini göstermektedir (Iqbal vd., 2024). AR'nin entegrasyonu; sağlık uzmanlarının karmaşık anatomik yapıları ve cerrahi prosedürleri üç boyutlu bir bağlamda görselleştirmelerini sağlar ve bu da cerrahi ve radyoloji gibi alanlara fayda sağlar (Eckert vd., 2019). Dahası AR, dijital bilgileri fiziksel dünyaya yerleştirerek sağlık çalışanlarının eğitimini geliştirir, kavrama ve beceri edinimini geliştirir (Gerup vd., 2020). Cerrahi eğitimde, VR simülasyonları cerrahların prosedürleri kontrollü bir ortamda uygulamalarına yardımcı olabilir ve böylece gerçek ameliyatlarda karşılaşılan öğrenme eğrisini hafifletebilir (Barteit vd., 2021).

AR ve VR'nin pratik uygulamaları eğitimin ötesine geçerek cerrahi uygulamalara ve hastabakımına kadar uzanır. Cerrahlar, ameliyat öncesi planlama ve ameliyat sırasında rehberlik için AR'den yararlanarak hasta anatomisinin gerçek zamanlı olarak daha iyi görselleştirilmesini sağlar (Lauinger vd., 2024). Bu teknoloji, özellikle beyin cerrahisi ve girişimsel radyoloji gibi hassasiyetin çok önemli olduğu karmaşık ameliyatlarda faydalıdır (Proniewska vd., 2020). Ayrıca, AR ve VR'nin sağlık hizmeti sağlayıcıları ve hastalar arasındaki iletişimi geliştirerek tıbbi prosedürlerin ve durumların daha net bir şekilde açıklanmasını sağladığı görülmektedir (Gençoğlu, 2024). Buna ek olarak; VR

terapileri anksiyete ve TSSB gibi durumlar için psikolojik müdahaleler olarak kullanılmakta ve bu da bu teknolojilerin ruh sağlığı tedavisinde hayati bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Saudagar vd., 2024).

Günümüzde bir çok ülkenin hükümetleri metaverse’de hizmet sunmak üzere VR danışmanlık ve terapi dernekleri kurmaya başlamıştır (Ifdil vd.,2023). VR simülasyonları, sağlık hizmeti sağlayıcılarının fiziksel varlığına olan ihtiyacı ortadan kaldırarak, uzak yerlerden uzaktan katılım sağlamalarına olanak tanıdığından, ruh sağlığı profesyoneli eksikliği giderilebilir (Freeman vd.,2017). R tabanlı sürekli performans testleri, hastalara yeni başa çıkma davranışları öğretmek ve nihayetinde semptomlarını yönetmelerine ve günlük yaşamlarındaki üretkenliklerini artırmalarına yardımcı olmak için kullanılmıştır (Goharinejad vd.,2022). Sosyal kaygısı olan bireyler, VR sosyal beceri eğitim seanslarından önemli ölçüde faydalanmışlardır, çünkü bu seans onların iletişim becerileri edinmelerine ve bu sayede öz güvenlerinin artmasına olanak sağlamaktadır (Kim ve Kim,2020). Ayrıca, alzheimer hastalarında yön bulma becerilerini test etmek ve bilişsel becerileri geliştirmek için kullanılmıştır (Park vd.,2019).

2.AR ve VR Teknolojilerinin Sağlık Hizmetlerine Katkıları

AR ve VR’nin en önemli odaklarından biri tıp eğitimi ve öğretiminde yatmaktadır. Bu teknolojiler, geleneksel eğitim yöntemlerinin genellikle ulaşamadığı sürükleyici öğrenme deneyimlerini kullanmaktadır. Örneğin, VR simülasyonları, tıp öğrencilerinin ve profesyonellerinin risksiz bir ortamda prosedürel becerileri tekrar tekrar uygulamalarına olanak tanıyarak yetkinlik ve özgüvenlerinin artmasına yol açmaktadır (Iqbal vd.,2024). Burdan da çıkarılabileceği üzere AR ve VR; gerçek dünya senaryolarını simüle ederek, karmaşık klinik prosedürlerin ve anatomik yapıların anlaşılmasını geliştirir. Sağlık uzmanları AR katmanlarıyla etkileşime girdiklerinde, eğitim sırasında gelişmiş anatomik görselleştirme elde ederler ve bu da karmaşık tıbbi bilgilerin akılda kalmasına yardımcı olur (Masood vd., 2024). Eğitime yönelik bu yenilikçi yaklaşım, öğrenmeyi hızlandırmakla kalmaz, aynı zamanda öğrencileri yüksek riskli ortamlara hazırlar ve nihayetinde onları gerçek tıbbi prosedürler sırasında daha becerikli hale getirir (Akhtar vd., 2024).

AR ve VR’nin cerrahi uygulamalarda uygulanması, sağlık hizmetleri üzerindeki dönüştürücü etkilerinin bir başka katkısıdır. Cerrahlar, prosedürler sırasında gelişmiş görselleştirme için giderek daha fazla AR’dan yararlanarak gerçek zamanlı rehberlik ve gelişmiş hassasiyet sağlar (Mondal, 2024). Hayati anatomik bilgileri cerrahi alana yerleştiren teknolojiler, hataları en aza indirmeye ve sonuçları iyileştirmeye yardımcı olur (Hasan vd., 2023). Buna ek olarak, VR teknolojileri, PTSD tedavisi gibi terapötik ortamlarda da kullanım

alanı bulmuştur. VR aracılığıyla uygulanan maruz bırakma terapisi, hastalara korkularıyla yüzleşmeleri için kontrollü ortamlar sunarak geleneksel maruz bırakma yöntemlerine benzer bir etkinlik göstermektedir (Miloff vd., 2016; Oprış vd., 2011). Bu gelişmeler, AR ve VR'nin yalnızca cerrahi performansı artırmakla kalmayıp aynı zamanda çeşitli durumlarda terapötik müdahalelerin kalitesini de artırdığını göstermektedir.

Hasta bakımı sürecinde ise AR ve VR teknolojileri; hastaların tedavi protokolleri hakkındaki anlayışlarını ve uyumlarını önemli ölçüde iyileştirmeye destek olan uygulamalar içerir. Hasta eğitiminde AR kullanımı, karmaşık tıbbi prosedürlerin veya durumların daha net bir şekilde iletilmesini sağlayarak hastaların anatomilerini ve önerilen müdahalelerin etkisini görselleştirmelerine olanak tanır (Adapa vd., 2020). Örnek olarak; AR uygulamaları anatomiye 3B olarak simüle ederken, teşhislerini ve tedavi seçeneklerini anlamalarını kolaylaştırır (Sinou vd., 2023). Bu uygulamalar çerçevesinde; bilgilendirilmiş onamı ve tıbbi tavsiyelere uyumu teşvik etmede büyük önem taşımakla birlikte, sağlık durumlarını anlayan hastalar genellikle reçeteli tedavileri takip etme eğilimine sokar (Petrakis, 2025).

AR ve VR teknolojileri, özellikle anksiyete bozuklukları ve fobilerin tedavisinde olmak üzere ruh sağlığı uygulamalarında umut verici sonuçlar göstermiştir. Sanal gerçeklik maruziyet terapisi (VRET), çeşitli anksiyete durumlarının tedavisinde etkili bir şekilde kullanılmış ve bireysel hasta ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen kontrollü ve ayarlanabilir bir ortam sağlamıştır (Jachak vd., 2021). VR'nin sürükleyici yapısı, hastaları korku ve kaygılarından uzaklaştırarak, yalnızca geleneksel yöntemlerle elde edilmesi genellikle daha zor olan terapötik bir fayda yaratabilir (Gour vd., 2024). Ayrıca, felç sonrası bireyler için bilişsel iyileşme gibi terapötik rehabilitasyon programlarında VR kullanımı, teknolojinin çok yönlülüğünü ve yaygın klinik uygulama potansiyelini göstermektedir (Choi ve Kim, 2021).

3.Sağlığın Geleceğine Bakış: AR ve VR'ın Potansiyeli

AR ve VR teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde uygulanması sektöre ve insan sağlığına önemli seviyede katkıda bulunmasına rağmen, süreç içinde bir çok zorlukla karşı karşıyadır. Yüksek maliyetler, özel eğitim gerekliliği ve platformlar arasında standartlaştırma eksikliği gibi sorunlar, yaygın benimsenmeyi engelleyebilir (Magi vd., 2023). Evrensel olarak kabul görmüş kılavuzların eksikliği, uygulamada tutarsızlıklara yol açarak hasta güvenliğini ve tedavi etkinliğini etkileyebilir (Alismail vd., 2019). Bu teknolojiler sağlık sistemlerine daha fazla entegre hale geldikçe, hasta gizliliği ve veri güvenliğiyle ilgili etik hususlar giderek daha önemli hale gelmektedir (Gour vd., 2024). Veri gizliliği ve teknolojiye aşırı bağımlılık potansiyeli konusundaki etik kaygılar,

hasta refahının tehlikeye atılmamasını sağlamak için dikkatli bir düzenleyici denetim gerektirmektedir (Mondal, 2024). AR ve VR teknolojilerin edinilmesi ve uygulanmasıyla ilişkili yüksek maliyetler; özellikle yetersiz kaynaklara sahip kurumlar tarafından erişilebilirliğini sınırlamaktadır (Yadav, 2024).

Öte yandan AR /VR kullanan hastaların ve sağlık çalışanlarının memnuniyet oranı umut vericidir. Çalışmalar; bu teknolojilerin klinik ortamlarda güçlü bir şekilde algılanan kullanışlılığını ve çağdaş sağlık hizmetleri talepleriyle uyumlu yenilikçi operasyonel prosedürleri benimsemeye yönelik olumlu tutumları etkilediğini göstermektedir (Alhumaidi vd., 2023; Iqbal vd., 2024). Bu gelişmeler, standart tıbbi uygulamalara entegrasyonunu optimize etmek için tasarlanmış daha fazla yatırım ve geliştirmeyi teşvik etmektedir (Sun vd., 2023).

VR, AR ve MR uygulamalarının birleşimiyle birbirine bağlı bir çevrimiçi evren olan Metaverse'nin ortaya çıkışı, sağlık sektörünün yeni bir dönemini temsil ediyor. "Metaverse" terimi kullanıcıların dijital avatarlar olarak etkileşime girebileceği; bağlantılı, sürükleyici ve gerçek zamanlı deneyimler paralel bir VR evreni olarak tasarlandı (Zhang vd.,2022). Metaverse; klinik yönetimi, eğitim ve uzaktan tıbbi danışmanlık hizmetleri gibi sağlık hizmetlerini bir araya getirmek için kullanılabilir (Khan vd.,2024). Büyük teknoloji şirketleri şu anda farklı sektörlerde Metaverse oluşturmak için AR, VR ve MR'nin bir kombinasyonundan yararlanıyor (Tan vd., 2022). Bu bilgiler paralelinde VR gözlüklerle erişilebilen sanal alem "Metaverse" nin sağlık sektöründe gelişimine yönelik stratejiler Tablo 2 de belirtilmiştir.

Tablo 2. Sağlık Sektöründe Metaverse Hizmeti Geliştirmeye Yönelik Stratejiler

Strateji	Görevler
Sağlık eğitimi ve öğretiminde strateji	- Yüz yüze olmayan döneme uygun sağlık eğitimi, öğretimi ve yeterlilik testleri için Metaverse uygulamalarının tanıtımının gözden geçirilmesi - Mevcut simülasyon hastaları ve maket (manken) kullanım yöntemine meta-insan entegre edilerek klinik performans değerlendirmesi (CPX) ve Yapılandırılmış Klinik Sınav (OSCE) gibi detaylı uygulama yöntemlerinin araştırılması - Metaverse uygulamaları kullanılarak sağlık eğitimi ve öğretiminin geliştirilmesi - Sağlık sektörü için metaverse alanında yüksek lisans ve doktora düzeyinde nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesi
Metaverse teknolojisinin sağlıkla ilgili çeşitli sorunların çözümünde tam kullanımı stratejisi	- Farklı sektörlerdeki teknolojik avantajları dönüştürerek sağlık sektöründe yenilik sağlanması - Dijital sağlık uçurumunu azaltmak için bölgede Metaverse kullanımına yönelik yatırım altyapısının oluşturulması - Sağlık sektöründe özel yatırım katılımını teşvik edecek metaverse fonu gibi genişleme temellerinin oluşturulması - Sağlık sektöründe metaverse hizmetlerinden kaynaklanabilecek etik sorunlara karşı hazırlık yapılması
Sağlık iş ortamını geliştirme stratejisi	- Sağlık cihazlarına ilişkin çekirdek teknoloji ve nihai ürün geliştirme desteği - Sağlık sektöründe klinik ve klinik dışı büyük veri kullanılarak kapsamlı metaverse veri barajı inşa edilmesi - Sağlıkta kapsayıcı deneyim uygulamaları için gelişmiş ağ altyapısıyla ultra yüksek hızlı ve minimum gecikmeli metaverse hizmetlerinin genişletilmesi - Metaverse ortamına uygun yeni sağlık iş modellerinin geliştirilmesi
Sağlık sektöründe küresel rekabet gücünü sağlama stratejisi	- 2030 yılına kadar yoğun destekle sağlık alanında unicorn işletmelerin yetiştirilmesi - Sağlık sektöründe uygulanabilecek metaverse teknolojisi görselleştirme ve beş duyu içerikli teknolojiler gibi geleceğin yenilikçi teknolojilerinin güvence altına alınması - Metaverse şirketlerinin küreselleşmesinin teşvik edilmesi - Hastaneler ve müşteriler, doktorlar ve hastalar ile ülkeler arasında sınırların ortadan kalkmasına hazırlık olarak metaverse tanıtım yasası ve temel mevzuat iyileştirmelerinin yapılması

Kaynak: Lee,2022

Metaverse teknolojileri, sağlık profesyonellerinin hastalıkların etkili bir şekilde planlanması ve teşhis edilmesine yardımcı olabilir (Petrigna ve Musumeci,2022). Bunun yanında; dijital ikiz çözümlerinin kullanımı, tüketicileri tedavileri konusunda iyi bilgilendirecek ve etkileşimde tutacak, hastanın hayati bulguları, BT taramaları, sağlık kayıtları ve genetik test sonuçları, hastanın anatomisi ve fizyolojisinin dijital bir simülasyonunu

geliştirmek ve sağlık durumlarını izlemek ve bu konuda içgörüler üretmek için entegre edilecektir (Hassani vd.,2022).

Sonuç olarak gelecek perspektifinde AR ve VR teknolojilerinin; eğitim, klinik ve hasta yönetimi zorluklarına yenilikçi çözümler sunarak sağlık hizmetlerini kökten yeniden şekillendirme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Tıbbi eğitimi geliştirme, hasta katılımını artırma ve daha zengin tedavi deneyimleri sunma potansiyelleri, geleneksel sağlık paradigmalarını yeniden tanımlama potansiyeline sahiptir. Ancak, bu dönüştürücü vaadin gerçekleşmesi, maliyetler, erişilebilirlik ve düzenleyici standartlarla ilgili önemli zorlukların ele alınmasına bağlıdır. Sağlık hizmetlerinin geleceğini şekillendirmede AR ve VR'nin tüm potansiyelinden yararlanmak için disiplinler arası iş birliğinin ve teknolojik inovasyonun devam etmesi hayati önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Adapa, K., Jain, S., Kanwar, R., Zaman, T., Taneja, T., Walker, J., & Mazur, L. (2020). Augmented reality in patient education and health literacy: a scoping review protocol. *BMJ open*, 10(9), e038416.
- Akhtar, M. H., Anderson, M., & Cochrane, T. (2024). Implementing augmented reality and virtual reality for authentic healthcare education. *Pacific Journal of Technology Enhanced Learning*, 6(1), 2-3.
- Alhumaidi, W. A., Alqurashi, N. N., Alnumani, R. D., Althagafi, E. S., Bajunaid, F. R., Alnefaie, G. O., ... & Bajunaid, F. (2023). Perceptions of doctors in Saudi Arabia toward virtual reality and augmented reality applications in healthcare. *Cureus*, 15(7).
- Alismail, A., Thomas, J., Daher, N. S., Cohen, A., Almutairi, W., Terry, M. H., ... & Tan, L. D. (2019). Augmented reality glasses improve adherence to evidence-based intubation practice. *Advances in medical education and practice*, 279-286.
- Barteit, S., Lanfermann, L., Bärnighausen, T., Neuhann, F., & Beiersmann, C. (2021). Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: systematic review. *JMIR serious games*, 9(3), e29080.
- Bohr, A., & Memarzadeh, K. (2020). The rise of artificial intelligence in healthcare applications. In *Artificial Intelligence in healthcare* (pp. 25-60). Academic Press.
- Chirico, A., Lucidi, F., De Laurentiis, M., Milanese, C., Napoli, A., & Giordano, A. (2016). Virtual reality in health system: beyond entertainment. A mini-review on the efficacy of VR during cancer treatment. *Journal of cellular physiology*, 231(2), 275-287.
- Choi, M., & Kim, J. (2021). A Study of Mobility Management Support for AR/VR-based Cognition Recovery and Rehabilitation. *Journal of Digital Art Engineering and Multimedia*, 8(4), 429.
- Eckert, M., Volmerg, J. S., & Friedrich, C. M. (2019). Augmented reality in medicine: systematic and bibliographic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e10967.
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological medicine*, 47(14), 2393-2400.
- Gençoğlu, Ş. (2024). Enhancing dermatology: the current landscape and future prospects of augmented and virtual reality technologies. *Journal of Health Sciences and Medicine*, 7(1), 132-136.
- Gerup, J., Soerensen, C. B., & Dieckmann, P. (2020). Augmented reality and mixed reality for healthcare education beyond surgery: an integrative review. *International journal of medical education*, 11, 1.
- Goharnejad, S., Goharnejad, S., Hajesmaeel-Gohari, S., & Bahaadinbeigy, K. (2022). The usefulness of virtual, augmented, and mixed reality technologies in the diagnosis and treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children: an overview of relevant studies. *BMC psychiatry*, 22(1), 4.
- Gour, S., Qureshi, A. R. K., Tukra, G. S., Bairagi, V., Dehariya, H., & Shandilya, A. (2024). Impact of machine learning techniques in medical treatment assistance in perspective to ar & vr technologies. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 491, p. 03006). EDP Sciences.
- Gunasekeran, D. V., Tham, Y. C., Ting, D. S., Tan, G. S., & Wong, T. Y. (2021). Digital health during COVID-19: lessons from operationalising new models of care in ophthalmology. *The Lancet Digital Health*, 3(2), e124-e134.
- Hasan, S., Miller, A., Higginbotham, D., Saleh, E. S., McCarty, S., & Miller, A. K. (2023). Virtual and augmented reality in spine surgery: an era of immersive healthcare. *Cureus*, 15(8).
- Hassani, H., Huang, X., & MacFeely, S. (2022). Impactful digital twin in the healthcare revolution. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(3), 83.
- Hsieh, M. C., & Lee, J. J. (2018). Preliminary study of VR and AR applications in medical and healthcare education. *J Nurs Health Stud*, 3(1), 1.

- Ifdil, I., Situmorang, D. D. B., Firman, F., Zola, N., Rangka, I. B., & Fadli, R. P. (2023). Virtual reality in Metaverse for future mental health-helping profession: an alternative solution to the mental health challenges of the COVID-19 pandemic. *Journal of Public Health*, 45(1), e142-e143.
- Iqbal, A. I., Aamir, A., Hammad, A., Hafsa, H., Basit, A., Oduoye, M. O., ... & Jabeen, S. (2024). Immersive technologies in healthcare: An in-depth exploration of virtual reality and augmented reality in enhancing patient care, medical education, and training paradigms. *Journal of Primary Care & Community Health*, 15, 21501319241293311.
- Jachak, S., Phansopkar, P., & Chitale, N. (2021). Effect of Oculus Guided Physical Therapy in Adjunct to Conventional Therapy in Knee Osteoarthritis Patients—A Research Protocol. *J. Pharm. Res. Int*, 33, 320-325.
- Khan, H. U., Ali, Y., Khan, F., & Al-Antari, M. A. (2024). A comprehensive study on unraveling the advances of immersive technologies (VR/AR/MR/XR) in the healthcare sector during the COVID-19: Challenges and solutions. *Heliyon*, 10(15).
- Kim, S., & Kim, E. (2020). The use of virtual reality in psychiatry: a review. *Journal of the Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 31(1), 26.
- Lauinger, A. R., McNicholas, M., Bramlet, M., Bederson, M., Sutton, B. P., Cao, C. G., ... & Cohen, M. S. (2024). Applications of mixed reality with medical imaging for training and clinical practice. *Journal of Medical Imaging*, 11(6), 062608-062608.
- Lee, C. W. (2022). Application of metaverse service to healthcare industry: a strategic perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13038.
- Li, J. P. O., Shantha, J., Wong, T. Y., Wong, E. Y., Mehta, J., Lin, H., ... & Ting, D. S. (2020). Preparedness among ophthalmologists: during and beyond the COVID-19 pandemic. *Ophthalmology*, 127(5), 569-572.
- Magi, C. E., Bambi, S., Iovino, P., El Aoufy, K., Amato, C., Balestri, C., ... & Longobucco, Y. (2023). Virtual reality and augmented reality training in disaster medicine courses for students in nursing: A scoping review of adoptable tools. *Behavioral Sciences*, 13(7), 616.
- Masood, Z., Qabool, H., Fida, M., & Sukhia, R. H. (2024). Exploring the knowledge and awareness on applications of virtual reality and augmented reality technology among dental healthcare professionals-a crosssectional survey. *JPMMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 74(4 (Supple-4)), S10-S16.
- Miloff, A., Lindner, P., Hamilton, W., Reuterskiöld, L., Andersson, G., & Carlbring, P. (2016). Single-session gamified virtual reality exposure therapy for spider phobia vs. traditional exposure therapy: study protocol for a randomized controlled non-inferiority trial. *Trials*, 17(1), 60.
- Mondal, R. (2024). Role of augmented reality and virtual reality from the Indian healthcare education perspective—A systematic review. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 13(8), 2841-2850.
- Oprîş, D., Pinteă, S., García-Palacios, A., Botella, C., Szamosközi, Ş., & David, D. (2012). Virtual reality exposure therapy in anxiety disorders: a quantitative meta-analysis. *Depression and anxiety*, 29(2), 85-93.
- Park, M. J., Kim, D. J., Lee, U., Na, E. J., & Jeon, H. J. (2019). A literature overview of virtual reality (VR) in treatment of psychiatric disorders: recent advances and limitations. *Frontiers in psychiatry*, 10, 505.
- Petrakis, A., Koumakis, L., Kazantzaki, E., & Kondylakis, H. (2025). Transforming Healthcare: A Comprehensive Review of Augmented and Virtual Reality Interventions. *Sensors*, 25(12), 3748.
- Petrigna, L., & Musumeci, G. (2022). The metaverse: A new challenge for the healthcare system: A scoping review. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 7(3), 63.
- Proniewska, K., Pregowska, A., Walecki, P., Dołęga-Dołęgowski, D., Ferrari, R., & Dudek, D. (2020). Overview of the holographic-guided cardiovascular interventions and training—a perspective. *Bio-Algorithms and Med-Systems*, 16(3), 20200043.

- Ruthenbeck, G. S., & Reynolds, K. J. (2015). Virtual reality for medical training: the state-of-the-art. *Journal of Simulation*, 9(1), 16-26.
- Saudagar, A. K. J., Kumar, A., & Khan, M. B. (2024). Mediverse beyond boundaries: a comprehensive analysis of ar and vr integration in medical education for diverse abilities. *Journal of Disability Research*, 3(1), 20230066.
- Sinou, N., Sinou, N., & Filippou, D. (2023). Virtual reality and augmented reality in anatomy education during COVID-19 pandemic. *Cureus*, 15(2).
- Sun, P., Zhao, Y., Men, J., Ma, Z. R., Jiang, H. Z., Liu, C. Y., & Feng, W. (2023). Application of virtual and augmented reality technology in hip surgery: systematic review. *Journal of medical Internet research*, 25, e37599.
- Tan, T. F., Li, Y., Lim, J. S., Gunasekeran, D. V., Teo, Z. L., Ng, W. Y., & Ting, D. S. (2022). Metaverse and virtual health care in ophthalmology: Opportunities and challenges. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 11(3), 237-246.
- Yadav, S. (2024). Transformative frontiers: a comprehensive review of emerging technologies in modern healthcare. *Cureus*, 16(3).
- Zhang, T., Gao, L., He, C., Zhang, M., Krishnamachari, B., & Avestimehr, A. S. (2022). Federated learning for the internet of things: Applications, challenges, and opportunities. *IEEE Internet of Things Magazine*, 5(1), 24-29.

SAĞLIKTA ROBOTİK UYGULAMALAR VE OTOMASYON

Sinan TARSUSLU¹

Giriş

21. yüzyılın ikinci çeyreği sağlık sistemlerinde dijitalleşmenin yoğunlaştığı, yapay zekâ (AI), büyük veri, nesnelerin interneti (IoT) ve robotik teknolojilerin klinik karar alma, hizmet sunumu ve hasta bakımında köklü dönüşümler yarattığı bir dönem olarak öne çıkmaktadır. Bu dönüşüm yalnızca teknolojik bir ilerlemeyi değil aynı zamanda sağlık hizmetlerinin doğasını, organizasyonunu ve etik çerçevesini de derinden etkilemektedir. Özellikle robotik uygulamalar ve otomasyon sistemleri; sağlık sektörünün operasyonel verimliliğini artırma, insan hatasını azaltma, kaynak kullanımını optimize etme ve hasta güvenliğini sağlama potansiyeliyle dikkat çekmektedir (Cresswell, Cunningham-Burley & Sheikh, 2018; Kauttonen, Rousi & Alamäki, 2025).

Sağlıkta robotik sistemlerin kullanımı, başlangıçta yüksek hassasiyet gerektiren cerrahi işlemlerle sınırlıyken günümüzde rehabilitasyon, yaşlı bakımı, laboratuvar hizmetleri, ilaç taşıma, dezenfeksiyon, hasta yönlendirme, tanı ve görüntüleme gibi pek çok alana yayılmış durumdadır. Bununla birlikte, robotik teknolojilerin sadece fiziksel bir yardım aracı değil aynı zamanda yapay zekâ algoritmaları ile entegre biçimde öğrenen, yorum yapabilen ve karar alabilen sistemlere evrildiği gözlenmektedir. Mevcut durum klinisyenlerin ve sağlık yöneticilerinin teknolojiyi nasıl değerlendirdiğini, güven ilişkilerini ve kullanıcı kabulünü de önemli ölçüde etkilemektedir (Song vd., 2025; Kauttonen vd., 2025).

Bu bölümde sağlık hizmetlerinde robotik uygulamaların gelişimi, çeşitliliği ve etkileri çok yönlü bir şekilde ele alınacaktır. Öncelikle robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık sistemlerine entegrasyon süreci tarihsel ve teknolojik bağlamda incelenecek; ardından cerrahi robotlar, hasta destek sistemleri,

1 Dr.Öğr.Üyesi, Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, sinan.tarsuslu@erzincan.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-0018-1430>

laboratuvar otomasyon çözümleri, yapay zekâ destekli robotik sistemler ve tele-tıp uygulamaları detaylandırılacaktır. Bunun yanı sıra sağlık alanındaki etik, hukuki ve sosyo-teknik zorluklar, insan-robot etkileşimi bağlamında değerlendirilecek Türkiye ve dünya ölçeğinde çeşitli uygulama örneklerine yer verilecektir.

Robotik sistemlerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, yalnızca mühendislik temelli bir inovasyon değil aynı zamanda sağlık çalışanlarının mesleki rollerinde hasta ile kurulan ilişkilerde ve kurum içi iş akışlarında yapısal değişiklikler yaratmaktadır. Bu sistemlerin güvenilirliği, hasta mahremiyetine etkisi, veri güvenliği ve etik ikilemler üzerine yapılan tartışmalar alanda çok-disiplinli bir yaklaşım gerekliliğini ortaya koymaktadır (Penelope vd., 2025). Ayrıca, sağlık profesyonellerinin teknolojiye yönelik algıları, sistemlere olan güven düzeyi ve kullanım deneyimleri de bu teknolojilerin başarısını doğrudan etkilemektedir (Song vd., 2025).

Her ne kadar sağlık robotikleri alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, bu sistemlerin yaygınlaşması önünde teknik sınırlılıklar, maliyet engelleri, hukuki düzenlemeler ve toplumsal kabullenme gibi önemli bariyerler mevcuttur. Bu nedenle, sağlıkta robotik uygulamaların sürdürülebilir ve güvenli biçimde entegre edilmesi için teknolojik gelişmelerin yanı sıra, yönetim, eğitim, etik normlar ve kullanıcı merkezli tasarım gibi alanlarda da ilerlemeler sağlanmalıdır (Kaur, 2023).

Bu kitap bölümünün amacı, sağlık hizmetlerinde robotik uygulamaların kapsamını çok yönlü bir bakış açısıyla ele almak hem teknik hem de toplumsal boyutlarını analiz ederek alana sistematik bir katkı sunmaktır. Bölüm kapsamında şu başlıklar ele alınacaktır: Sağlıkta robotik sistemlerin tarihsel gelişimi, cerrahi robotlar, rehabilitasyon teknolojileri, hastane otomasyon sistemleri, tanı ve görüntüleme robotları, yapay zekâ ile bütünleşmiş robotik sistemler, tele-robotik çözümler, etik ve hukuki boyutlar ile Türkiye ve dünyadan uygulama örnekleri. Son olarak, gelecekte bu teknolojilerin sağlık sistemlerinde nasıl bir evrim geçirebileceğine dair değerlendirmeler yapılacaktır.

Bu kapsamlı yaklaşım, yalnızca mevcut uygulamaların anlaşılmasına değil aynı zamanda sağlık teknolojilerinin gelecek vizyonunun şekillendirilmesine de katkı sunmayı hedeflemektedir. Robotik ve otomasyon sistemlerinin sağlıkta yarattığı dönüşümün sürdürülebilir, etik ve insan odaklı bir yapıya kavuşması için disiplinler arası iş birliklerinin artırılması önemlidir. Bu bölüm söz konusu dönüşüm sürecini farklı boyutlarıyla analiz ederek sağlık robotikleri alanına sistemli bir giriş sağlamayı amaçlamaktadır.

Sağlıkta Robotik ve Otomasyonun Tarihçesi

Robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık alanında kullanımı yalnızca teknolojik bir ilerleme değil aynı zamanda tıbbın işleyiş biçiminde önemli bir değişimi temsil etmektedir. Sağlık hizmetlerinin kalite, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik düzeyini artırma arayışı özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren robotik sistemlerin klinik ortamlarda entegre edilmesi sürecini hızlandırmıştır (Okamura, Matarić & Christensen, 2010). Bu tarihsel gelişim; mühendislikteki mekanik yenilikler ile sağlık bilimlerinin ihtiyaçlarının kesişim noktasında şekillenmektedir.

Sağlıkta robotik uygulamaların ilk örnekleri; 1980’li yıllarda endüstriyel robotların tıbbi alana uyarlanmasıyla başlamıştır. Özellikle PUMA 560 adlı robot, 1985 yılında beyin biyopsisi sırasında kullanılmak üzere modifiye edilmiş ve sağlıkta robotik cerrahinin öncülerinden biri olmuştur (Shivaji vd., 2013). Bu uygulama; insan elinin sınırlı olduğu alanlarda yüksek hassasiyetli müdahalelere imkân tanıyarak robotların klinik değeri konusunda önemli bir kanıt olmuş ve yeni bir dönemin başlangıcını oluşturmuştur. 1990’lı yıllarda bu alanda yaşanan en önemli gelişmelerden biri robotik destekli laparoskopik cerrahinin yaygınlaşması ve 2000 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan “da Vinci Cerrahi Sistemi” olmuştur. Bu sistem, minimal invaziv cerrahide devrim niteliğinde bir değişim yaratmış ve robotik cerrahinin yaygınlaşmasının önünü açmıştır (Aggarwal, Gupta & Saini, 2019).

2000’li yıllarla birlikte robotik sistemlerin yalnızca cerrahi müdahalelerde değil rehabilitasyon, tanı, ilaç dağıtımı ve hasta izleme gibi alanlarda da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Rehabilitasyon robotları özellikle felç geçirmiş ya da travma sonrası hareket kabiliyetini kaybetmiş bireylerde fizyoterapi süreçlerini daha etkili hale getirmeyi hedeflemiştir (Van der Loos, Reinkensmeyer & Guglielmelli, 2016; Sadeghnejad, Abadi & Jafari, 2023). Bu dönemde ayrıca servis robotları hastanelerde malzeme taşıma ve sterilizasyon gibi destek görevlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Ugajin, 2023). Bu gelişmelerle paralel olarak, otomasyon sistemleri de klinik karar destek, hasta kayıt yönetimi ve laboratuvar analizlerinde etkili olmaya başlamış böylece insan kaynaklı hataların azaltılması (malpraktis) ve süreç verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir (Ingole & Sonwane, 2024). Bu süreçte Sağlıkta Endüstri 4.0 kavramı ön plana çıkmış; sensör teknolojileri, yapay zekâ, IoT ve veri analitiği ile entegre çalışan sistemlerin tasarımı, “Healthcare 4.0” değişiminin ve dönüşümünün temel yapı taşlarını oluşturmuştur (Pang vd., 2018; Demet, 2023).

2020’li yıllara gelindiğinde sağlık robotik sistemlerinin gelişimi hızlanarak çok daha bütüncül bir yapıya kavuşmuştur. Yapay zekâ destekli robotlar artık

yalnızca programlanmış görevleri değil öğrenme ve karar verme yetenekleriyle karmaşık klinik ortamlarda aktif rol üstlenebilmektedir (Lodhi & Zeb, 2025). Bu noktada; insan-robot etkileşimi, güvenlik, etik ve kabul gibi yeni araştırma alanları doğmuş ve robotların sağlık personeliyle iş birliği içinde çalıştığı “sosyo-teknik sistemler” yaygınlaşmıştır (Maibaum vd., 2022; Li, 2024). Pandemi sonrası dönemde, robotların hasta ile doğrudan temas kurmadan hizmet verebilme potansiyeli, temas kaynaklı bulaş önleme ve sağlık personelinin güvenliği açısından önem kazanmıştır. Dezenfeksiyon robotları, temasız ilaç dağıtım sistemleri ve uzaktan izleme teknolojileri, COVID-19 sürecinde kritik rol oynamıştır (Irshad vd., 2025).

Tarihsel süreçte robotik sistemlerin gelişimi yalnızca teknolojik bir ilerleme değil aynı zamanda sağlık profesyonellerinin iş tanımları, hasta bakım süreçleri ve sağlık hizmet sunum modelleri üzerinde de derin etkiler yaratmıştır. Örneğin; hemşirelik hizmetlerinde kullanılan otomatik ilaç dağıtım sistemleri sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakla kalmamış aynı zamanda hasta güvenliğini de artırmıştır (Nwazor & Orakwue, 2023). Öte yandan mevcut dönüşüm sürecinde etik ve hukuki çerçevenin yetersizliği, regülasyon süreçlerinin teknoloji hızına yetişememesi, hasta mahremiyeti ve robotik sistemlerin sorumluluğuna ilişkin tartışmalar da gündeme gelmiştir (Terry, 2019). Bu nedenle robotik uygulamaların tarihsel gelişimi yalnızca mühendislik başarılarıyla değil aynı zamanda sağlık politikaları, toplumsal algı ve etik normlarla birlikte değerlendirilmelidir.

Robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık sektöründe geçirdiği evrim, sağlık hizmetlerinin hem niteliğini hem de niceliğini dönüştürmüştür. Erken dönemlerde sınırlı alanlarda uygulanan sistemler günümüzde çok daha entegre, zeki ve esnek bir yapıya kavuşmuştur. Klinik ortamlarda robotların varlığı artık istisnai bir durum olmaktan çıkmış ve özellikle gelişmiş sağlık sistemlerinde bir norm haline gelmeye başlamıştır (Husainy, Mangave & Patil, 2023; Bhatia, Acharjee & Sengupta, 2025). Önümüzdeki yıllarda bu dönüşümün daha da hızlanması beklenmekte olup robotik sağlık sistemlerinin tasarımı ve kullanımı multidisipliner bir iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Zira bu sistemler yalnızca mühendislik ve yazılım alanlarının ürünleri olarak değil aynı zamanda klinik gereksinimler, hasta güvenliği, etik normlar, sosyoteknik yapılar ve sağlık politikalarıyla doğrudan etkileşim içinde geliştirilmektedir. Sağlık robotik sistemlerinin başarılı şekilde entegre edilmesi için mühendisler, yazılımcılar, sağlık çalışanları, hasta ve sağlık çalışan temsilcileri, hukukçular ve etik uzmanları arasında sürekli ve uyumlu bir etkileşim gerekmektedir. Bu bağlamda geleceğin sağlık sistemleri; teknolojik yeterliliğin yanı sıra insan-merkezli tasarımı, güvenilirlik ve kabul edilebilirlik düzeyi yüksek sistemleri

ve etkin eğitim stratejilerini esas alan bütüncül bir yaklaşımla şekilleneceği düşünülmektedir.

Cerrahi Robotik Sistemler

Cerrahi uygulamalar robotik teknolojilerin sağlık alanında en erken ve en yaygın kullanıldığı alanlardan biri olmuştur. Bu sistemler hassasiyetin, kontrol edilebilirliğin ve minimal invaziv tekniklerin ön plana çıktığı ortamlarda, cerrahın yeteneklerini artırmayı hedefleyen karmaşık mekatronik ve yazılım entegrasyonlarından oluşur. Cerrahi robotlar özellikle laparoskopik ve endoskopik girişimlerde cerrahın el becerisini artırmak, titreşimi azaltmak ve üç boyutlu görüş sunmak gibi avantajlar sağlayarak hem operasyonel başarıyı artırmış hem de hasta iyileşme süreçlerini hızlandırmıştır (Clancy vd., 2017; Armijo vd., 2018).

Cerrahi robotların tıptaki kullanımı, 1980’li yıllarda *PUMA 560* robotunun beyin biyopsisi için modifiye edilerek kullanılmasıyla başlamış ve bu gelişme robot destekli cerrahinin potansiyelini ortaya koymuştur (Shivaji vd., 2013). Bunu izleyen dönemde geliştirilen ve 2000 yılında FDA onayı alan “da Vinci Cerrahi Sistemi”, robotik cerrahiyi klinik pratiğin merkezine taşıyan bir dönüm noktası olmuştur (Marescaux & Diana, 2015). da Vinci sistemi, cerrahın bir konsol aracılığıyla robotik kolları yönlendirdiği, üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlayan bir platform olarak mikro düzeyde müdahaleleri güvenli şekilde gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır. Sistemin özellikle laparoskopik prosedürlerde sağladığı ergonomi, hareket kabiliyeti ve sabitlik gibi özellikler cerrahların daha karmaşık işlemleri daha az invaziv yollarla gerçekleştirmesini mümkün kılmıştır (Armijo vd., 2018; Rha & Koukourikis, 2021).

Robotik sistemlerin yalnızca genel cerrahide değil üroloji, jinekoloji, nöroşirürji, kardiyotorasik cerrahi, kulak burun boğaz ve plastik cerrahi gibi birçok tıbbi uzmanlık alanında yaygınlaşması bu teknolojilerin çok yönlü uygulama potansiyelini gözler önüne sermektedir (Das vd., 2024; Marcaccini vd., 2025). Örneğin radikal prostatektomi gibi hassasiyet gerektiren prosedürlerde robotik cerrahi kanama kontrolünü artırmakta ve ameliyat sonrası fonksiyonların korunmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde robotik mikroskopiyle desteklenen süper-mikrocerrahi teknikleri, plastik ve rekonstrüktif cerrahi uygulamalarında 0.3 mm çapındaki damarların dahi güvenli şekilde onarılmasını mümkün kılmaktadır (Marcaccini vd., 2025).

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle, robotik sistemler yalnızca uzaktan yönlendirilen cihazlar olmaktan çıkıp belirli düzeyde karar destek sunabilen, hatta bazı görevlerde yarı-otonom hareket edebilen “akıllı sistemlere” dönüşmektedir. Mevcut dönüşüm özellikle yapay zekâ, görüntü işleme ve

makine öğrenmesi algoritmalarının cerrahi robotlara entegre edilmesiyle ivme kazanmıştır (Lovell vd., 2020). Örneğin; kamera yönlendirmesi, hedef doku tanıma ve doku ayırıştırma gibi görevlerde yapay zekâ desteğiyle robotik sistemlerin cerraha yardımcı olduğu ve böylece cerrahın bilişsel yükünün hafifletildiği ve işlem süresinin optimize edildiği bildirilmektedir (Ostroushko vd., 2024). Bu teknolojik yetenekler, özellikle robotik sistemlerin ameliyathane içi koordinasyonunu artırmakta ve cerrahi süreçlerin daha güvenli, daha öngörülebilir hale gelmesini sağlamaktadır.

Bu gelişmelere rağmen, robotik cerrahi sistemlerinin yaygınlaşmasında çeşitli sınırlılıklar da söz konusudur. Öncelikle sistemlerin yüksek kurulum ve bakım maliyetleri bu teknolojilerin özellikle düşük ve orta gelirli sağlık sistemlerinde erişilebilirliğini sınırlandırmaktadır (Razzoli & Cepolina, 2022). Ayrıca robotik cerrahinin öğrenme düzeyinin geleneksel cerrahiye göre daha dik olması yani daha hızlı gelişim göstermesi cerrahların eğitim süreçlerinde kapsamlı simülasyonlar ve sürekli mesleki gelişim programlarına ihtiyaç duymasına neden olmaktadır (Das vd., 2024). Bunun yanı sıra robotik sistemlerde yaşanabilecek teknik arızalar ya da yazılım sorunları, özellikle karmaşık cerrahi prosedürlerde operasyonel riski artırabilmekte bu durum, yedek sistemler ve güvenli geri dönüş protokolleri gerekliliğini gündeme getirmektedir.

Etik ve hukuki boyutta ise cerrahi robotların otonomi düzeyi arttıkça “karar verme sorumluluğu” gibi yeni tartışmalar ortaya çıkmaktadır. Cerrahin müdahale ettiği hangi aşamada sistemin otonom işlevi ne kadar rol oynadı? Oluşan bir komplikasyonda sorumluluk kimdedir? Bu ve benzeri sorular, henüz yasal çerçevelerle tam olarak yanıtlanamamış olup robotik cerrahinin klinik entegrasyonu kadar düzenleyici sistemlerle uyumu da kritik önemdedir (Kolpashchikov vd., 2021; Maibaum vd., 2022).

Geleceğe yönelik bakıldığında robotik cerrahi teknolojilerinin yalnızca ameliyat esnası ile sınırlı kalmayacağı preoperatif planlamadan postoperatif izleme süreçlerine kadar bütünleşik bir yapıya kavuşacağı öngörülmektedir. Gelişmiş haptik geri bildirim sistemleri, artırılmış gerçeklik entegrasyonları ve 5G gibi yüksek hızlı iletişim teknolojileri sayesinde robotik sistemlerin çok merkezli operasyonlarda kullanılması mümkün hale gelmektedir (Lovell vd., 2020; Pang vd., 2018). Bu durum özellikle kırsal bölgelerde yaşayan hastaların uzman cerrahlara erişimini kolaylaştıracak tele-tıp destekli robotik cerrahi modellerini gündeme getirmektedir.

Sonuç olarak cerrahi robotik sistemler yalnızca teknik bir yenilik değil aynı zamanda sağlık hizmetlerinin organizasyon yapısında ve hasta bakım modellerinde köklü bir dönüşümün öncüsü olabilmektedir. Bu sistemlerin

başarılı biçimde hayata geçirilmesi; teknolojik ilerlemenin yanı sıra etik ilkelerin gözetilmesi, sağlık profesyonellerinin eğitilmesi, hasta güvenliğinin sağlanması ve erişilebilirliğin artırılmasıyla mümkün olacaktır. Geleceğin ameliyathaneleri, insan-makine iş birliğinin en yüksek düzeyde yaşandığı hibrit ortamlara dönüşürken cerrahın uzmanlığı ile robotun hassasiyeti arasında kurulan mevcut denge modern tıbbın sınırlarını yeniden tanımlamaya devam edeceği düşünülmektedir.

Hastane Otomasyon Sistemleri ve Servis Robotları

Modern hastane ortamları artan hasta sayısı, hizmet çeşitliliği ve operasyonel karmaşıklık nedeniyle süreçlerin daha etkin, verimli ve güvenli biçimde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada hastane otomasyon sistemleri ve entegre servis robotları yalnızca idari ve lojistik süreçlerde değil hasta bakım kalitesinin artırılmasında da kilit rol oynamaktadır. Robotik sistemlerin bu alandaki kullanımı; veri yönetimi, malzeme ve ilaç taşınması, temizlik, güvenlik, hasta rehberliği ve oda servisleri gibi çok yönlü operasyonel görevleri insan kaynaklı hataları azaltarak ve süreklilik sağlayarak optimize etmektedir (Mathew vd., 2021; Holland vd., 2021).

Hastanelerdeki otomasyon sistemlerinin evrimi başlangıçta temel dijital kayıtların yönetimi ve laboratuvar analizlerinde otomatikleşme ile başlamış ve zamanla akıllı robotik sistemlerin sürece entegre edilmesiyle dinamik ve otonom bir yapıya bürünmüştür. Bu süreçte gelişen teknolojiler, robotların yalnızca programlanmış görevleri yerine getiren araçlar olmaktan çıkarak, algılayıcı sistemlerle çevresini tanıyan, karar verebilen ve görevler arasında öncelik sıralaması yapabilen akıllı ajanlara dönüşmesini mümkün kılmıştır (Correia vd., 2024). Özellikle depo yönetimi, sterilizasyon alanları ve yoğun bakım üniteleri gibi hassas bölgelerde robotlar; zamana duyarlı, hijyenik ve hatasız hizmet sunumu açısından ön plana çıkmaktadır.

Servis robotları, hastane ortamında farklı kategorilerde işlev görmektedir. Taşıma robotları (ilaç, laboratuvar örneği, malzeme), rehberlik robotları (ziyaretçi yönlendirme), hasta odası robotları (yiyecek-içecek servisi) ve destek hizmet robotları (temizlik, atık yönetimi) gibi işlevsel ayrımlar bunlardan bazılarıdır (Fan vd., 2009; Wise vd., 2022). Örneğin; hattı izleyen (line follower) robotlar, katlar arasında ilaç ve ekipman taşımada programlanabilir rotalar üzerinden hareket ederek hem sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakta hem de taşıma sırasında yaşanan gecikmeleri ortadan kaldırmaktadır (Wise vd., 2022).

Bu sistemlerin uygulanabilirliği özellikle COVID-19 pandemisi sonrası süreçte daha da önem kazanmıştır. Personel temasını azaltmak, steril ortamları korumak ve bulaşıcı hastalık riskini azaltmak için kullanılan mobil servis

robotları hasta odalarına yemek, ilaç ya da doküman taşıma gibi görevlerde sıkça tercih edilmiştir (Masnavi vd., 2022). Mobil robot filolarının birlikte çalışabilirlik düzeyi, hastane içi ağ sistemlerine entegre edilerek tüm görevlerin merkezi bir yazılım platformu üzerinden koordine edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen “hospOS” gibi robot orkestrasyon platformları, çoklu robotların görev paylaşımı ve öncelik sıralaması yaparak birlikte çalışmasını sağlayan yazılım çözümleri arasında dikkat çekmektedir (Wahl vd., 2024).

Bununla birlikte servis robotlarının etkin kullanımı sadece donanım ve yazılım yeterliliğine değil aynı zamanda insan-robot etkileşiminin ergonomisine, hasta ve sağlık personelinin kabul düzeyine ve sistemin genel iş akışıyla uyumuna bağlıdır. Nitekim yapılan çalışmalar servis robotlarına duyulan güvenin, onların işlevselliği ve görev performansının yanı sıra hastane çalışanlarıyla olan etkileşimlerinin kalitesiyle de doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir (Holland vd., 2021; Kauttonen, Rousi & Alamäki, 2025). Robotların hastane koridorlarında öngörülemeyen insan hareketlerine tepki verebilmesi, dar alanlarda yön değiştirme kapasitesi, görevler arası geçişi kesintisiz gerçekleştirebilmesi gibi fonksiyonlar hem operasyonel başarıyı hem de çalışan memnuniyetini doğrudan etkileyebileceği de ayrıca düşünülmektedir. Ancak bu sistemlerin entegrasyonu birtakım risk ve zorlukları da beraberinde getirmektedir. Özellikle veri güvenliği, siber saldırılara karşı koruma, sistem arızalarının kritik hizmetleri aksatması ve robotların hasta mahremiyetine yönelik tehdit oluşturma potansiyeli gibi sorunlar dikkatle ele alınmalıdır (Bernhard vd., 2024). Ayrıca maliyet-fayda analizlerinin yapılması, robotların satın alma, bakım ve yazılım güncelleme maliyetlerinin uzun vadeli sağlık hizmetlerine katkısı bağlamında değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Correia vd., 2024).

Sonuç olarak hastane otomasyon sistemleri ve servis robotları, çağdaş sağlık yönetiminin dijitalleşme ekseninde dönüşmesini sağlayan önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu sistemler yalnızca operasyonel verimliliği değil aynı zamanda hasta güvenliği, personel memnuniyeti ve hizmet sürekliliği açısından da yüksek katkı sunmaktadır. Geliştirilen mobil robot sistemleri, entegre yazılımlar ve insan-robot uyumluluğuna yönelik tasarımlar sayesinde, hastane ortamları daha esnek, dirençli ve hasta odaklı hale gelmektedir. Bu dönüşüm gelecekte dijital hastane modelinin temel yapı taşlarından biri olarak robotik teknolojileri daha da görünür kılacaktır.

Tele tıp ve Tele-robotik Uygulamalar

Dijitalleşme, iletişim teknolojileri ve robotikteki gelişmeler sağlık hizmetlerinin mekân ve zamandan bağımsız olarak sunulabilmesini mümkün

kılan yeni paradigma değişimlerine zemin hazırlamıştır. Bu dönüşümün en çarpıcı yansımalarından biri olan teletıp (telemedicine), özellikle pandemi sonrası dönemde hasta ve hekim arasındaki fiziksel mesafenin ortadan kalktığı zamana duyarlı müdahalelerin gerçekleştirilebildiği ve erişilebilirliğin artırıldığı hibrit bir sağlık hizmeti sunumunu temsil etmekte ve bu önemli teknolojik dönüşümün de en temel yapı taşı olmaktadır. Bu yapının bir ileri aşaması olan tele-robotik sistemler ise yalnızca tanı ve takip hizmetlerini değil cerrahi müdahale gibi yüksek teknik uzmanlık gerektiren eylemleri de uzaktan gerçekleştirme potansiyeline sahiptir (Evans, Medina & Dwyer, 2018).

Tele-robotik sistemlerin temel amacı; robotik cihazların uzaktan kontrol edilerek farklı lokasyonlardaki hastalara müdahale edilmesini sağlamaktır. Bu bağlamda tele-robotlar, robotik sistemlerin hassasiyeti ile uzaktan erişimin avantajlarını birleştirerek sağlık hizmetlerinin coğrafi sınırlarını ortadan kaldırmaktadır (Avgousti vd., 2016). Özellikle kırsal ve erişimi kısıtlı bölgelerde uzman hekimlerin müdahalesine imkân tanınması bu teknolojilerin sağlık eşitsizliklerini azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır. Tele-robotik cerrahi, kalp-damar cerrahisi, üroloji, ortopedi ve genel cerrahi gibi alanlarda başarıyla uygulanmaya başlanmıştır (Slama vd., 2019). Bu sistemlerde en kritik faktörlerden biri robot-hekim arayüzünün gecikmesiz, kesintisiz ve yüksek güvenli bir iletişim altyapısı ile desteklenmesidir (Hannaford vd., 2010). Son yıllarda geliştirilen ileri düzey tele-robotik sistemler kuvvet geri beslemesi (haptic feedback), üç boyutlu görüntüleme, yapay zekâ destekli kontrol sistemleri ve makine öğrenmesi algoritmaları ile donatılmıştır. Bu sayede hekim yalnızca görsel değil dokunsal bir farkındalık da kazanarak daha hassas müdahalelerde bulunabilmektedir (Liu vd., 2020). Bu teknolojilerin gelişiminde küresel birlikte çalışabilirlik (interoperability) standartlarının oluşturulması da büyük önem arz etmektedir. Nitekim 2009 yılında gerçekleştirilen “Plugfest” etkinliği farklı üreticilere ait tele-robotik sistemlerin birbiriyle entegre çalışabilmesine yönelik küresel test protokollerinin geliştirilmesi açısından önemli bir adım olmuş ve sağlıktaki dönüşümün de en önemli sac ayağı olmuştur (Hannaford vd., 2010). Ayrıca sosyal tele-robotlar başta gelişimsel ve davranışsal pediatri olmak üzere birçok klinik alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, çocukların duygusal ihtiyaçlarına uzaktan cevap verebilecek şekilde tasarlanmakta hem gözlem hem de terapi süreçlerine entegre edilerek çocuk dostu bir tedavi ortamı sağlamaktadır (Marcin & Ahumada-Newhart, 2022). Tele-robotik sistemlerin nörolojik rehabilitasyon, psikiyatri ve yaşlı bakım hizmetlerinde de kullanım potansiyeli giderek artmaktadır.

Tele-robotik sistemlerin yaygınlaşmasında en önemli teknik gereksinimlerden biri ise ağ iletişim teknolojilerinin kapasitesidir. Bu bağlamda 6G gibi yeni nesil kablolu iletişim altyapıları, ultra düşük gecikme

süresi, yüksek bant genişliği ve güvenli veri iletimi gibi avantajlar sağlayarak tele-robotik sistemlerin çok daha karmaşık ve hassas görevleri uzaktan gerçekleştirmesini mümkün kılacaktır (Bernhard vd., 2024). Özellikle uzaktan tanı, biyopsi alma ve endoskopik müdahalelerde bu kapasitenin pratik etkisi şimdiden gözlemlenmeye başlamıştır. Bununla birlikte, tele-robotik sistemlerin uygulamaya geçirilmesi bazı etik, hukuki ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir. Uzaktan yapılan bir müdahale sırasında oluşabilecek hata veya gecikmelerde sorumluluğun kime ait olacağı, hastanın rızası ve veri güvenliği gibi unsurlar hâlen tartışmalıdır (Evans, Medina & Dwyer, 2018). Ayrıca bu sistemlerin maliyeti, bakım süreçleri, eğitim gereksinimleri ve altyapı ihtiyaçları gibi konular da yaygın kullanımı sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak tele-tıp ve tele-robotik uygulamalar, sağlık hizmetlerinin erişilebilirliğini artıran uzmanlık gerektiren müdahaleleri mekânsal sınırların ötesine taşıyan ve yeni bakım modellerini mümkün kılan teknolojik ilerlemelerdir. Bu sistemlerin potansiyelinin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için sadece teknik değil aynı zamanda etik, sosyokültürel ve organizasyonel düzeylerde de bütüncül bir yaklaşım gerekmektedir. Geliştirilecek stratejiler hem teknoloji altyapısının güçlendirilmesini hem de bu teknolojilerin kabulünü artıracak farkındalık çalışmalarını içermelidir. Böylelikle tele-robotik sistemler geleceğin hasta merkezli, bütüncül ve sürdürülebilir sağlık hizmetleri vizyonunun vazgeçilmez bir parçası olacaktır.

Etik, Hukuki ve İnsan-Robot Etkileşimi

Sağlık hizmetlerinde robotik sistemlerin kullanımı arttıkça bu teknolojilerin etik, hukuki ve sosyo-kültürel etkileri de daha görünür ve önemli hâle gelmektedir. Klinik ortamlarda insan-robot etkileşiminin doğrudan hasta güvenliği, mahremiyet, karar verme özerkliği ve insani değerlerle ilişkili olması sağlık robotlarının yalnızca teknik değil aynı zamanda etik tasarım ilkeleriyle de şekillendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yu & Ding, 2019). Hasta-robot etkileşimlerinde ortaya çıkan başlıca etik meselelerden biri mahremiyetin korunmasıdır. Servis robotlarının hasta odalarında hareket etmesi, hasta bilgilerinin dijital ortamda işlenmesi veya sosyal tele-robotların duygusal destek sunması gibi uygulamalar, kişisel veri güvenliği ve özel yaşamın gizliliği açısından riskler barındırmaktadır. Bu nedenle robotların iletişim kurma biçimleri, veri toplama yöntemleri ve geri bildirim mekanizmaları özel olarak düzenlenmeli ve etik tasarım prensipleri bu süreçte entegre edilmelidir (Francesconi & Weng, 2023). Ayrıca özellikle yaşlı bireyler ve bilişsel yetersizliği olan hastalarla kurulan robotik etkileşimlerde, robotların insanlar üzerinde duygusal veya davranışsal yönlendirme gücü etik bir sorun alanı olarak öne çıkmaktadır. Bazı durumlarda robotların insan gibi davranması,

hastaların robotlarla sosyal bağ kurmasına neden olmakta ve bu bağ ise bakım sürecinde yanlış bir öznellik algısına yol açabilmektedir (Graaf, 2016). Bu durum hem insan hakları bağlamında hem de psikososyal etki bakımından dikkatle yönetilmelidir.

İnsan-robot etkileşiminde karşılıklı güven, açıklık ve sınırların netliği önemlidir. Robotların görev tanımlarının açık biçimde belirlenmesi, hastaların bilgilendirilmiş onamı doğrultusunda kullanılmaları ve gerektiğinde insan desteği ile takviye edilmeleri bu bağlamda önem arz etmektedir (Yu & Ding, 2019). Aynı zamanda robotların sağlık personeli ile olan ilişkisi de değerlendirilmelidir. Özellikle otomasyonun yoğun olduğu hastane ortamlarında, çalışanların mesleki rollerinin değersizleşmesi, iş güvencesi kaygısı veya duygusal tükenmişlik gibi etkiler göz ardı edilmemelidir.

Sonuç olarak sağlık hizmetlerinde kullanılan robotik sistemler yalnızca teknolojik araçlar değil aynı zamanda sosyal etkileşim aktörleri olarak da değerlendirilmelidir. Bu nedenle insan haklarına saygılı, şeffaf, hesap verebilir ve değer temelli bir robotik tasarım anlayışı benimsenmeli; etik ilkeler klinik uygulamalarla bütünleşik biçimde ele alınmalıdır.

Türkiye ve Dünyada Uygulama Örnekleri

Robotik sistemlerin sağlık alanında kullanımı, dünya genelinde hızla yaygınlaşmakta olup hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde farklı ölçeklerde uygulama örnekleri sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Güney Kore ve Almanya gibi ülkeler; robot destekli cerrahi, hasta taşıma sistemleri ve otomatik ilaç dağıtım üniteleri gibi alanlarda öncü rol üstlenmektedir. Özellikle Da Vinci cerrahi sistemi, Amerika ve Avrupa'daki birçok hastanede yaygın olarak kullanılmakta, minimal invaziv cerrahilerde başarı oranlarını artırmaktadır (Armijo vd., 2018). Japonya ise yaşlanan nüfusu nedeniyle sosyal robotların bakım evlerinde kullanımına öncülük etmektedir. Pepper, Paro gibi robotlar yaşlı bakımında duygusal destek sağlamada etkili bir rol üstlenirken, Güney Kore'de COVID-19 sürecinde temassız hizmet sunan robot sistemleri ön plana çıkmıştır (Mathew vd., 2021).

Türkiye'de sağlık alanında robotik uygulamaların gelişimi son yıllarda ivme kazanmış, kamu ve özel sektör destekli girişimlerle robot destekli sağlık hizmetleri önemli bir konum kazanmıştır. Özellikle robotik cerrahi uygulamaları büyük şehirlerdeki kamu hastaneleri ve özel sağlık kurumlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2012 yılından bu yana Da Vinci robotik cerrahi sistemini kullanarak üroloji, jinekoloji, genel cerrahi ve kalp-damar cerrahisi alanlarında başarılı operasyonlara imza atmaktadır. Kurumda şu ana dek binlerce hasta robot destekli cerrahi ile tedavi edilmiştir (Ege Üniversitesi, 2024).

Ankara Şehir Hastanesi, ülkenin en büyük ve teknolojik açıdan donanımlı kamu hastanelerinden biri olarak, robotik cerrahiye aktif şekilde uygulayan önemli merkezlerden biridir. Hastanede üroloji, kadın doğum, genel cerrahi ve kulak burun boğaz branşlarında robot destekli operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Sağlık profesyonelleri sistemin öğrenme eğrisine hızla uyum sağlayarak cerrahi başarı oranlarını yükseltmektedir (Ankara Şehir Hastanesi, 2024).

Öte yandan Liv Hospital ve Acıbadem Sağlık Grubu gibi önde gelen özel hastaneler ileri düzey robotik sistemleriyle karaciğer nakli, obezite cerrahisi ve onkolojik operasyonlar gibi yüksek hassasiyet gerektiren müdahalelerde hizmet sunmaktadır. Bu merkezlerde robotik cerrahinin getirdiği minimal invaziv tekniklerin, hastaların iyileşme sürecini hızlandırdığı ve komplikasyon riskini azalttığı gözlemlenmiştir (Liv Hospital, 2024; Medical Center Turkey, 2024).

Türkiye'nin ulusal sağlık sisteminde tele-robotik cerrahinin de potansiyel kazandığı görülmektedir. Anadolu Ajansı'nın (2019) haberine göre, bazı vakalarda robotik cerrahi sistemleri uzaktan kontrol edilerek ameliyatların farklı şehirlerdeki hekimlerce gerçekleştirilmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu gelişme Türkiye'nin sağlık hizmetlerinde teknolojik bütünleşmeye yönelik kararlı adımlar attığını göstermektedir. Ayrıca TÜBİTAK destekli projeler ve üniversite-sanayi iş birlikleriyle yerli üretim robotik sistemlerin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir. Özellikle servis robotları ve hasta yönlendirme robotları bazı üniversite hastanelerinde test edilmekte ve sağlık personelinin iş yükünü hafifletmeye yönelik çözümler sunulmaktadır (Bastug vd., 2023).

Bu gelişmeler Türkiye'nin robotik sağlık teknolojileri alanında yalnızca kullanıcı değil aynı zamanda geliştirici konumuna gelme hedefiyle hareket ettiğini ortaya koymaktadır. Önümüzdeki dönemde bu alandaki uygulamaların daha fazla yaygınlaşması ve bölgesel sağlık hizmeti sunumunda Türkiye'nin bir çekim merkezi haline gelmesi mümkündür.

Sonuç

Robotik uygulamalar ve otomasyon teknolojileri, sağlık sektöründe yalnızca teknik bir dönüşümü değil aynı zamanda organizasyonel, etik ve insani boyutları içeren çok katmanlı bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. Cerrahiden rehabilitasyona hastane hizmetlerinden uzaktan sağlık uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede entegre edilen bu sistemler, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmakta, süreçleri hızlandırmakta ve insan hatasını azaltarak hasta güvenliğini güçlendirmektedir.

Bu kitap bölümünde, robotik sistemlerin tarihsel gelişimi ve sağlık alanındaki evrimi kapsamlı bir şekilde incelenmiş; cerrahi robotlardan hasta

destek cihazlarına, servis robotlarından tele-robotik sistemlere kadar birçok uygulama alanı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sürecinde yalnızca teknolojik yenilikler değil aynı zamanda insan-robot etkileşimi, mahremiyet, etik tasarım ve sağlık profesyonellerinin rollerindeki dönüşüm gibi kritik ve önemli konulara da değinilmiştir.

Sağlık alanında robotik sistemlerin etkin biçimde uygulanabilmesi teknolojik yeterlilik kadar örgütsel hazırlık, kullanıcı kabulü, multidisipliner iş birliği ve toplum temelli etik anlayışa da bağlıdır. Bu noktada robotik sağlık sistemlerinin geliştirilmesinde mühendislik kadar tıp, hukuk, etik ve sosyal bilimler perspektiflerinin de sürece entegre edilmesi gerekmektedir.

Türkiye örneklemini üzerinden yapılan değerlendirmeler, ülkenin bu alanda artan bir farkındalık ve kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Robot destekli cerrahi uygulamaların giderek daha fazla sağlık kuruluşunda yer bulması yerli robot teknolojilerine yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin ivme kazanması ve ulusal sağlık politikalarında dijitalleşmeye verilen önemin artması bu gelişimin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Geleceğe yönelik olarak sağlıkta robotik ve otomasyon sistemlerinin daha da entegre, esnek ve yapay zekâ destekli yapılara evrilmesi beklenmektedir. Bununla birlikte mevcut teknolojilerin sağlık hizmetlerine katkısını maksimize edebilmek için; etik sınırların belirlenmesi, hukuki çerçevenin güncellenmesi, kullanıcıların eğitimi ve teknolojilere olan güvenin güçlendirilmesi öncelikli gündem maddeleri olmalıdır. Sonuç olarak, robotik ve otomasyon sistemleri sağlık hizmetlerinin geleceğini şekillendiren temel bileşenlerden biri haline gelmiştir. Bu dönüşüm sürecini sağlıklı, kapsayıcı ve insan odaklı bir yaklaşımla yönetmek yalnızca teknolojik değil aynı zamanda toplumsal bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır.

Kaynakça

- Aggarwal, S., Gupta, D., & Saini, S. (2019). A literature survey on robotics in healthcare. *2019 4th Int. Conf. on Information Systems and Computer Networks*, IEEE, 55–58.
- Anadolu Ajansı. (2019). *Robotic surgery offers operations made from distance*. <https://www.aa.com.tr/en/health/robotic-surgery-offers-operations-made-from-distance/1619935> (Erişim tarihi: 27.06.2025)
- Ankara Şehir Hastanesi. (2024). *Robotic Surgery Applications*. <https://ankarasehir.saglik.gov.tr/EN-834592/robotic-surgery.html> (Erişim tarihi: 27.06.2025)
- Armijo, P., Oleynikov, D., Peters, B., Krause, C., & Choudhury, S. (2018). *Review of emerging surgical robotic technology*. *Surgical Endoscopy*, 32, 1636–1655. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6079-2>
- Avgousti, S., Vieyres, P., Voskarides, S., Panayides, A., Nouaille, L., Christoforou, E., Pattichis, C., & Novales, C. (2016). *Medical telerobotic systems: current status and future trends*. *BioMedical Engineering OnLine*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0217-7>
- Bastug, Y., Yazicioğlu, O., & Borat, O. (2023). Robotik Cerrahi Uygulamalarının İncelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 233-247. <https://doi.org/10.55071/ticaretifbd.1104591>
- Bernhard, L., Hofmann, J., Wilhelm, D., Knoll, A., & Schwingenschlögl, P. (2024). *Boosting the hospital by integrating mobile robotic assistance systems: a comprehensive classification of the risks to be addressed*. *Autonomous Robots*, 48, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10514-023-10154-0>
- Bernhard, L., Jurosch, F., Wilhelm, D., Kröger, N., Mehmeti, F., Kellerer, W., Madden, A., & Kolb, S. (2024). *6G in medical robotics: development of network allocation strategies for a telerobotic examination system*. *Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 20, 167–178. <https://doi.org/10.1007/s11548-024-03260-6>
- Bhatia, D., Acharjee, T., & Sengupta, A. (2025). *Robotics in healthcare: A review*. *Innovation and Emerging Technologies*, 12, 2530001.
- Clancy, O., Grover, V., Ashrafian, H., & Darzi, A. (2017). *The evolution of robotic surgery: surgical and anaesthetic aspects*. *BJA*, 119, i72–i84. <https://doi.org/10.1093/bja/aex383>
- Correia, A., Cruz, E., & Oliveira, S. (2024). *Robotics Applications in the Hospital Domain: A Literature Review*. *Applied System Innovation*. <https://doi.org/10.3390/asi7060125>
- Cresswell, K., Cunningham-Burley, S., & Sheikh, A. (2018). Health care robotics: Qualitative exploration of key challenges and future directions. *Journal of Medical Internet Research*, 20(7). <https://doi.org/10.2196/10410>
- Das, S., Ganguly, K., Chatterjee, S., & Mandal, D. (2024). *Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects*. *Journal of Robotic Surgery*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01801-w>
- Demet, E. N. (2023). Endüstri 4.0'ın Sağlıkta Dönüşüm Programı ve Sağlık Hizmeti Sunumu Üzerine Etkisi. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Gelişmeler*, 299.
- Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi. (2024). *Robotik Cerrahi*. https://egehastane.ege.edu.tr/eng-10246/robotik_cerrahi.html (Erişim tarihi: 27.06.2025)
- Evans, C., Medina, M., & Dwyer, A. (2018). *Telemedicine and telerobotics: from science fiction to reality*. *Updates in Surgery*, 70, 357–362. <https://doi.org/10.1007/s13304-018-0574-9>
- Fan, Z., Dawids, S., Christensen, K., Kristensen, J., Ozkil, A., & Aanes, H. (2009). *Service robots for hospitals: A case study of transportation tasks in a hospital*. *IEEE ICAL*, 289–294. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2009.5262912>
- Francesconi, E., & Weng, Y. (2023). *Ethical Design for Privacy-related Communication in Human-Robot Interaction*. 2023 IEEE RO-MAN, 2427–2432. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN57019.2023.10309553>

- Graaf, M. (2016). *An Ethical Evaluation of Human–Robot Relationships*. *International Journal of Social Robotics*, 8, 589–598. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0368-5>
- Hannaford, B., vd. (2010). *Plugfest 2009: Global interoperability in Telerobotics and telemedicine*. 2010 IEEE ICRA, 1733–1738. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509422>
- Holland, J., Kingston, L., McConnell, M., McCarthy, C., O'Dwyer, P., Merz, F., & Armstrong, E. (2021). *Service Robots in the Healthcare Sector*. *Robotics*, 10, 47. <https://doi.org/10.3390/ROBOTICS10010047>
- Husainy, A., Mangave, S., & Patil, N. (2023). A review on robotics and automation in the 21st century. *Asian Review of Mechanical Engineering*, 12(2), 41–45.
- Ingole, A., & Sonwane, S. (2024). Robotics and Automation in Healthcare. *2024 Int. Conf. on Healthcare Innovations, Software and Engineering Technologies (HISSET)*, IEEE, 78–81.
- Irshad, A. vd. (2025). Integration of robotics in healthcare management: a narrative review. *Anaesthesia, Pain & Intensive Care*, 29(2), 331–336.
- Kaur, J. (2023). Robotic process automation in healthcare sector. *Les Ulis: EDP Sciences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101008>
- Kauttonen, J., Rousi, R., & Alamäki, A. (2025). Trust and acceptance challenges in the adoption of AI applications in health care: Quantitative survey analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 27. <https://doi.org/10.2196/65567>
- Kauttonen, J., Rousi, R., & Alamäki, A. (2025). *Trust and acceptance challenges in the adoption of AI applications in health care: Quantitative survey analysis*. *Journal of Medical Internet Research*, 27. <https://doi.org/10.2196/65567>
- Kavidha, V., Gayathri, N., & Kumar, S. R. (2021). AI, IoT and robotics in the medical and healthcare field. *AI and IoT-Based Intelligent Automation in Robotics*, 165–187.
- Kolpashchikov, D., Gerget, O., & Meshcheryakov, R. (2021). *Robotics in healthcare*. In *Handbook of Artificial Intelligence in Healthcare: Vol 2*. Springer.
- Li, C. (2024). A Review of Identity and Roles of Robotics in the Healthcare Industry. *Journal of Biomedical and Sustainable Healthcare Applications*, 22–32.
- Liu, F., Pham, M., Lelevé, A., Atashzar, S., & Mehrdad, S. (2020). *Review of Advanced Medical Telerobots*. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app11010209>
- Liv Hospital. (2024). *Robotic Surgery in Turkey*. <https://www.livhospital.com/en/robotic-surgery-in-Turkey> (Erişim tarihi: 27.06.2025)
- Lodhi, S. K., & Zeb, S. (2025). Ai-Driven Robotics and Automation: The Evolution of Human-Machine Collaboration. *Journal of World Science*, 4(4), 422–437.
- Lovell, N., Wong, S., Nho, T., Thai, M., & Phan, P. (2020). *Advanced Intelligent Systems for Surgical Robotics*. *Advanced Intelligent Systems*, 2. <https://doi.org/10.1002/aisy.201900138>
- Maibaum, A., Bischof, A., Hergesell, J., & Lipp, B. (2022). A critique of robotics in health care. *AI & Society*, 1–11.
- Marcaccini, G., vd. (2025). *Use of Robotic Surgery in Plastic and Reconstructive Surgery: A Narrative Review*. *Biomimetics*, 10. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10020097>
- Marcin, J., & Ahumada-Newhart, V. (2022). *Telehealth Frontiers: Social Telerobots in Developmental and Behavioral Pediatrics*. *Iproceedings*. <https://doi.org/10.2196/41060>
- Marescaux, J., & Diana, M. (2015). *Robotic surgery*. *British Journal of Surgery*, 102. <https://doi.org/10.1002/bjs.9711>
- Masnavi, H., Pöllüäär, R., Singh, A., Valner, R., Aabloo, A., Rybalskii, I., Kõiv, E., & Kruusamäe, K. (2022). *Scalable and heterogeneous mobile robot fleet-based task automation in crowded hospital environments—a field test*. *Frontiers in Robotics and AI*, 9. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.922835>

- Mathew, J., Lygerakis, F., Chaitanya, K., Makedon, F., Babu, A., Kyrarini, M., Sevastopoulos, C., Nambiappan, H., & Rajavenkatanarayanan, A. (2021). *A Survey of Robots in Healthcare Technologies*. <https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES9010008>
- Medical Center Turkey. (2024). *Best Clinics for Robotic Surgery in Turkey*. <https://www.medicalcenterturkey.com/best-clinics-for-robotic-surgery-in-turkey/> (Erişim tarihi: 27.06.2025)
- Nwazor, N. O., & Orakwue, S. I. (2023). Enhancing healthcare through automation and robotics. In *Modernity in Health and Disease Diagnosis*, Springer Nature, 59–67.
- Okamura, A. M., Matarić, M. J., & Christensen, H. I. (2010). Medical and healthcare robotics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 17(3), 26–37.
- Ostroushko, A., vd. (2024). *Automated robotic systems in surgical practice*. Science and Innovations in Medicine. <https://doi.org/10.35693/sim540155>
- Pang, Z., Yang, G., Khedri, R., & Zhang, Y. T. (2018). *Healthcare 4.0*. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 11, 249–259.
- Penelope, I., Ioannis, V., Haritou, M., Rania, P., Miloulis, S. T., Ioannis, K., Konstantinos, B., Matsopoulos, G. K., & Koutsouris, D. D. (2025). Healthcare Robotics' ONtology (HERON): An Upper Ontology for Communication, Collaboration and Safety in Healthcare Robotics. *Healthcare*, 13(9), 1031. <https://doi.org/10.3390/healthcare13091031>
- Razzoli, R., & Cepolina, F. (2022). *An introductory review of robotically assisted surgical systems*. International Journal of Medical Robotics, 18. <https://doi.org/10.1002/rcs.2409>
- Rha, K., & Koukourikis, P. (2021). *Robotic surgical systems in urology: What is currently available?* Investigative and Clinical Urology, 62(1), 14–22. <https://doi.org/10.4111/icu.20200387>
- Sadeghnejad, S., Abadi, V. S. E., & Jafari, B. (2023). Rehabilitation robotics: History and applications. *Medical and Healthcare Robotics*, 63–85.
- Shivaji, B. S. vd. (2013). Medical Robotics and Automation. *Int. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2(4), 112–118.
- Slama, E., Guetter, C., Knight, S., Huang, E., Davis, C., Crandall, M., & Moller, M. (2019). *Telemedicine and telementoring in the surgical specialties: A narrative review*. American Journal of Surgery. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.07.018>
- Song, J., Sridhar, R. I., Rogers, D. M., Hiddleston, C., Davis, C., Holden, T. L., ... Kamaleswaran, R. (2025). Clinicians' perceptions and potential applications of robotics for task automation in critical care: Qualitative study. *Journal of Medical Internet Research*, 27. <https://doi.org/10.2196/62957>
- Terry, N. (2019). Of regulating healthcare AI and robots. *Yale Journal of Law & Technology*, 21, 133.
- Ugajin, A. (2023). Automation in hospitals and health care. In *Springer Handbook of Automation*, 1209–1233.
- Van der Loos, H. M., Reinkensmeyer, D. J., & Guglielmelli, E. (2016). Rehabilitation and health care robotics. *Springer Handbook of Robotics*, 1685–1728.
- Wahl, F., Schmidt, S., Sommer, D., & Greiler, T. (2024). *hospOS: A Platform for Service Robot Orchestration in Hospitals*, 221–228. <https://doi.org/10.5220/0012692200003699>
- Wise, C., Sulthana, F., & Sundaramoorthy, A. (2022). *Line follower robot based room service automation in hospital environment*. ICRAMER 2021 Proceedings. <https://doi.org/10.1063/5.0097033>
- Yu, L., & Ding, S. (2019). *Ethics and risks between human and robotic interaction*. Interaction Studies. <https://doi.org/10.1075/IS.18009.YU>

3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ TIP

Emine GÖKMEN¹

Hastalık evrensel, tedavi bireyseldir.

Giriş

Hastalık yoktur hasta vardır öğretisinden yola çıkarak; tedavi yöntemleri her hastada farklılık göstermektedir. Hastaların kendilerine uygun olan, onlara özel hazırlanan, kişiselleştirilmiş tedavi yöntemleri ile tedavi edilmesi; sağlık sonuçları açısından önemlidir.

Modern tıbbın ortaya çıkardığı, İnsan Genom Projesi kapsamında da karşımıza çıkan kişiselleştirilmiş tıp; her hastaya özgü uyarlanan teşhis ve tedavi yöntemlerini içermektedir. Hastalıkların teşhis ve tedavi sürecinde kişilerin genetik, kişisel ve çevresel özelliklerini ön plana alınarak istek ve ihtiyaçların planlanmasını kapsamaktadır (Tekpınar ve Erdem, 2019). Amerika Enerji Kurumu ve Ulusal Sağlık Enstitüsü iş birliği ile 1990 yılında meydana gelen İnsan Genom Projesi; 2006 yılında sonlanmıştır (Demir, 2013). Teknolojinin de gelişmesi ile beraber 3 boyutlu (3B) yazıcı teknolojileri, kişiye özel sağlık hizmetlerinin yürütülmesinde rol alan yenilikçi bir üretim yöntemidir.

Mühendislik, eğitim gibi alanlarda kullanılan 3B yazıcıların kullanımı, sağlık sektöründe de hızla yaygınlaşmıştır (Kürtüncü ve ark., 2018). Kişiye özel üretim yapabilen 3B yazıcılar sağlık hizmetlerinde genel olarak ağız, yüz, çene, beyin cerrahisi; plastik, kardiyotorasik, vasküler ve üroloji cerrahisi, ortopedi ve transplantasyon gibi farklı uzmanlık alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztepe Yeşilyurt, 2023). 3B yazıcı teknolojileri tıpta; doku ve organ, medikal cihaz, ortez-protez üretimlerinde, cerrahi uygulamalarda, eczacılık ve sağlık eğitimi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Kürtüncü ve ark., 2018). 3B yazıcılar; kişilerin anatomik yapısına tam olarak uyumlu

1 Arş. Gör., Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, 0000-0003-0214-9653, emineg1013@gmail.com

ürünler elde edilmesini sağlamakta ve dolayısıyla kişiselleştirilmiş tıbbın önemli bir parçası haline gelmektedir.

Karmaşık anatomik yapıların üç boyutlu olarak somut bir şekilde nesne haline dönüştürülebilmesi, sağlık alanında önceden planlama yapılmasını kolaylaştırarak riskleri de azaltmaktadır. Bu durum, klasik tedavi yöntemlerinin önüne geçerek, kişilerin fonksiyonel özelliklerine göre şekillenen tedavileri önemli ölçüde desteklemektedir. Sağlıkta dijitalleşmenin önemli unsurlarından biri olan bu teknoloji, kişiselleştirilmiş tıbbın uygulanmasında önemli katkılar sağlamaktadır.

3B Yazıcı Teknolojilerinin Temel Özellikleri

Günümüzde yeni bir teknoloji gibi algılanmasına rağmen 3B yazıcı teknolojisi 1980’li yıllarda geliştirilmeye başlanmış; erişilebilir hale gelmesi 2000’li yılları bulmuştur (Schubert ve ark., 2014; Çallı ve Taşkın, 2015). 3B yazıcılar, dijital şekilde tasarlanan bir objeyi katmanlar halinde eklemeler yaparak somut nesneler üretmektedirler. “Eklemeli imalat” olarak tanımlanan bu üretim sayesinde, belirlenmiş kalıplar olmadan ihtiyaca özel, kişiselleştirilmiş somut nesneler elde edilebilmektedir. Kişiye ve duyulan ihtiyaca özel üretimin yapılabilmesi, yenilikçi fikirlerin hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır (Kürtüncü ve ark., 2018). Tek bir tanımı olmamakla beraber, 3B yazıcılar üst üste eklenen katmanlarla somut nesneler oluşturma yöntemini kapsamaktadır (Tüylek, 2023).

3B yazıcı teknolojisinin en dikkat çekici avantajları arasında geniş kullanım alanı, üretim sürecinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması ile karmaşık şekillerin kolaylıkla üretilebilmesi yer almaktadır. Ayrıca çevre dostu yapısı ve kısa sürede prototip oluşturma imkânı da bu teknolojinin olumlu yönlerini oluşturmaktadır ancak tüm bu avantajlarının yanında bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Yüksek maliyetleri nedeniyle bireysel kullanıcılara ulaşması sınırlı kalmış, hammadde çeşitliliği ve renk-doku seçenekleri ise henüz istenilen düzeye ulaşamamıştır. Bunun yanı sıra, izinsiz çoğaltım riskleri ve kötü niyetli kullanımlara açık olması gibi etik ve güvenlik sorunları da gündeme gelmektedir (Yıldırım ve ark., 2018).

Üretimi gerçekleşecek olan nesnenin üç boyutlu modellenme sürecinde çoğunlukla bilgisayar destekli yazılımlar kullanılmaktadır. Üretilen nesne bilgisayar ortamında sıfırdan tasarlanabileceği gibi, prototip dijital ortamda da oluşturulabilir. Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra model, yazıcının algılayabileceği şekilde katmanlara ayrılarak baskı aşamasına geçilmektedir. Baskı yapılırken katman üzerine katman eklenerek bütün bir ürüne ulaşılmaktadır (Karayel ve Bozkurt, 2020). Ürün israfını ve üretim süresini azaltan 3B yazıcı teknolojileri, tasarım esnekliğini ve çeşitliliğini artırmaktadır

(Cotteleer ve Joyce, 2014). Bu sayede parçalar daha hafif üretilebilirken, iç yapılar optimize edilerek malzeme tasarrufu da sağlanabilir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan karmaşık yapıdaki parçaların üretimi bu teknoloji ile mümkün hale gelmektedir.

3B yazıcılar, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan veya mümkün olmayan nesnelerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerde karşılaşılan kalıp sınırlamaları ortadan kalkarak, üretim sürecinde daha özgür ve yaratıcı olunabilmesini sağlamaktadır (Horvath, 2014). Geleneksel yöntemlerle üretim sürecinde belirli kalıplar bulunmakta ve nesnelerin büyük ölçüde tek tip üretimi sağlanmaktayken; 3B yazıcı teknolojileri ile karmaşık geometrilere sahip yapılar da kolaylıkla üretilebilmektedir. Özellikle sağlık sektöründe kişilerin anatomik özelliklerine uygun olarak kişiselleştirilmiş ürünlerin tasarlanarak üretim sağlanması bu teknoloji sayesinde mümkün hale gelmiştir.

Geleneksel seri üretim ile tek çeşit, özellikleri birbiri ile aynı ürünler elde edilirken, 3B yazıcı teknolojileri ile her hastanın gereksinimlerine uygun olan özel tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. Böylece her hastanın özelliklerine uygun kişisel olarak üretim sağlanabilmesi kişiselleştirilmiş tıp anlamında büyük önem taşımaktadır. Hastaların görüntüleme verilerinden faydalanılarak anatomisine tam olarak uyum sağlayan cerrahi modellerin basılabilmesi, hastanın konforunu da olumlu yönde etkilemektedir. Bu tür kişiselleştirilmiş ürünler; yan etki veya uyumsuzluk risklerini azaltmakta ve uygulanan tedavinin etkinliği, hasta konforunu büyük ölçüde artırmaktadır.

Biyobaskı ve Protez Üretimi

Biyobaskı teknolojileri, kişilerin anatomik yapılarına uygun modelleri kullanarak dokular üretilmesine olanak sağlamaktadır (Bozbuğa, 2024). Biyobaskı yöntemleri mürekkep püskürtmeli, mikroekstrüzyon ve lazer destekli olmak üzere üç ana stratejiye dayanmaktadır. Farklı yöntemler tek bir amaca hizmet etmekte, hücreler ve nesneler istenilen özelliklerde oluşturulmaktadır. Biyobaskı sürecinde hücrelerin canlı kalmasını, çoğalmasını ve doku oluşturmasını sağlayan biyomürekkepler, baskı sürecinde kritik öneme sahiptir. Canlı hücreler ve biyoyumlu malzemeler kullanılarak doku benzeri yapılar üretmeyi mümkün kılan biyoyazıcılar, 3B yazıcı teknolojisinin en dikkat çekici uygulamaları arasında yer almaktadır. Bu yöntemde, biyobaskı adı verilen süreç aracılığıyla hücreler, büyüme faktörleri ve destekleyici biyomalzemeler belirli bir düzen içinde bir araya getirilerek canlı dokuların oluşumu sağlanmaktadır. Biyoyazıcı teknolojisi, özellikle rejeneratif tıp ve doku mühendisliği alanlarında önemli bir potansiyel taşımakta olup; organ nakli gibi alanlarda gelecekte alternatif bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

(Akkuş ve ark., 2020). Bu gelişmeler, sağlık hizmetlerinin kişiselleştirilmesi yolunda yeni fırsatlar sunmakta; tıbbi malzeme tedariği, hastane donanımları ve hasta özelinde tedavi planlaması gibi alanlarda köklü dönüşümlere zemin hazırlamaktadır.

Geleneksel tıpta protezler genellikle standart ölçülerde tek tip olarak üretilirken, biyobaskı teknolojileri ile beraber hastanın radyolojik görüntülerinden faydalanılarak, anatomik yapısı ile bire bir uyumlu protezler üretilmektedir. 3B yazıcı teknolojisi, protez ve ortez gibi destekleyici tıbbi cihazların üretiminde önemli bir gelişme sağlamıştır. Özellikle kol ve bacak protezlerinde, hastanın mevcut uzuv yapısına ve kişisel ihtiyaçlarına göre özel tasarımlar yapılabilen ve bu tasarımlar 3B yazıcılarla üretilmektedir. Bu tür ortez-protez uygulamaları hastaların konforunun artırmanın yanı sıra, rehabilitasyon sürecini de desteklemekte ve önemli ölçüde etkilemektedir.

Modern tıpta kişiye özel olarak tasarlanan, kişinin anatomik yapısına uygun ve başarılı sonuçlar sağlayan protez ve implantların üretilmesi biyobaskı teknolojisi sayesinde olağan hale gelmiştir (Bozbuğa, 2024). Yine, biyobaskılar ile kişilerin anatomik yapılarına uygun kişiselleştirilmiş cerrahi cihazlar, protezler, implantlar elde edilebilmektedir. Leğen kemiği üretilerek hastanın değnekten kurtulmasının sağlanması, kafatası üretilerek kafatasının değiştirilmesi ve beyin fonksiyonlarının kazanımı biyobaskı yöntemi sayesinde uygulanmış olan örnekler arasında karşımıza çıkmaktadır (Kuzu Demir ve ark., 2016). Biyobaskı teknolojisi ile kişilerin anatomik yapılarına tam olarak uyum sağlayabilen protezlerin üretimi; kullanımda ve hayat kalitesinde konforu artırmaktadır. 3B yazıcı teknolojileri, biyobaskı sayesinde protez ve implant üretiminde kişiye özel, zaman açısından avantajlı ve etkili bir üretim süreci mümkün hale gelmiştir. Gelecekte, kişiye özel tedavilerin rutine girmesiyle beraber, biyoyazıcıların hastanelerde doğrudan kullanılabilir hale gelmesi beklenmektedir. Bu durum, sağlık sistemlerinin organizasyonel yapısını da yeniden şekillendirecektir. Türkiye’de biyobaskı alanında yapılan çalışmalar her geçen gün artmakta ancak bu teknolojinin ilerleyebilmesi için hâlâ daha fazla yatırıma ve insan kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır.

Biyobaskının protez üretimindeki avantajlarının yanında bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Protez üretiminde kullanılacak olan malzemelerin biyoyumlu ve oldukça dayanıklı olması beklenmektedir. Yüksek maliyetli olması erişilebilirliğinin kısıtlı olması gibi nedenler dezavantajları arasında karşımıza çıkmaktadır. Bu dezavantajlara karşın 3B biyobaskılardaki tasarım özgürlüğü, üretilen protezlerde ve hastaların konforunda, geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen başarılı sonuçların elde edilmesini sağlamakta, tedavinin etkinliğini ve hasta memnuniyetini artırmaktadır.

Türkiye’de sağlık alanında 3B yazıcı teknolojilerinin kullanıldığı dikkat çeken çalışmalardan biri Sabancı Üniversitesi tarafından yürütülen “Üç Boyutlu Doku ve Organ Basımı Projesi”dir. Bu proje kapsamında, canlı hücreler kullanılarak 3B yazıcılarla aort damarı dokusu örneği üretilmiştir (Kuzu Demir ve ark., 2016). Kalp kapakçığı gibi karmaşık bir organ yapısının biyomalzemelerle 3B basılarak üretilmesi de atılan önemli adımlar arasında yer almaktadır (Akpek, 2017). Bu tür çalışmalar, gelecekte hastaların kendi hücrelerinden üretilmiş organ yedeklerine ulaşılmasının mümkün olabileceğini göstermektedir. Yenilikçi yaklaşımlar ile biyoyazıcılarla basılan doku, ortez-protez ve implantların tedavi edici özelliklerinin artırılması hedeflenmektedir.

Kişiselleştirilmiş İlaç ve Tedavi Modelleri

3B baskı teknolojisi, ilaç tasarımı ve üretimi alanında birçok avantaj sunmaktadır. Özellikle hastadan hastaya değişen dozajların kişiye özel olarak üretilmesi, tedavide gerekli olan hassas doz ayarlamalarının yapılmasına olanak tanımaktadır (Büke ve Kılıçarslan, 2024). Birden fazla ilaç kullanmak zorunda kalan bireyler, özellikle kronik hastalar adına hap yükünün azaltılmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

Farklı ilaçları bir arada almak zorunda olan hastalar için salınım profili ayarlanarak, katmanlar düzeyinde kontrollü salınım yapan formlar üretilmektedir (Cibooğlu, 2024). İstenildiği takdirde hızlı veya geciktirilmiş salınım yapan formlar elde edilebilmektedir. Örneğin, bir tabletin merkezine farklı bir tabaka yapısı yerleştirilerek önce hızlı ardından yavaş salım sağlayan iki evreli bir dozaj formunun hazırlanabilmektedir (Tektaş ve ark., 2024). Gözeneklere sahip olan, katmanlı ve karmaşık şekiller kullanarak tek bir hap içerisinde farklı ilaçların bulunduğu bağımsız salınımlar yapan kapsüllerin üretimi sağlanabilmektedir (Norman ve ark., 2017). Bunların yanı sıra deneme üretimleri sayesinde yeni ilaç formülasyonlarının geliştirilme süreci hızlanmakta; laboratuvar ortamında farklı tasarımların kısa sürede hazırlanarak test edilmesi mümkün olabilmektedir. Kişiselleştirilmiş tıp vizyonunun gerçekleştirilmesinde 3B yazıcı teknolojileri ve biyobaskılar önemli rol üstlenmektedir.

Geleneksel ilaç üretiminde genellikle standart doz ve formlar tercih edilmekte, bu durum kişiye özel tedavi yaklaşımlarını sınırlamaktadır. Ancak 3B yazıcı teknolojileri sayesinde, “dijital ilaç üretimi” olarak adlandırılan yeni bir anlayış gelişmiş ve her hastaya özgü dozaj formlarının tasarlanması mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemle, sadece tablet ya da kapsül değil; çoklu etken madde içeren tek dozluk ilaçlar, implantlar ve hatta hastaya özel doz ayarlı kremler veya yara örtüleri üretilmektedir. Böylece, ilacın miktarı, salım şekli, formu ve hatta tadı bile bireysel ihtiyaçlara göre düzenlenebilmektedir (Özkan ve ark.,

2019). Örneğin yutma güçlüğü çeken bir çocuk hastaya, 3B yazıcıyla sevimli bir şekle ve hoş bir tada sahip, hızlı çözünen bir formda ilaç üretilmesi, hastanın tedaviye uyumunu arttırarak sağlık sonuçlarını da olumlu yönde etkileyecektir.

3B baskı teknolojisinin ilaç üretiminde kullanıldığı ilk onaylı örneklerden biri, epilepsi tedavisinde kullanılan Spritam adlı ilaçtır. 2015 yılında ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan bu ilaç, toz tabanlı ve bağlayıcı maddelerle çalışan özel bir 3B yazıcıyla üretilmiş ve bu alanda ticari olarak piyasaya çıkan ilk ürün olmuştur (İnce ve Öztürk, 2021). Ardından, farmasötik araştırmalarda pek çok farklı 3B baskı tekniği ile kişiselleştirilmiş ilaç üretimi üzerine çalışmalar geliştirilmiştir.

Sağlıkta ilerleyen teknoloji ile beraber kişiselleştirilmiş tıbbın ilerlemesi; hastalıkların genel olarak tekdüze tedavilerinden ziyade, kişilere özel tedavilerin gelişimini desteklemektedir (Aksu ve Eren, 2022). Potansiyelin büyük olmasına karşın, kişiselleştirilmiş ilaç üretim ve tüketiminin yaygınlaşabilmesi adına önem arz eden konuların aşılması gerekmektedir. 3B baskı ile üretilen bileşik ilaç formları, yeni bir ilaç türü sayılabileceğinden; sağlık ve güvenlik açısından özenle değerlendirilmesi, geleneksel ilaçlar kadar denemelere tabii tutulması gerekmektedir. Bazı maddelerin biyobaskı yapımında kullanılmaya uygun olmaması bir diğer sınırlılığını oluşturmaktadır (Tektaş ve ark., 2024). Her hastanın sağlık geçmişine özel olarak yeni bir ürün ortaya çıkarılması, üretim sürecinin karmaşıklaşması riskini de meydana getirmektedir. Bunların yanı sıra malzeme, zaman kısıtları sınırlılıklar arasında ele alınabilmektedir. Seri üretim şeklinde üretilmeyip, hastaların ihtiyaçlarına uygun yapı ve dozajlarda üretim yapılması, geleneksel ilaçlar kadar hızlı erişim sağlanamama durumunu meydana getirmektedir. Gelecekte 3B baskı teknolojisi sayesinde kişiselleştirilmiş ilaç tasarımlarının, hastaların kolay ulaşabileceği yerlerden olan eczanelerde, hastanın reçetesine uygun olarak basılabileceği öngörülmektedir. Hastaların kişisel ihtiyaçlarına yönelik doz ve şekli tasarlanarak özel ilaç formlarını basılması mümkündür.

Tıp ve Sağlık Eğitiminde 3B Yazıcı Teknolojisi ve Kişiselleştirilmiş Tıp

3B yazıcı teknolojisini birçok alanda kullanmak mümkündür. Endüstriyel imalat, tıp ve sağlık, havacılık ve uzay, mimarlık ve inşaat, askeri uygulamalar, tekstil, gıda, eğitim gibi birçok alan buna örnek teşkil etmektedir. (Kökhan ve Uzcan, 2018). Eğitim alanında 3B yazıcıların önemi her geçen gün artmaktadır. Özellikle öğrencilerin teorik bilgileri daha somut hale getirerek öğrenmelerine olanak sağlaması, bu teknolojiyi çok değerli kılmaktadır. Geleneksel yöntemlerle anlatılması zor olan konular, özellikle tıp ve sağlık eğitimlerindeki insan vücudu gibi karmaşık yapılar, 3B baskı sayesinde somutlaştırılmakta ve öğrencilerin görsel, dokunsal olarak da öğrenmeye katılmaları sağlanmaktadır.

Bu da derslerin daha verimli geçmesini sağlayarak öğrenmenin kalıcı şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır.

3B yazıcıların sağlık hizmetlerindeki kullanımı eğitim ve simülasyon alanlarında oldukça yaygındır. Tıp, diş hekimliği ve hemşirelik gibi sağlık eğitimi alanlarında 3B yazıcılarla üretilen modeller giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle anatomi eğitiminde kadavra kullanımının zor ve sınırlı olması, 3B baskılı modellerin önemini artırmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, nadir hastalıklar da dâhil olmak üzere istenilen yapılar kolayca ve birden fazla kez üretilabilmektedir. Örneğin, kalp hastalıklarının öğretiminde 3B kalp modelleri sayesinde öğrencilerin karmaşık yapıları daha iyi kavradığı görülmüştür (Cantinotti ve ark., 2017).

3B yazıcı teknolojilerinin eğitim alanında kazandırdığı bu beceriler, sağlık sektöründe de doğrudan karşılık bulmaktadır. Özellikle tıp, biyomedikal mühendisliği ve sağlık yönetimi gibi alanlarda eğitim gören öğrenciler, 3B yazıcılar sayesinde protez, organ modeli, cerrahi simülasyon araçları gibi uygulamaları bizzat deneyimleme şansı bulabilmektedir. Sağlık yönetimi açısından bakıldığında ise bu teknolojiler, hem sağlık personelinin eğitim süreçlerini desteklemekte hem de hasta bakımında kaliteyi artırmaya yönelik stratejilerin uygulanmasına katkı sunmaktadır. Dolayısıyla 3B yazıcılar sayesinde yapılan uygulamalı eğitimler, sağlık sisteminin genel verimliliğini artırarak, 3B yazıcıları kullanarak kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarını hayata geçirecek olan insan kaynağının altyapısı oluşturmaktadır. Özellikle ameliyat öncesi hazırlık ve beceri geliştirme amacıyla, hastaya özel organ modelleri basılarak simülasyon yapılabilmesi; 3B yazıcıların cerrahi eğitimde de önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Bu sayede cerrahlar operasyonu önceden prova etme imkânı bulmakta, eğitim süreci daha gerçekçi ve etkili hâle gelmektedir.

Tıp ve sağlık eğitimi sürecinde öğrencilerin 3B baskılı modeller üzerinde çalışmaları; biyomedikal cihaz, ortez-protez ve cerrahi simülasyonlarda tecrübe edinmeleri onların teşhis- tedavi ve hasta bakım süreçlerinde deneyimli ve daha bilgili olmalarını sağlayabilmektedir.

“Her hastaya özel” yaklaşımının temelinde yer alan 3B baskılar sayesinde hasta anatomilerine uygun modellerin üretilmesi, operasyonun önceden simüle edilebilmesini sağlayarak hata riskini azaltmakta ve hasta güvenliğini artırmaktadır (Schulze ve ark., 2024). Bu bağlamda, 3B yazıcılar yalnızca bir eğitim aracı olmanın ötesine geçerek kişiselleştirilmiş tıbbın eğitim sürecinde pratikleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Eğitim ile gerçek uygulama arasındaki köprüyü güçlendiren bu teknoloji, sağlık profesyonellerinin erken dönemde teknolojiyle karşılaşmasını sağlayarak, geleceğin kişiye özel tedavi süreçlerine hazır hale getirmektedir.

Sağlık Yönetimi Açısından Kişiselleştirilmiş Tıbbın Değerlendirilmesi

3B yazıcı teknolojileriyle desteklenen kişiselleştirilmiş tıp, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli gelişmeler oluşturma potansiyeline sahiptir. Sağlık yönetimi açısından bu durum, hem birçok fırsatı hem de dikkat edilmesi gereken bazı zorlukları beraberinde getirmektedir. En dikkat çeken avantajlardan biri, hasta merkezli sağlık hizmetlerine geçişin hızlanmasıdır. Artık hastalara, genetik yapıları, yaşam tarzları ve çevresel faktörlere göre özel olarak hazırlanmış tedaviler sunulabilmesinin, hem tedavi sürecine uyumunu hem de yan etkileri azaltarak başarı oranını artıracak beklenmektedir. Böylece hastaların yaşam kalitesi artarak, kronik hastalıkların yönetimi ve palyatif bakımda maliyetlerin azalması mümkün hale gelmektedir.

Söz konusu bu gelişmelerin hayata geçebilmesi için sağlık yönetiminde bazı düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Öncelikle, sağlık çalışanlarının bu teknolojiler hakkında bilgi sahibi olması için eğitimler verilmelidir. Doktorlar, hemşireler, eczacılar ve diğer sağlık personeli; biyobaskı, kişiye özel ilaç üretimi ve genetik analizi gibi alanlarda yetkin hale gelmelidir. Bunun yanı sıra hastanelerin ve kliniklerin bu teknolojileri kullanabilecek altyapıya sahip olması gerekmektedir. Kişilerin özel ortamlarında üretim yapabilmesinin önüne geçilmelidir. Bu amaçla özel üretim birimleri ve laboratuvarlar kurulmalı, gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Bu yatırımların sürdürülebilir olması ve herkesin bu hizmetlere eşit şekilde ulaşabilmesi için kamu-özel sektör iş birliğiyle hareket edilmesi önemli görülmektedir.

Kişiselleştirilmiş tıp, kişilere ait genetik ve sağlık verilerinin toplanmasını ve saklanmasını gerektirdiğinden, verilerin gizliliği korunmalı ve güçlü güvenlik önlemleri alınmalıdır. Aynı zamanda bu alanda yasal düzenlemelerin yapılması da gereklidir. Kişiye özel ilaç ve protezler daha maliyetli olabileceğinden dolayı, erişilebilirliğin eşitlenmesi adına geri ödeme sistemleri ve finansman modelleri gözden geçirilmelidir. Standart üretim ve tedaviler, giderek yerini kişiselleştirilmiş, hasta odaklı özel tedavi yöntemlerine bırakacaktır. Sağlık yönetimi tüm bu süreçleri dikkate alarak etik kurallar ışığında hem bu yeni teknolojilerden en iyi şekilde faydalanmalı hem de doğabilecek sorunlara karşı önceden hazırlıklı olmalıdır.

Sonuç

Sonuç olarak, 3B yazıcı teknolojilerinin sağlık hizmetlerindeki yeri her geçen gün daha da güçlenmektedir. Yapılan çalışmalar ve örnek uygulamalar, bu teknolojinin sadece tedavi değil; tanı, rehabilitasyon ve sağlık eğitimi gibi pek çok alanda katkı sağladığını göstermektedir. Önümüzdeki yıllarda yapılacak yeni araştırmalar, uygulamalar ve yatırımlar ile birlikte, bu teknolojilerin sağlık sistemine entegrasyonu daha da artacaktır. Bu da kişiye özel, daha etkili ve

verimli sağlık hizmetlerine ulaşmayı kolaylaştıracaktır. Kişiye özel, hasta odaklı sağlık hizmetlerine önem verilmesi, sağlık sonuçlarını olumlu etkilemektedir. Bu durumda olumlu sağlık sonuçları hasta memnuniyetini ve tedavi uyumunu da artıracaktır. Toplum sağlığının olumlu anlamda etkilenmesi adına, risklerin ortadan kaldırılması önemlidir. Sağlık alanında anlayışın genelden özele doğru evrilmesi sağlık sonuçlarına, dolayısıyla toplum sağlığına olumlu katkılar sağlayacaktır.

Bu süreçte farklı alanlardan uzmanların (mühendis, doktor, biyolog, malzeme uzmanı gibi) birlikte çalışması önem taşımaktadır. Aynı zamanda sağlık çalışanlarının da bu yeni araç ve uygulamalara uyum sağlaması, kendilerini bu alanda geliştirmeleri adına eğitimler verilmesi gerekmektedir. 3B yazıcılar, kişiselleştirilmiş tıbbın önünü açan ve sağlık hizmetlerinin geleceğini şekillendiren güçlü bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Kaynakça

- Akkuş, H., Günaydın, B., & Ustundag, C. (2020). Doku mühendisliğinde 3 boyutlu biyo-baskı için biyofonksiyonel mürekkepler. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(3), 285-294.
- Aksu B, Eren B. Sağlıkta teknoloji ve kişiselleştirilmiş tedavi. Koçdor H, Pabuçcuoğlu A, Zihnioğlu F, Sağın F, editörler. Sağlık Biyoteknolojisi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2022. p.124-7.
- Aydın, L., ve Küçük, S. (2017). Üç Boyutlu Yazıcı ve Tarayıcı ile Hastaya Özel Medikal Ortez Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 1-8.
- Bozbuğa, N., (2024). Biyobaskı, doku ve organ yedekleri. XII. Mantık Çalıştayı Kitabı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, 144-158.
- Büke, A. N. ve Kılıçarslan M. (2024). 3B Basım ile Kişiselleştirilmiş İlaç Üretimi. *Türkiye Klinikleri Biomedical-Special Topics*, 5(3), 80-85.
- Continotti, M., Valverde, I., Kutty, S. (2017). Three-dimensional printed models in congenital heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging*. 33, 137-44. DOI:10.1007/s10554- 016-0981-2.
- Cibooğlu, B. (2024). *İmatinib'in kontrollü salınımı için hidrojellerin hazırlanması ve ilaç salınımı*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Türkiye.
- Cottleer, M. ve Joyce, J. (2014). 3D fırsat: Katkı maddesi imalatının performans, inovasyon ve büyümeye giden yolları. *Deloitte incelemesi* , 14 (1), 3-19.
- Çallı, L. ve Taşkın, K. (2015). 3D yazıcı endüstrisinin oluşturacağı yeni pazarlar ve pazarlama uygulamaları. ICEB 2015. Uluslararası Vizyon Üniversitesi, Gostivar, Makedonya.
- Demir, A. (2013). Etik açıdan insan genom projesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimleri Dergisi*, (23), 317-327.
- Horvath, J. (2014). *3D baskıda ustalaşmak*. Apress.
- İnce, A. T., & Öztürk, A. (2021). 3 Boyutlu yazıcılar ve sağlık alanında kullanımları. *Mevlana Tıp Bilimleri Dergisi*, 1(1), 2.
- Kökhan, S. ve Özcan, U. (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi)*, 2(1), 81-85.
- Karayel, E., Bozkurt, Y. (2020). Additive manufacturing method and different welding applications. *J Mater Res Technol* 9, 11424-111438. DOI:10.1016/ j.jmrt.2020.08.039.
- Kuzu Demir, E. B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. Ve Kuzu, A. (2016). Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*, 17(2), 481-503. <https://doi.org/10.12984/eegef.280754>
- Kürtüncü, M., Arslan, N., Yaylacı, B., Eyüpoğlu, N. (2018). Sağlıkta gelişen teknoloji: üç boyutlu yazıcılar. *Uluslararası 3D Baskı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2(2), 99-110.
- Öztepe Yeşilyurt K. 3 Boyutlu Yazıcı Materyallerinin Cerrahi ve Hemşirelik Alanında Kullanımına Bakış. *IGUSABDER*. 2023;:663-676.
- Öztepe Yeşilyurt, K. (2023). 3 Boyutlu yazıcı materyallerinin cerrahi ve hemşirelik alanında kullanımına bakış. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, (20), 663-676.
- Schubert, C., Van Langeveld, M.C., & Donoso, L.A. (2014). Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs. *British Journal of Ophthalmology*, 98(2), 159-161.
- Schulze, M., Juergensen, L., Rischen, R., Toennemann, M., Reischle, G., Puetzler, J., ve Hasselmann, J. (2024). Quality assurance of 3D-printed patient specific anatomical models: a systematic review. *3D Printing in Medicine*, 10(1), 9.
- Tektaş, S., Güneş, Ş., & Yuksel, P. D. N. (2024). Tablet dozaj formlarının tasarımında ve geliştirilmesinde üç-boyutlu baskı teknolojisi. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 48(1), 384-395. <https://doi.org/10.33483/jfpau.1353676>

- Tüylek, Z. (2023). Biyomedikal Alanında Hızla İlerleyen Üretim Teknolojisi: 3D Yazıcılar A. Ateş (Ed.), Her Yönüyle Mühendislik ve Mimarlık Araştırmaları (s.111-144). Klaipeda: SRA Academic Publishing.
- Yıldırım, G., Yıldırım, S. ve Çelik, E. (2018). Yeni Bir Bakış- 3 Boyutlu Yazıcılar ve Öğretimsel Kullanımı: Bir İçerik Analizi. Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi, 13(25), 163-184.

DİJİTAL SAĞLIK POLİTİKALARI VE REGÜLASYONLAR

Barış DÖNMEZ¹

GİRİŞ

Dijital teknolojiler, günümüzde hayatın her alanında büyük bir değişime öncülük etmektedir. Bu alandaki gelişmeler insanların çalışma ve yaşam biçimlerini değiştirmekte, iletişim kurma yöntemlerini farklılaştırmakta ve hatta düşünme şekillerini bile etkilemektedir (Dorn, 2015). Eğitimde, finasta, bankacılıkta, sanayi sektöründe ve daha pek çok alanda dijital teknolojiler devrim niteliğinde atılımlara yol açmaktadır (Dhingra ve Dabas, 2020). Diğer sektörlerle kıyaslandığında görece geç de olsa, dijital teknolojiler artık sağlık ve sağlık hizmetleri alanında da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Sağlık sektöründe hastalıkların önlenmesi, sağlığa ilişkin risklerin yönetilmesi ve sağlığın geliştirilmesi için dijital teknolojilerin kullanılması “dijital sağlık” kavramıyla ifade edilmektedir (Meslamani, 2023). Kavram, sağlık hizmetlerinin sunumu, kişisel verilerin yönetilmesi ve sağlık teknolojilerinin kullanımı gibi birçok alanı kapsamaktadır (Soygüder ve Kızıllırmak, 2024). Giyilebilir teknolojiler, sanal gerçeklik teknolojileri, mobil sağlık (m-sağlık), tele-tıp, 3D yazıcılar ve elektronik sağlık (e-sağlık) gibi uygulamaların tümü dijital sağlık kapsamında yer almaktadır (Meslamani, 2024). Tüm bu araç ve uygulamalar küresel çapta sağlık eğitiminin, politikalarının ve uygulamalarının dijital hale getirilmesine yardımcı olmaktadır (Şimşir ve Mete, 2021). Sağlık hizmeti sunucuları, geri ödeme kurumları ve sigorta şirketleri de bu durumu maliyetlerini düşürmek ve daha iyi hasta sonuçları elde etmek için bir fırsat olarak görmektedir (Escribano, 2017).

İlk bakışta sağlığı ve sağlık hizmetlerinin sunumunu dönüştürme konusunda umut vadeden uygulama ve araçlara sahip olsa da dijital sağlık dünya çapında önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklardan ilki veri güvenliği ve hasta mahremiyetiyle ilgilidir (Soygüder ve Kızıllırmak, 2024). Dijital sağlık

1 Dr. Öğr. Üyesi, Demiroğlu Bilim Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-4443-1836>,
baris.donmez@demiroglu.bilim.edu.tr

araç ve uygulamalarının tümü insan sağlığına ilişkin her türlü verinin kolay bir şekilde sayısallaştırılarak toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Effy vd., 2018). Özellikle giyilebilir teknolojiler, mobil sağlık uygulamaları ve diğer dijital platformların ortaya çıkmasıyla birlikte sağlık verilerinin toplanması konusunda önemli bir artış olmuştur. Veri kaynaklarının bu şekilde yaygınlaşması verilerin korunması sorununu giderek daha karmaşık ve acil bir hale getirmiştir (Meslamani, 2023). Öyle ki, toplanan verilerin muazzam seviyedeki hacmi ve çeşitliliği düşünüldüğünde bu verilerin hangi amaçlar için kullanılacağı önemlidir (Dorn, 2015). Bu yüzden kişisel verilerin korunması ve hasta mahremiyetinin sağlanması dijital sağlık uygulama ve araçlarının çözmesi gereken problemlerin başında gelmektedir (Küzeci, 2018).

İkinci önemli zorluk, üçüncü taraf teknoloji şirketlerinin küresel sağlık ekosisteminde yerleşik hale gelmesiyle gündeme gelen veri sahipliği konusudur (Escribano, 2017). Günümüzde dijital sağlık araçlarının çoğu teknoloji devleri tarafından sahiplenilmekte ve kontrol edilmektedir. Bu araçlar her ne kadar akademik bir araştırma ortamında keşfedilse de gerçek dünya da kullanılmak üzere yaygınlaştırılması ticari ortaklıklara ve beraberinde veri paylaşımı anlaşmalarının yapılmasına bağlıdır (Murdoch, 2021). Özellikle yapay zeka teknolojileri, nesnelerin interneti ve makine öğrenimi gibi konuların klinik bakımda etkili olmaya başlamasıyla Google, Microsoft, IBM, Apple vb. şirketler kendi yöntemleriyle küresel sağlık sektörüne yön vermeye başlamıştır (Powles ve Hodson, 2017). Bu durum hastaların sağlık bilgilerinin kar amacı güden şirketlerin kontrolüne geçmesi anlamına gelmektedir. Teknolojik yeniliklerin ve bilginin büyük teknoloji şirketlerinde yoğunlaşması, gücün suistimal edilmesine, kamu kurumlarının sağlık teknolojisi uygulamalarında daha bağımlı hale gelmesine ve bir güç dengesizliği yaşanmasına yol açabilmektedir (He vd., 2019). Bu açıdan sağlık verilerini depolayan ve bunlara erişen sunucuların ve bilgisayarların konumu ve sahipliği dijital sağlığın aşması gereken diğer bir konudur.

Veri yönetimi, gizliliği ve sahipliğine ek olarak dijital sağlık; tele tıp, tele sağlık ve uzaktan izleme çözümlerine ilişkin bir takım problemi de bünyesinde barındırmaktadır (Fong vd., 2020). Tele tıp ve tele sağlık gibi uygulamalar hastaların bulunduğu konumdan bağımsız olarak uzaktan sağlık hizmeti almasına imkan sağlamakta, tıbbi uygulamaların sınırlarını ortadan kaldırmaktadır (Soygüder ve Kızıllırmak, 2024). Bu durum veri güvenliği problemlerinin yanı sıra ileri teknolojiye sahip dijital sağlık uygulamalarının sağlık sistemlerine entegrasyonu, birbirleriyle uyumlu hale getirilmesi ve standart uygulamaların oluşturulması sorununu ortaya çıkarmaktadır (Meslamani, 2024). Farklı cihazlardan, bilgi sistemlerinden ve kuruluşlardan gelen veriler, eksiksiz veri kümeleri oluşturmak için bir araya getirilmek durumundadır. Ancak birçok

sistem, maliyet, rekabet, gizlilik endişeleri ve teknik engeller sebebiyle henüz tam olarak birbiriyle uyumlu hale getirilmiş durumda değildir (Weber vd., 2014).

Son olarak dijital sağlığın karşı karşıya olduğu zorluklardan bir diğeri tıbbi cihaz düzenlemeleridir. Geleneksel yöntemlerde sağlık verileri klinik ortamlarda, sıkı düzenleyici koşullar altında sağlık profesyonelleri tarafından kullanılan tanı cihazları ve lisanslanmış tıbbi cihazlar aracılığıyla toplanmaktadır (Effy vd., 2018). Ancak dijital sağlığın yaygınlaşmasıyla; hastaların kendisi tarafından üretilen veriler de dahil olmak üzere sağlıkla ilgili veriler akıllı telefonlar, sağlık bileklikleri, mobil uygulamalar ve çeşitli algılama cihazları gibi teknolojik araçlarla elde edilebilmektedir (Elenko vd., 2015). Sorun şu ki; bu araçların çoğu başlangıçta tıbbi kullanım için tasarlanmamıştır ve tıbbi cihaz olarak pazarlanmamaktadır. Ancak günümüzde bazı önde gelen teknoloji şirketleri, lisanslı ve sıradan cihazlar arasındaki katı ayrımı ortadan kaldırarak bu cihazları birer tıbbi cihaz olarak tanımlanmaya başlamıştır.

Bütün bu zorluklar göz önünde bulundurulduğunda dijital sağlık araç ve uygulamalarına ilişkin politika ve düzenlemelerin gerekli olduğu açıktır. Çünkü politikalar her bir sosyoekonomik ve teknolojik bağlama özgü problemleri ele alma ve dijital sağlık girişimlerinin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasını sağlama konusunda hayati önem taşımaktadır (Parajuli vd., 2022). Literatürde dijital sağlık araç ve uygulamalarına ilişkin politika ve yasal düzenlemelerin ele alması gereken konular aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Dorn, 2015; Escribano, 2017; Meslamani, 2023; Soygüder ve Kızıllırmak, 2024):

- Dijital sağlık uygulama veya yazılımlarının tıbbi cihaz olarak nitelendirilip nitelendirilmediği ve dolayısıyla sektöre özgü katı yükümlülöklere tabi olup olmadığı,
- Bunun bir yaşam tarzı ve sağlıklı yaşam ürünü mü, yoksa tamamen bir sağlık ürünü ya da hizmeti mi olduğu,
- Olası bir hatadan kaynaklanan herhangi bir zarar için sorumluluğun kimde olacağı,
- Veri güvenliği,
- Birlikte çalışılabilirlik ve standardizasyon

İlgili konularda politika ve yasal düzenlemelerin varlığı sağlık sistemlerini çağın gereklerine göre dönüştürmek, sağlığa erişimi iyileştirmek, kaliteyi arttırmak ve sağlık eşitsizliklerini ortadan kaldırmak için önemlidir (Labrique vd., 2018; Song vd., 2024). Dünya çapındaki ölkeler günümüzde adil bir sağlık sistemi kurma ve hakkaniyetli hizmet sunma vizyonunun merkezine dijital sağlık teknolojilerini ve bu teknolojilerle uyumlu dijital sağlık politika ve düzenlemelerini koymaktadır (Rich vd., 2019). Bu bölümde dijital sağlık

politika ve düzenlemelerine ilişkin öncelikle dünyadaki genel durum ele alınacak, sonrasında küresel çaptaki düzenlemeler kapsamında Türkiye’deki dijital sağlık düzenlemelerine değinilecektir.

DİJİTAL SAĞLIĞA İLİŞKİN KÜRESEL POLİTİKA VE DÜZENLEMELER

1980’li yıllarda sağlık sektöründe elektronik sağlık kayıtları ve diğer bilgi sistemlerinin yaygınlaşmaya başlamasıyla bu dönem, dünyada dijital sağlığa ilişkin politika ve düzenlemelerin şekillenmeye başladığı yıllar olmuştur. Bu dönemde hastane bilgi sistemleri ve bilgi güvenliği gibi konularda düzenleyici çerçeveler oluşturmak için adımlar atılmaya başlamıştır. Süreç 2000’li yıllarda internet ve mobil teknolojilerin gelişmesiyle daha da hızlanmıştır (Soygüder ve Kızıllırmak, 2024). Ancak dijital sağlık düzenlemelerinin belirleyici özelliği teknolojiden çok veriyle ilgili olmuştur (Eisenstein, 2012).

Dünya Sağlık Örgütü’nün (DSÖ) Küresel e-Sağlık Gözlemevi tarafından yayınlanan rapora göre çoğu ülkedeki sağlık sistemi giderek daha fazla veriye dayalı olarak işlemektedir (World Health Organization, 2016). DSÖ’ye üye devletlerin %83’ünde dijital sağlık girişimleri devam etmekte ve bu ülkelerin %90’ının bir dijital sağlık stratejisi bulunmaktadır. Ancak buna rağmen küresel bir perspektiften bakıldığında sağlık verilerinin yönetimi hala düzensiz gibi görünmektedir. Çünkü dijital sağlık küresel bir olguyu temsil etmesine rağmen dünya çapında dijital sağlığa ilişkin veri gizliliği yasaları farklı şekillerde benimsenmekte ve uygulanmaktadır (Effy vd., 2018).

Konuyla ilgili Avrupa Birliği’nin Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR), sektör standardı olarak yaygın bir şekilde kabul edilirken (European Union, 2016); Amerika Birleşik Devletleri’ndeki “Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA)” sağlık bilgilerinin korunması için ulusal düzeyde geliştirilen ilk standartlar serisi olmuştur (Act, 1996). Kapsam ve etkinlik açısından her iki düzenlemenin birtakım eleştirileri olsa da daha sonra bu düzenlemelerden esinlenerek pek çok ülke, veri gizliliğine yönelik kendi politika ve yasal düzenlemelerini hayata geçirmeye başlamıştır. Örneğin; Kanada’da “Personel Information Protection and Electronic Documents Act (PIPEDA)”, Birleşik Krallık’ta “Data Protection Act”, Brezilya’da “General Data Protection Law” ve Çin’de yakın zamanda yürürlüğe konulan “Personal Information Protection Law (PIPL)” bu düzenlemelerden bazılarıdır (Meslamani, 2023).

Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR)

Avrupa çapında bir düzenleme olan Genel Veri Koruma Yönetmeliği (General Data Protection Regulation-GDPR), Avrupa Birliğini dijital çağa uygun hale getirmek üzere 27 Nisan 2016’da Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından hazırlanmıştır. Yönetmelik, 24 Ekim 1995 tarihli Veri Koruma Direktifinin

(Data Protection Directive) yerini alarak, 25 Mayıs 2018’de yürürlüğe girmiştir. Avrupa Birliği üye ülkelerinde daha homojen bir yasal çerçeve oluşturmayı amaçlayan GDPR (Effy vd., 2018), kişisel verilerin toplanması ve işlenmesine ilişkin olarak bireylerin korunması ve bu verilerin birlik içerisinde serbest bir şekilde dolaşmasına ilişkin kuralları belirlemektedir. Bu kapsamda kişisel verilerin toplanması ve işlenmesi sürecine ilişkin temel ilkeler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (European Union, 2016):

- *Yasallık, dürüstlük ve şeffaflık*: kişisel verilerin hukuka uygun, dürüst ve şeffaf bir şekilde toplanması,
- *Amaç sınırlaması*: kişisel verilerin sadece belirli, açık ve meşru amaçlar için toplanması ve bu amaçlarla bağdaşmayacak şekilde işlenmemesi,
- *Veri minimizasyonu*: kişisel verilerin yeterli, ilgili ve işlendiği amaçlar için gerekli olanla sınırlı olması,
- *Doğruluk*: kişisel verilerin doğru ve gerektiği yerde güncel olarak tutulması, işleme amaçları göz önünde bulundurulduğunda yanlış olan verilerin gecikmeksizin silinmesi ya da düzeltilmesi için adımların atılması,
- *Saklama süresinin sınırlanması*: kişisel verilerin işlendiği amaçlar doğrultusunda veri sahiplerinin tanımlanmasına izin verecek bir biçimde gerekli olandan daha uzun süre saklanmaması,
- *Bütünlük ve gizlilik*: kişisel verilerin uygun teknik ve organizasyonel önlemlerle yetkisiz ya da yasadışı bir şekilde işleme, kazara kaybolma, imha edilme ve hasar görme gibi durumlara karşı korunarak güvenli bir şekilde işlenmesi.

Sürece ilişkin temel ilkelerin yanı sıra yönetmelikte hangi durumlarda kişisel verilerin işlenebileceği ifade edilirken veri sahiplerinin açık rızasının alınmasının önemine vurgu yapılmaktadır (Effy vd., 2018). Buna göre gerçek kişilere ait verilerin işlenebilmesi için öncelikle veri sahiplerinin kişisel verilerinin belirli bir amaç için işlenmesine onay vermiş olması gerekmektedir. Açık rızanın bulunmasının dışında kişisel verilerin işlenebileceği durumlar; kamu yararının söz konusu olduğu bir görevin yerine getirilecek olması, veri sahibinin ya da başka bir gerçek kişinin hayati çıkarlarını korumak için veri işlemenin gerekli olması ya da bilimsel, tarihsel ve istatistiksel amaçlar için veri işlemenin gerekli olması şeklinde sıralanmaktadır. Bunlar dışında üye devletlerin yerel olarak daha fazla koşul veya sınırlama eklemesi gibi istisnalar olmadığı sürece GDPR Avrupa düzeyinde verilerin işlenmesini yasaklamaktadır (European Union, 2016).

Yönetmelikte kişisel verilerin toplanması ve işlenmesi sürecinde bireylerin korunmasıyla ilgili olarak veri sahiplerinin haklarına da değinilmektedir.

Bunlardan ilki şeffaflıktır. Şeffaflık, kişisel verilerin işlenmesi süreciyle ilgili her türlü bilgilendirmenin istenildiği takdirde veri sahibine kısa, şeffaf, anlaşılır ve kolay erişilebilir bir biçimde, sade bir dil kullanılarak yapılması anlamına gelmektedir. İkincisi, erişim hakkıdır. Bu, veri sahibinin kendi verilerinin bir kopyasını ücretsiz olarak talep edebileceği ve bu talebin 30 takvim günü içinde karşılanması gerektiği anlamına gelmektedir. Üçüncüsü, düzeltme ve silme hakkıdır. Düzeltme ve silme hakkı, veri sahibinin kendisiyle ilgili yanlış kişisel verilerin düzeltilmesini ya da kişisel bilgilerinin tamamen silinmesini gecikme olmaksızın talep etme hakkına sahip olduğunu ifade etmektedir. Dördüncüsü, veri taşınabilirliği hakkıdır. Veri taşınabilirliği, basit bir ifadeyle, veri sahibinin bir veri sorumlusunda tutulan tüm verilerinin kopyalanarak yeni bir veri sorumlusuna aktarılmasını talep edebileceği anlamına gelmektedir. Beşincisi veri işlemenin kısıtlanması hakkıdır. Söz konusu kısıtlama, veri sahibinin belli durumlarda verilerinin işlenmesini durdurma hakkına sahip olduğunu ifade etmektedir. Altıncısı ise veri sahibinin belli işlemlere itiraz etme hakkıdır. İtiraz hakkı, veri sahibinin kişisel verilerinin işlenmesine kendi özel durumuna ilişkin gerekçelerle herhangi bir zamanda itiraz etme hakkına sahip olduğu anlamına gelmektedir (European Union, 2016).

Son olarak; GDPR, işlenen verilerin üçüncül ülkelere ya da uluslararası kuruluşlara aktarılmasına ilişkin kişisel verilerin taşınabilirliği konusunda hükümler içermektedir. Yönetmeliğe göre Avrupa Komisyonu'nun üçüncül ülke ya da kuruluşların yeterli düzeyde koruma sağladığına karar vermesi halinde kişisel verilerin bu ülke ya da kuruluşlara aktarılması mümkündür. Buna karşın kişisel olmayan ya da anonimleştirilmiş veriler için yönetmelik kapsamında bağlayıcı bir hüküm yer almamaktadır (Escribano, 2017). Bu yüzden Avrupa Komisyonu verilerin taşınabilirliğine ilişkin standartları kişisel olmayan ve anonimleştirilmiş verileri de kapsayacak şekilde genişletmeyi amaçlamaktadır (European Union, 2016). Özellikle makineler tarafından üretilen ham verilerin işlenmesi ve bu verilere erişim konusu birçok sektör için değerlendirilmektedir. Ancak sağlık sektöründe veri güvenliği kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla GDPR kişisel verilerin işlenmesi ve transfer edilmesi konusunda belli bir dereceye kadar etkili olsa da hala kapsamadığı düzenleyici boşluklar bulunmaktadır (Meszaros, Minari ve Huys, 2022).

Sağlık Sigortası Taşınabilirliği ve Sorumluluk Yasası (HIPAA)

Dijital çağda gizlilik ve güvenlikle ilgili zorlukların üstesinden gelebilmek için küresel çaptaki ilk yasal düzenlemelerden biri olan Sağlık Sigortası Taşınabilirliği ve Sorumluluk Yasası (Health Insurance Portability and Accountability Act-HIPAA) 21 Ağustos 1996 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri Kongresi tarafından kabul edilerek yürürlüğe girmiştir (Nosowsky

ve Giordano, 2006). Temel amaç; Amerikan vatandaşlarının sağlık sigortası poliçelerindeki önceki hastalıklarına bakılmaksızın sigorta kapsamının taşınabilirliğini ve sürekliliğini sağlamak, sağlık sigortacılığı alanında ve sağlık hizmetleri sunumunda israf, dolandırıcılık ve suistimal durumlarını önlemek, tıbbi tasarruf hesaplarının kullanımını teşvik etmek ve uzun süreli bakım hizmetlerine erişimi iyileştirmektir (Act, 1996).

Yasada sağlık sisteminin işleyişini iyileştirmek ve “idari basitleştirmeler” yoluyla maliyetleri azaltmak için alınan önlemler de dahil olmak üzere sağlık reformuna ilişkin çeşitli hükümler bulunmaktadır. Bu hükümler çeşitli başlıklar altında toplanmakta ve HIPAA 5 bölümden oluşmaktadır (Moore ve Frye, 2019). Birinci bölümde işini kaybeden ya da değiştiren çalışanlar ve ailelerinin sahip olduğu sağlık sigortası kapsamının korunmasına ilişkin düzenlemeler yer almaktadır. Yeni sağlık sigortası planlarının önceden var olan sağlık sorunlarını gerekçe göstererek sigorta kapsamını reddetmesi yasaklanmaktadır. İkinci bölümdeki düzenlemeler sağlık hizmetlerinde dolandırıcılık konusunu ve suistimal edilebilecek unsurları ele almakta, tıbbi sorumluluk reformunu uygulamaktadır. Sağlık verileriyle çalışan kuruluşların hastaların özel tıbbi bilgilerini korumak için uyması gereken standartların belirlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Sağlık hizmeti sunucuları, işverenler ve sağlık sigortası planları için ulusal kimlik numaraları belirleyerek idari işlemlerin basitleştirilmesi teşvik edilmektedir. Üçüncü bölüm sağlık sigortası kanunlarında değişiklik yapmakta, tıbbi tasarruf hesaplarının kullanımına ilişkin düzenlemeler içermektedir. Dördüncü bölümde sağlık sigortası hükümlerine ilişkin değişiklikler bulunmakta, grup sağlık sigortası planlarının koşullarına yer verilmektedir. Son olarak beşinci bölüm, şirketlere ait hayat sigortası ve Amerika Birleşik Devletleri vatandaşlığı olmayan kişilere yönelik hükümlerden oluşmaktadır (Edemekong vd., 2018).

HIPAA 1996 yılında yasalaşmış olsa da tam olarak uygulanmaya başlaması 2003 yılını bulmuştur. HIPAA’nın hükümlerinin gereğini yerine getirmek üzere ilk olarak 3 Kasım 1999’da kamuoyu görüşüne sunulan HIPAA Gizlilik Kuralı (HIPAA Privacy Rule) Yönetmeliği, yapılan güncellemelerle 2003 yılından itibaren geçerli olmak üzere nihai halini almıştır (HIPAA Compliance Assistance, 2003). Yönetmeliğin temel amacı; bireylerin sağlık bilgilerinin uygun şekilde korunmasını sağlamak, yüksek kaliteli sağlık hizmeti sunumunu teşvik etmek ve halkın sağlığını ve refahını korumak için gereken sağlık bilgilerinin akışına izin vermektir (Institute of Medicine, 2009). HIPAA’nın idari basitleştirme hükümleri kapsamında hazırlanan yönetmelik; sağlık planları, sağlık hizmetleri bilgi merkezleri, sağlık hizmeti sağlayıcıları ve sağlık hizmetleri işlemlerini yürüten iş ortaklarının tümü için geçerlidir. Bunlar yönetmelikte “kapsam dahilindeki kuruluşlar” olarak anılmaktadır. Sağlık

planları; tıbbi bakım sağlayan ya da maliyetini ödeyen bireysel ve grup sağlık planlarını (Medicare, Medicaid, Anthem vb.) ifade etmektedir. Sağlık hizmetleri bilgi merkezleri; başka bir kuruluştan aldıkları standart dışı bilgileri standart bir formata veya tam tersine işleyen kuruluşlardan (faturalama ve yeniden fiyatlandırma şirketleri) oluşmaktadır. Sağlık hizmeti sağlayıcıları; hastane, klinik ya da muayenehaneler gibi sağlık bilgilerini elektronik olarak ileten her türlü sağlık hizmeti sağlayıcısını içermektedir. Son olarak iş ortakları ise, kapsanan kuruluşun iş gücünün bir üyesi olmayan, kuruluş adına belirli işlevleri veya faaliyetleri gerçekleştiren ya da kuruluşa, bireysel olarak tanımlanabilir sağlık bilgilerinin kullanımını ve ifşasını içeren belirli hizmetler (muhasebe, danışmanlık, veri toplama, akreditasyon vb.) sağlayan kişi ya da kuruluşları ifade etmektedir (Moore ve Frye, 2019).

HIPAA Gizlilik Kuralı Yönetmeliği; kapsam dahilindeki bir kuruluş tarafından herhangi bir biçimde veya ortamda (elektronik, basılı ya da sözlü) saklanan ve iletilen tüm “bireysel olarak tanımlanabilir sağlık bilgilerini” koruma altına almaktadır. Yönetmelikte bu bilgiler “korunan sağlık bilgileri” olarak adlandırılmaktadır. Demografik veriler de dahil olmak üzere yönetmelikte korunması gereken sağlık bilgileri; bireyin geçmişteki, şimdiki veya gelecekteki fiziksel/zihinsel sağlık durumunu, bireyin almış olduğu sağlık hizmetlerini, bireye sunulan hizmetler için yapılan ödemeleri ve bireyi tanımlayan ya da bireyi tanımlamak için kullanılabileceğine dair makul bir dayanak bulunan tüm bilgileri içermektedir (HIPAA Compliance Assistance, 2003). Tıbbi bakım kapsamında temel gizlilik ilkesi, hastanın izni olmadan hiç kimsenin özel sağlık bilgilerine erişemeyeceğini ve hastanın kendi bilgilerini içeren kayıtlara erişebilmesi, bu kayıtların bir kopyasını alabilmesi ve kayıtlardaki hataları düzeltebilme fırsatına sahip olması gerektiğini savunmaktadır (Annas, 2004). Bu kapsamda HIPAA Gizlilik Kuralı Yönetmeliği bireyin korunan sağlık bilgilerinin kapsam dahilindeki kuruluşlar tarafından kullanılabileceği veya ifşa edilebileceği durumları tanımlamakta ve sınırlamaktadır. Ancak bu sınırlama gizlilik korunması konusunda bir üst sınır değildir. Yönetmelik hükümleri, Amerika Birleşik Devletleri çapında daha fazla gizlilik sağlayan federal ve eyalet yasaları mevcut olmadığında geçerlidir. Dolayısıyla federal yasalar ve eyalet yasaları HIPAA Gizlilik Kuralından daha kapsamlı ve koruyucu olduğunda ilgili yasalar geçerli olmaya devam edecektir (Annas, 2003).

TÜRKİYE’DE DİJİTAL SAĞLIK MEVZUATI

Dijital sağlığa ilişkin küresel çaptaki düzenlemelerin yanı sıra 2000’li yılların başından itibaren ülkelerin ulusal mevzuatlarında da çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Türkiye’de dijital sağlığa ilişkin mevzuat; sağlık alanında teknolojinin kullanımına (elektronik sağlık kayıtları, dijital reçete

uygulamaları vb.), veri güvenliğine (kişisel sağlık verilerinin toplanması, işlenmesi, saklanması ve paylaşılmasına) ve hasta haklarına (sağlık verilerine erişim ve bunların paylaşımına ilişkin bilgi edinme) ilişkin düzenlemelerden oluşmaktadır (Soygüder ve Kızılırmak, 2024). İlgili düzenlemelere konu olan kişisel sağlık verileri birçok platformdan elde edilmektedir. Hastaneler, tıp merkezleri, muayenehaneler, aile hekimlikleri ve tıbbi laboratuvarlar gibi sağlık kurumlarında bilgi sistemleri aracılığıyla sağlık verileri yaygın bir şekilde işlenmektedir (Yelmen, 2023). Bunun yanı sıra ulusal sağlık bilgi sistemleri aracılığıyla pek çok sağlık verisi kayıt altına alınmakta, kullanılmakta, korunmakta ve bir yerden başka bir yere aktarılmaktadır. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) üzerinden sağlık güvencesine sahip olan bireylerin sağlık verileri MEDULA aracılığıyla dijital ortama taşınmakta, bireylerin kullandığı ilaçlara ilişkin bilgiler e-reçete sistemi aracılığıyla dijital ortamda saklanmakta ve Sağlık-Net uygulaması sayesinde SGK ile anlaşması olmayan kurumlardan sundukları hizmete ilişkin veriler elde edilmekte ve işlenmektedir (Olca ve Can, 2014).

Veri toplama ortamının çok çeşitli olması ve bunun bir sınırının olmaması ulusal veri güvenliği açısından bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Sağlık verilerinin izinsiz bir şekilde ele geçirilmesi ya da amaç dışı kullanılması bu risklerin başında gelmektedir (Atalay, 2021). Söz konusu risklerin önüne geçilebilmesi için küresel çaptaki düzenlemeler göz önünde bulundurularak ulusal düzeydeki kanun ve yönetmeliklerin hazırlanması önemli hale gelmektedir. Türkiye’de kişisel sağlık verilerinin saklanması, korunması ve bir yerden başka bir yere transfer edilmesiyle ilgili yasal düzenlemelerin tarihi çok eskiye gitmemektedir (Yüksel, 2018). Bu konuda bir yasal düzenleme yapma ihtiyacı ilk olarak 2003 yılında Avrupa Birliği ile yürütülen üyelik görüşmeleri neticesinde ortaya çıkmıştır (Karaarslan vd., 2015). Avrupa Birliği’ne Katılım Ortaklığı Belgesinde “*kişisel verilerin korunmasına ilişkin müktesebata uyum sağlanması*” ilkesi Avrupa Birliği üyeliği için bir kriter olarak sunulmuştur (Devlet Planlama Teşkilatı, 2003). Bu kapsamda 2010 yılında Anayasa’ya kişisel verilerin korunmasıyla ilgili hüküm eklenerek Türkiye’de kişisel verilerin koruma altına alınması sağlanmıştır.

Anayasa’ya eklenen hükmün yanı sıra 5237 sayılı Türk Ceza Kanunu, Hasta Hakları Yönetmeliği, 5502 sayılı Sosyal Güvenli Kurumu Kanunu, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ve 1 no’lu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’ndeki özel hükümlerle Türkiye’de kişisel verilerin korunmasına ilişkin düzenlemeler yapılmış ve bu bilgilerin izinsiz kullanımı ya da ifşa edilmesi durumunda uygulanacak yaptırımlar belirlenmiştir. Çeşitli kanunlarda yer alan bu hükümlerin dışında Türkiye’de kişisel verilerin korunmasına ilişkin özel bir kanunun çıkarılması çalışmaları 2000 yılında başlamış olsa da 6698

sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu ancak 7 Nisan 2016 yılında Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanunun yayımlanmasından kısa bir süre sonra 20 Ekim 2016’da Kişisel Sağlık Verilerinin İşlenmesi ve Mahremiyetinin Sağlanması Hakkında Yönetmelik yayımlanarak Türkiye’de kişisel sağlık verilerinin toplanması, işlenmesi ve aktarılmasına ilişkin hususlar düzenlenmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2016). 21 Haziran 2019 tarihinde yayımlanan Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik ile önceki yönetmelik yürürlükten kaldırılmış ve Türkiye’de kişisel sağlık verisi işleyen kurumlar ile Sağlık Bakanlığı tarafından yürütülmekte olan süreç ve uygulamalara ilişkin usul ve esaslar yeniden düzenlenmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2019).

Anayasa

2010 yılında 5982 sayılı Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının Bazı Maddelerinde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun ile 1982 Anayasa’sının “Özel Hayatın Gizliliği” başlığı altında yer alan 20. maddesine ilave bir fıkra eklenmiştir. Fıkra; “*Herkes, kendisiyle ilgili kişisel verilerin korunmasını isteme hakkına sahiptir. Bu hak; kişinin kendisiyle ilgili kişisel veriler hakkında bilgilendirilme, bu verilere erişme, bunların düzeltilmesini veya silinmesini talep etme ve amaçları doğrultusunda kullanılıp kullanılmadığını öğrenmeyi de kapsar. Kişisel veriler, ancak kanunda öngörülen hallerde veya kişinin açık rızasıyla işlenebilir. Kişisel verilerin korunmasına ilişkin esas ve usuller kanunla düzenlenir.*” hükmü bulunmaktadır. Bu hüküm, kişisel verilerin Türkiye’de Anayasal olarak güvence altına alınması sağlamaktadır. Ancak kişisel verilerin güvenliği konusunda çatı mevzuatını oluşturan bu hüküm genel olarak verilerin korunmasını sağlarken verilerin nasıl işlenebileceği konusunda detay ve sınırlamalar içermemektedir. Verilerin işlenmesine yönelik düzenlemelerin kanunlar doğrultusunda yapılabileceği ifade edilmektedir. Bu durum 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu’nun hazırlanması için gerekli hukuksal altyapıyı oluşturmaktadır.

6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu

Avrupa Birliği Veri Koruma Direktifi baz alınarak hazırlanan kanunun amacı; “*kişisel verilerin işlenmesinde başta özel hayatın gizliliği olmak üzere kişilerin temel hak ve özgürlüklerini korumak ve kişisel verileri işleyen gerçek ve tüzel kişilerin yükümlülükleri ile uyacakları usul ve esasları düzenlemek*” şeklinde ifade edilmiştir. Kanunda yer alan hükümler, kişisel verileri işlenen gerçek kişiler ile bu verileri çeşitli yollarla işleyen tüm gerçek ve tüzel kişileri kapsamaktadır. Kişisel sağlık verileri bu kanun kapsamında özel nitelikli kişisel veriler arasında sayılmakta ve bu verilerin işlenebilmesi için ilgili kişinin açık rızasının bulunması gerektiği vurgulanmaktadır (Resmi Gazete, 2016).

Kanuna göre kişinin açık rızasının olmasının yanı sıra kişisel veriler işlenirken uyulması gereken kurallar; verinin hukuka ve dürüstlük kurallarına uygun olması, doğru ve güncel olması, açık ve meşru amaçlar için işlenmesi, sadece işlendiği amaçla bağlantılı, sınırlı ve ölçülü olması ve işlendiği amaç için gerekli olan süre kadar muhafaza edilmesi şeklinde sıralanmaktadır. Kanunda kişisel verilerin silinmesi, yok edilmesi veya anonim hale getirilmesine ilişkin hususlar da düzenlenmektedir. Kişisel verilerin işlenmesini gerektiren hususlar ortadan kalktığında bu verilerin resen veya kişinin talebi üzerine silinebileceği, yok edilebileceği ya da anonim hale getirilebileceği ifade edilmektedir.

Verilerin aktarılmasıyla ilgili olarak kişisel verilerin aktarılması Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında iki başlık altında ele alınmaktadır. İlk olarak kanunun sekizinci maddesinde kişisel verilerin ancak ilgili kişinin açık rızasının olması koşuluyla üçüncü kişilere aktarılabilmesi güvence altına alınmaktadır. Açık rıza kavramı ise kanunda; *“belirli bir konuya ilişkin, bilgilendirilmeye dayanan ve özgür iradeyle açıklanan rızayı”* ifade etmektedir. İkinci olarak kanunun dokuzuncu maddesinde kişisel verilerin yurt dışına aktarılabilmesine ilişkin düzenlemelere yer verilmektedir. Kişisel verilerin yurt dışına aktarılabilmesi için öncelikle yine ilgili kişinin açık rızasının bulunması koşuluyla birlikte verilerin aktarılacağı ülkede yeterli korumanın sağlanıyor olması ve bu korumanın yazılı olarak taahhüt edilmesi gerekmektedir.

Kişisel verilerin işlenmesi, korunması ve aktarılmasına ilişkin hususların dışında kanunda hak ve yükümlülükler kapsamında; veri sorumlusunun aydınlatma yükümlülüğü, ilgili kişinin sahip olduğu haklar ve veri güvenliğine ilişkin yükümlülükler yer verilmektedir. Buna göre, bu kanun kapsamında tüm gerçek kişiler kişisel verilerinin işlenip işlenmediğini öğrenme, verileri işlenmişse buna ilişkin bilgi talep etme, verilerin işlenme amacını ve bunların amacına uygun kullanılıp kullanılmadığını öğrenme, yurt içinde ve yurt dışında kişisel verilerin aktarıldığı üçüncü kişileri bilme, verilerin eksik veya yanlış işlenmesi durumunda bunların düzeltilmesini isteme, kanunun ilgili maddesinde yer alan koşullar çerçevesinde kişisel verilerinin silinmesi ya da yok edilmesini isteme ve kişisel verilerin kanuna aykırı olarak işlenmesi sebebiyle herhangi bir zarara uğraması halinde zararının giderilmesini talep etme haklarına sahiptir.

Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik

6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu hükümleri kapsamında Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan yönetmeliğin amacı; *“Sağlık Bakanlığının merkez ve taşra teşkilatı birimleri ile bunlara bağlı olarak faaliyet göstermekte olan sağlık hizmeti sunucuları ile bağlı ve ilgili kuruluşları tarafından yürütülen süreç ve uygulamalarda uyulacak usul ve esasları düzenlemektir”*. Yönetmelik, kişisel sağlık verisi işleyen özel hukuk gerçek ve tüzel kişileri ile

kamu hukuku tüzel kişilerinin Sağlık Bakanlığı tarafından yürütülmekte olan süreç ve uygulamalara ilişkin faaliyetlerini kapsamaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2019).

Yönetmelikte herkesin sağlık durumunu takip edebilmesi ve sağlık hizmetlerinin daha etkin ve hızlı şekilde yürütülmesi maksadıyla Bakanlık tarafından ülke çapında bilişim sistemlerinin kurulması, hiç kimsenin sağlık hizmeti sunumu için gerekli durumlar haricinde geçmiş sağlık verilerinin dökümünü sunmaya ya da göstermeye zorlanmaması ve sağlık hizmeti sunucularının kendilerinden hizmet alan bireylerin birbirlerine ait kişisel sağlık verileri duymaları, görmeleri, öğrenmeleri ya da ele geçirmelerini engelleyecek nitelikte tedbirler alması gibi genel ilke ve esaslara yer verilmektedir.

Ayrıca yönetmelikte kişisel sağlık verilerine kimlerin nasıl ulaşabileceğine ilişkin hususlar ele alınmaktadır. Bu kapsamda sağlık personellerinin, Bakanlık birimlerinin, hasta yakınlarının ve avukatların kişisel sağlık verilerine erişimi ile ilgili hususlar düzenlenmektedir. Sağlık personellerinin, ilgili kişilerin sağlık verilerine sadece verilecek sağlık hizmetinin gerektirdiği kadar erişebilme imkanı olduğu ve e-nabız üzerinden sağlık verilerine yalnızca ilgili kişinin gizlilik tercihleri çerçevesinde erişim sağlanabileceği vurgulanmaktadır. Hasta yakınlarıyla kişisel sağlık verilerini paylaşmanın Hasta Hakları Yönetmeliği hükümleri kapsamında yapılabileceği ve avukatların da müvekkiline ilişkin sağlık bilgilerine ancak ilgili kişinin özel nitelikli kişisel verilerinin işlenmesi ve aktarılmasına ilişkin açık rızasını gösteren bir hüküm içeren vekaletnameyle erişebileceği ifade edilmektedir.

Kişisel sağlık verilerinin gizlenmesi, düzeltilmesi, imha edilmesi, aktarılması ve bilimsel amaçlarla işlenmesine ilişkin hükümlerin yanı sıra yönetmelikte son olarak veri güvenliğine ilişkin yükümlülüklerle birlikte suçlar ve kabahatlere ilişkin yaptırımlar yer almaktadır.

Kaynaklar

- Act, A. (1996). Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996. *Public law*, 104-191.
- Act, A. (1996). *Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996 (HIPAA)*. Public Law 104-191.
- Annas, G. J. (2003). HIPAA Regulations: A New Era of Medical-Record Privacy? *The New England Journal of Medicine*, 348(15), 1486-1490.
- Annas, G. J. (2004). *The Rights of Patients: The Authoritative ACLU Guide to The Rights of Patients*. New York University Press.
- Atalay, H. N. (2021). Mahremiyet Kapsamında Kişisel Sağlık Verilerinin Korunması ve Depolanması. *Sosyal Çalışmalar Üzerine Akademik Perspektif Dergisi*(1), 1-20.
- Devlet Planlama Teşkilatı. (2003). *Türkiye İçin Katılım Ortaklığı Belgesi*. Ankara: Avrupa Birliği ile İlişkiler Genel Müdürlüğü.
- Dhingra, D., & Dabas, A. (2020). Global Strategy on Digital Health. *Indian Pediatr*, 57(4), 356-358.
- Dorn, S. D. (2015). Digital Health: Hope, Hype and Amara's Law. *Gastroenterology*, 149(3), 516-520.
- Edemekong, P. F., Annamaraju, P., Afzal, M., & Haydel, M. J. (2018). *Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) Compliance*. StatPearls Publishing.
- Effy, V., Tobias, H., Afua, A., & Alessandro, B. (2018). Digital Health: Meeting the Ethical and Policy Challenges. *Swiss Medical Weekly*, 148(w14571), 1-9.
- Eisenstein, M. (2012). Miniature Wireless Sensors Presage Smart Phone Medicine. *Nature Biotechnology*, 30(11), 1013-1014.
- Elenko, E., Speier, A., & Zohar, D. (2015). A Regulatory Framework Emerges for Digital Medicine. *Nature Biotechnology*, 33(7), 697-702.
- Escribano, B. (2017). *Digital Health: Legal Challenges in the European Union*. Spain: International Bar Association Legal Practice Division.
- European Union. (2016). *General Data Protection Regulation*. Official Journal of the European Union.
- Fong, B., Fong, A. C., & Li, C. K. (2020). *Telemedicine Technologies: Information Technologies in Medicine and Digital Health*. Wiley.
- He, J., Baxter, S. L., Xu, J., Xu, J., Zhou, X., & Zhang, K. (2019). The Practical Implementation of Artificial Intelligence Technologies in Medicine. *Nature Medicine*, 25, 30-36.
- HIPAA Compliance Assistance. (2003). *Summary of The Hipaa Privacy Rule*. Office for Civil Rights.
- Institute of Medicine. (2009). *Beyond The HIPAA Privacy Rule Enhancing Privacy, Improving Health Through Research*. Washington: The National Academies Press.
- Karaarslan, E., Ergin, A. M., Turğut, N., & Kılıç, Ö. (2015). Elektronik Sağlık Kayıtlarının Gizlilik ve Mahremiyeti.
- Küzeci, E. (2018). Sağlık Bilişim Teknolojileri ve Yeni Hukuksal Soru(n)lar. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 9(1), 477-506.
- Labrique, A. B., Wadhvani, C., Williams, K. A., Lamphey, P., Hesp, C., Luk, R., & Aerts, A. (2018). Best Practices in Scaling Digital Health in Low and Middle Income Countries. *Globalization and Health*, 14(103), 1-8.
- Meslamani, A. Z. (2023). Gaps in Digital Health Policies: An Insight into the Current Landscape. *Journal of Medical Economics*, 26(1), 1266-1268.
- Meslamani, A. Z. (2024). Why are digital health policies crucial? *Journal of Medical Economics*, 27(1), 167-169.
- Meszaros, J., Minari, J., & Huys, I. (2022). The Future Regulation of Artificial Intelligence Systems in Healthcare Services and Medical Research in the European Union. *Policy and Practice Reviews*, 13(927721), 1-10.
- Moore, W., & Frye, S. (2019). Review of HIPAA, Part 1: History, Protected Health Information, and Privacy and Security Rules. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 47(4), 269-272.

- Murdoch, B. (2021). Privacy and Artificial Intelligence: Challenges for Protecting Health Information in A New Era. *BMC Medical Ethics*, 22(122), 1-5.
- Nosowsky, R., & Giordano, T. J. (2006). The Health Insurance Portability And Accountability Act of 1996 (HIPAA) Privacy Rule: Implications for Clinical Research. *Annual Review of Medicine*, 57, 575-590.
- Olca, E., & Can, Ö. (2014). Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerde Kişisel Sağlık Verisi Mahremiyetinin Korunması. *Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı*, (s. 71-76).
- Parajuli, R., Bohara, D., KC, M., Shanmuganathan, S., Mistry, S. K., & Yadav, U. N. (2022). Challenges and Opportunities for Implementing Digital Health Interventions in Nepal: A Rapid Review. *Frontiers in Digital Health*, 4(861019), 1-14.
- Powles, J., & Hodson, H. (2017). Google DeepMind and Healthcare in An Age of Algorithms. *Health Technology*, 7, 351-367.
- Resmi Gazete. (2016). *Kişisel Verilerin Korunması Kanunu*. 06 15, 2025 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.6698.pdf#page=1.29> adresinden alındı
- Rich, E., Miah, A., & Lewis, S. (2019). Is Digital Health Care More Equitable? The Framing of Health Inequalities Within England's Digital Health Policy 2010–2017. *Sociology of Health & Illness*, 41(1), 31-49.
- Sağlık Bakanlığı. (2016). *Kişisel Sağlık Verilerinin İşlenmesi ve Mahremiyetinin Sağlanması Hakkında Yönetmelik*. 06 12, 2025 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161020-1.htm> adresinden alındı
- Sağlık Bakanlığı. (2019). *Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik*. 06 12, 2025 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/06/20190621-3.htm> adresinden alındı
- Song, J., Hobensack, M., Sequeira, L., Shin, H. D., Davies, S., Peltonen, L.-M., . . . Topaz, M. (2024). Social Determinants of Health in Digital Health Policies: an International Environmental Scan. *IMIA Yearbook of Medical Informatics*, 33(1), 283-291.
- Soygüder, S., & Kızıllırmak, M. (2024). Evaluation of Digital Health Services From a Legal Perspective. *Journal of Optimization & Decision Making*, 2(2), 522-534.
- Şimşir, İ., & Mete, B. (2021). Sağlık Hizmetlerinin Geleceği: Dijital Sağlık Teknolojileri. *Journal of Innovative Healthcare Practices*, 2(1), 33-39.
- Weber, G. M., Mandl, K. D., & Kohane, I. S. (2014). Finding the missing link for big biomedical data. *JAMA*, 311(24), 2479-2480.
- World Health Organization. (2016). *Global Diffusion of eHealth: Making Universal Health Coverage Achievable. Report of The Third Global Survey on Health*. Geneva.
- Yelmen, A. (2023). Kişisel Sağlık verilerinin Elektronik Ortamda İşlenmesi Üzerine Bir Değerlendirme. *Erciyes Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 18(2), 743-805.
- Yüksel, G. (2018). Kişisel Sağlık Verilerinin Hukuki Korunması. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 6(1), 1-10.

SAĞLIK KURULUŞLARINDA DİJİTAL DÖNÜŞÜM STRATEJİLERİ

Figen ÖZŞAHİN¹, Altuğ ÇAĞATAY²

Giriş

Dijitalleşmenin toplumun tüm kesimlerinde köklü dönüşümlere neden olduğu bir çağda, sağlık sektörü de bu değişimden payını fazlasıyla almaktadır. Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, sağlık kuruluşlarının hizmet sunum biçimlerinden yönetim modellerine, hasta ilişkilerinden veri yönetimine kadar birçok alanda dijital dönüşüm stratejileri kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Özellikle sağlık hizmetlerinin kalitesini, erişilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak amacıyla dijital çözümlerin entegrasyonu, artık rekabet avantajı yaratmanın ötesinde, varlığını sürdürmenin temel koşullarından biri olarak kabul edilmektedir.

Dijital sağlık kayıtları (EHR), yapay zekâ destekli tanı sistemleri, tele-tıp uygulamaları, mobil sağlık çözümleri (mHealth), büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve blockchain teknolojileri gibi pek çok dijital araç ve yaklaşım, sağlık kuruluşlarının işleyişine entegre edilmektedir. Ancak dijital dönüşüm, yalnızca teknoloji yatırımı ile sınırlı olmayıp; kurum kültürünün, liderlik anlayışının, insan kaynağının ve stratejik planlamanın da kapsamlı bir şekilde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Entegrasyon süreci, her ne kadar kaçınılmaz olsa da belirli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların başında yüksek maliyetler gelmektedir. Akıllı sistemlerin kurulumu ve sürdürülmesi büyük ölçekli yatırım gerektirmektedir. Ayrıca, siber güvenlik tehditleri ve veri mahremiyeti sorunları, hasta bilgilerinin korunması açısından kritik önemdedir. Yeni sistemlerin kullanımı için gerekli olan teknik bilgi ve insan kaynağının yetersizliği de bir diğer önemli sorundur. Sağlık çalışanlarının bazıları teknolojik dönüşüme direnç gösterebilir; bu da kültürel dönüşümün ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Mevzuatların bu dijital dönüşümü

1 Dr. Öğr. Üyesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, figen.ozsahin@erzurum.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9227-4938>.

2 Doç. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, altug.cagatay@gop.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7067-5570>.

destekleyecek biçimde düzenlenmemiş olması, bazı uygulamaların hayata geçmesini zorlaştırabilmektedir.

Tüm bu engellere rağmen, başarılı bir entegrasyon için çeşitli stratejiler geliştirilebilir. Öncelikle hastane üst yönetiminin bu dönüşüme öncülük etmesi gerekir. Teknoloji yatırımlarının planlı şekilde ve adım adım uygulanması, başlangıçta pilot uygulamalarla sistemin test edilmesi önemlidir. Sağlık çalışanlarının eğitilmesi, dijital okuryazarlıklarının artırılması ve sistemlerin kullanıcı dostu biçimde tasarlanması, dirençle başa çıkmada etkili olabilir. Ayrıca sağlık sektörü ile yazılım firmaları, mühendislik ekipleri ve üniversiteler arasında sıkı iş birliği sağlanmalıdır. Entegrasyon süreci, sürekli olarak izlenmeli, geri bildirimlerle güncellenmeli ve sistemin etkinliği düzenli olarak değerlendirilmelidir.

Hizmet sektörlerinin tamamında olduğu gibi sağlık alanında da iyi organize edilmiş dinamik bir sistemin hayata geçirilmesi açısından bilgi teknolojilerinin kullanımı ve dijitalleşme kilit bir rol oynamaktadır (Özşahin, 2024). Gelecekte akıllı sistemlerin sağlık hizmetlerinde daha da yaygınlaşması beklenmektedir. 5G teknolojisi ile birlikte veri aktarımı daha hızlı hale gelecek, uzaktan cerrahi ve gerçek zamanlı video analizleri daha güvenli ve mümkün kılınacaktır. Blockchain tabanlı sağlık kayıtları, veri güvenliğinde önemli bir yenilik sunarak, hasta bilgilerinin yetkisiz erişimlere karşı korunmasını sağlayabilecektir. Yapay zekâ sistemleri ise yalnızca tanı süreçlerinde değil, aynı zamanda hastane içi operasyonların planlanması, personel dağılımı, yoğunluk tahmini gibi idari alanlarda da kullanılabilecektir. Böylece sağlık hizmetleri hem klinik hem de yönetsel açıdan daha öngörülebilir, daha etkin ve hasta odaklı hale gelecektir.

Sonuç olarak, hastanelerde akıllı sistem entegrasyonu sadece bir teknoloji yatırımı değil, sağlık hizmetlerinin yeniden yapılandırılması anlamına gelmektedir. Bu süreç, yönetim vizyonu, stratejik planlama, çalışan katılımı ve güçlü bir dijital altyapı ile mümkündür. Etkili bir entegrasyon, sağlık sisteminin daha dirençli, erişilebilir ve sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır. Dijital dönüşümün sunduğu olanakları en iyi şekilde değerlendiren sağlık kurumları, gelecekte daha kaliteli hizmet sunarak hem hastaların hem de sağlık çalışanlarının memnuniyetini artıracaktır.

Bu kitap bölümü, sağlık kuruluşlarında dijital dönüşüm süreçlerini bütüncül bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamakta; stratejik düzeyde başarılı bir dijital dönüşüm için gerekli olan temel ilkeleri, karşılaşılan zorlukları, iyi uygulama örneklerini ve geleceğe dönük yönelimleri değerlendirmektedir. Böylece, hem sağlık yöneticilerine hem de politika yapıcılara dijital dönüşümün dinamiklerine dair kapsamlı bir rehber sunulması hedeflenmektedir.

1. Hastanelerde Akıllı Sistem Entegrasyonu

Dijitalleşme, sağlık sektöründe büyük bir dönüşüm yaratmış ve bu değişim özellikle hastanelerde çok daha görünür hale gelmiştir. Günümüzde sağlık hizmetlerinin daha hızlı, doğru, verimli ve hasta odaklı biçimde sunulabilmesi için teknolojik altyapıların gelişmesi ve bu sistemlerin bir bütün halinde çalışabilmesi büyük önem taşımaktadır. Hastanelerdeki akıllı sistem entegrasyonu, bilgi ve iletişim teknolojilerinin, yapay zekâ uygulamalarının, nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının, büyük veri analitiği, bulut bilişim ve robotik teknolojilerle bir arada kullanılarak sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Bu sistemler, hem klinik hem de idari süreçlerde verimliliği artırırken, sağlık profesyonellerine daha doğru ve hızlı karar alma olanağı sağlamaktadır. Günümüz sağlık sistemleri, dijitalleşmenin ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle önemli bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Özellikle hastanelerde, akıllı sistemlerin entegrasyonu sayesinde hasta güvenliği, operasyonel verimlilik, kaynak yönetimi ve klinik karar alma süreçlerinde kayda değer iyileşmeler gözlemlenmektedir (Topol, 2019). Sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla geliştirilen akıllı sistemler; yapay zekâ (YZ), büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), robotik sistemler, karar destek mekanizmaları ve hasta izleme teknolojileri gibi çok sayıda bileşeni kapsamaktadır (Ristevski & Chen, 2018). Teknoloji-temelli dönüşümün sağlık hizmetlerindeki son halkası “akıllı entegrasyon” olmuştur. Akıllı sistem entegrasyonu, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (YZ), gerçek-zamanlı konumlandırma sistemleri (RTLS), robotik, sensör ağları ve gelişmiş bağlantı (Wi-Fi 6-E, 5G ve sonrasında 6G) katmanlarının tek bir dijital sinir sistemi olarak çalışmasını ifade eder. Sistem, hasta odasından ameliyathaneye, tedarik zincirinden idari ofislere kadar tüm fiziksel varlıkları veri üreten düğümlere dönüştürür ve bu verileri bulut tabanlı platformlara aktararak klinik ve operasyonel kararları hızlandırır. Pandemi sonrası dönemde artan hasta hacmi, yaşlanan nüfus ve personel açığı gibi baskılar, hastaneleri akıllı entegrasyon projelerine yöneltmiştir. Akıllı sistemler, çevresel verileri algılayabilen, bu verileri analiz ederek anlamlandırabilen ve belirli algoritmalar aracılığıyla karar alabilen teknolojik yapılardır. Akıllı entegrasyonu tetikleyen başlıca faktörler arasında maliyet baskısı, hasta güvenliği düzenlemeleri, değer-odaklı ödeme modelleri ve rekabetçi fark yaratma ihtiyacı yer alır. Bununla birlikte paydaş yelpazesi geniştir. Yönetim kurulları sermaye tahsisi yaparken, klinisyenler arayüz kullanılabilirliğini, BT ekipleri ise siber güvenlik ve entegrasyon standartlarını önceliklendirir. Hastalar ise deneyim ve erişilebilirlik kazanımlarını öncelemektedir. Başarılı projelerde tüm paydaşların ortak bir dönüşüm vizyonu altında hizalanması kritik görünmektedir. Hastane ortamında bu sistemlerin temel bileşenleri arasında elektronik sağlık kayıtları (EHR), yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, hasta izleme cihazları,

robotik ameliyat teknolojileri ve otomatik ilaç ve envanter yönetim sistemleri yer alır. Elektronik sağlık kayıtları sayesinde hastaların medikal bilgileri dijital ortamda depolanabilir, paylaşılabılır ve gerektiğinde hızlıca erişilebilir hale gelmiştir. Yapay zekâ destekli sistemler ise özellikle tanı koyma süreçlerinde hekime büyük ölçüde yardımcı olmakta, tıbbi görüntüleri analiz ederek hastalıkların erken evrede tespitine katkı sunmaktadır.

Akıllı sistemler, hastanelerde veriye dayalı karar alma süreçlerini güçlendirerek hem yönetsel hem de klinik açıdan dönüşüm sağlamaktadır. Örneğin, elektronik sağlık kayıtları (EHR) üzerinden elde edilen büyük veri kümeleri, hastalıkların erken tanınmasına ve bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Wang vd., 2018). Yapay zekâ algoritmaları, özellikle görüntüleme sistemlerinde ve tanı koyma süreçlerinde klinik doğruluğu artırarak hekime yardımcı bir rol üstlenmektedir (Esteva vd., 2017). Hastanelerin on-yıllardır biriktirdiği heterojen sistemler yerini modüler, API-öncelikli mimarilere bırakmaktadır. Bulut çözümleri, elektronik sağlık kayıtlarının (EHR) ağır yükünü taşıyıp ölçeklenebilirlik sunarken; ameliyathane içindeki 5 ms gecikme gerektiren robotik cerrahi komutları bir klinik edge sunucu üzerinde işlenir. Oulu Üniversitesi Hastanesi'nin kurduğu Avrupa'nın ilk tam 5G kampüs ağı, iç lojistikten uzaktan cerrahi danışmanlığa kadar geniş bir kullanım alanı sağlamış, IoMT cihazlarının bant genişliği ihtiyacını karşılamıştır. Sensör verisi, yüksek hacimli EHR kayıtları ve görüntüleme çıktıları; derin öğrenme ve büyük dil modeli (LLM) yaklaşımları ile anlamlandırılır. Cleveland Clinic'in yoğun bakım ünitelerinde devreye aldığı sepsis tahmin motoru, hasta başı monitörlerden akan 106 değişkeni saniyede bir analiz ederek klinisyenleri 6 saat önceden uyarabilmektedir. Operasyon tarafında ise YZ tabanlı dijital ikizler, enerji tüketim optimizasyonu ve hasta akış simülasyonlarıyla yıllık maliyetleri %8-12 dolayında düşürmektedir. Hull University Teaching Hospitals, 14 bin tıbbi cihazı RFID ve BLE beacon'lar ile etiketleyerek kaybolan ekipman arama süresini %87 kısaltmıştır. Bu entegrasyonun elde taşınır mobil uygulamalarla birleşmesi, hemşire başına vardiya başına ortalama 30 dakikalık zaman tasarrufu sağlamıştır. Benzeri RTLS çözümleri, steril malzeme izlenebilirliği ve ameliyathane dönüş zamanlarının kısaltılmasında da kullanılmaktadır. Nottingham University Hospitals, hasta odalarında ses kontrollü ışık, perde ve hemşire çağrı sistemleri kurarak dokunmatik yüzey ihtiyacını ortadan kaldırmış; memnuniyet skorlarını 7 puan yükseltmiştir. NLP tabanlı sesli asistanlar, yaşlı hastalar ya da motor kısıtlı bireyler için erişilebilirlik engellerini azaltır.

Nesnelerin interneti (IoT), hastane ortamında tıbbi cihazların birbirleriyle haberleşmesini ve hasta verilerinin gerçek zamanlı takibini mümkün kılmaktadır. Bu sistemler sayesinde, hastaların kalp ritmi, solunum hızı, vücut

ısısı gibi yaşamsal belirtileri anlık olarak izlenebilir ve acil müdahale gereken durumlar önceden tespit edilebilir (Islam vd., 2015). Böylece özellikle yoğun bakım ve acil servis gibi birimlerde zaman kaybı en aza indirilmektedir. IoT teknolojileriyle donatılmış medikal cihazlar, özellikle yoğun bakım gibi kritik ünitelerde hastaların yaşamsal bulgularını sürekli izleyebilir, anlık değişikliklerde otomatik alarm verebilir ve bu sayede hızlı müdahale olanağı tanır. Robotik cerrahi sistemleri, hassas operasyonların yapılmasında insan elinin sınırlılıklarını aşarken, otomasyon sistemleri hasta kabul, laboratuvar sonuç yönetimi ve ilaç dağıtımı gibi birçok süreci hızlandırmakta ve hata oranlarını azaltmaktadır. Tüm bu sistemlerin birbirleriyle entegre çalışması, sağlık kurumlarının hizmet kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir unsur haline gelmiştir. Bu dönüşüm, yalnızca teknolojik bir yenilenme değil aynı zamanda stratejik bir zorunluluktur. Artan hasta yükü, kronik hastalıkların çoğalması, sağlık çalışanı sayısındaki yetersizlik ve maliyet baskısı, geleneksel sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, dijital teknolojilerin sistematik biçimde sağlık kurumlarına entegre edilmesi kaçınılmazdır. Entegrasyon sayesinde operasyonel süreçler daha verimli hale gelirken, hasta güvenliği artmakta, insan hataları azalmakta ve sağlık hizmetlerine erişim kolaylaşmaktadır. Ayrıca bu sistemler, geçmiş hasta verilerine dayanarak sağlık risklerini öngörme ve kişiselleştirilmiş tedavi süreçleri geliştirme gibi yenilikçi uygulamalara da olanak tanımaktadır.

Akıllı sistemlerin bir diğer önemli bileşeni olan robotik cerrahi, minimal invaziv tekniklerin gelişimini sağlamış ve cerrahların daha hassas, güvenli operasyonlar gerçekleştirmesine imkân tanımıştır (Yang vd., 2017). Robotik sistemlerin yardımıyla ameliyat süreleri kısaltmakta, komplikasyon oranları düşmekte ve hastaların iyileşme süreleri hızlanmaktadır. Bu, hasta memnuniyeti ve hastane kaynaklarının verimli kullanımı açısından kritik öneme sahiptir. Uygulamada başarılı örnekler giderek artmaktadır. Örneğin ABD’de faaliyet gösteren Kaiser Permanente, entegre elektronik sağlık kayıtları sayesinde kronik hastalıkların takibinde etkinliği artırmış ve yeniden hastaneye yatış oranlarını önemli ölçüde düşürmüştür. Yapay zekâ destekli sistemler, özellikle radyolojik görüntülerin analizinde uzman hekimlerden daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmekte; örneğin Google Health’in geliştirdiği AI mamografi değerlendirme algoritması, bazı klinik ortamlarda radyologlara göre daha az hata yapmaktadır. Bunun dışında, akıllı bileklikler, kalp ritmi sensörleri ve hareket izleme cihazları gibi IoT tabanlı teknolojiler sayesinde evde hasta takibi mümkün hale gelmekte, özellikle yaşlı bireylerin uzaktan izlenmesi kolaylaşmaktadır.

1 Ağustos 2024’te yürürlüğe giren AB Yapay Zekâ Tüzüğü (AI Act), tıbbi amaçlı YZ yazılımlarını “yüksek riskli” sınıfa alarak veri kalitesi, insan

denetimi ve şeffaflık koşulları getirmiştir (Shaping Europe's digital future, 2024). 5 Mart 2025'te yürürlüğe giren Avrupa Sağlık Veri Alanı (EHDS) yönetmeliği (Quathem, 2025) ise kurumlar-arası veri alışverişine ortak standartlar ve ikincil kullanım çerçevesi sunarak akıllı entegrasyon projelerinin ölçeklenebilirliğini güçlendirmektedir. HL7 FHIR, DICOM-Web ve IEEE 11073 cihaz iletişim protokolleri, birlikte işlerliğin teknik iskeletini oluşturmaktadır. Çok katmanlı saldırı yüzeyi, Zero-Trust mimarileri, mikro segmentasyon ve homomorfik şifreleme gibi yeni tekniklerle korunur. Akıllı yatak sensörlerinden toplanan biyometrik verilerin gizliliğini sağlamak için diferansiyel gizlilik yöntemleri kullanılmakta; mahremiyet-korumalı analizler klinik fayda ile etik gereklilik arasında köprü kurmaktadır. Başarılı entegrasyon, tasarım-odaklı düşünme atölyeleri, kademeli minimum uygulanabilir ürün (MVP) pilotları ve çapraz fonksiyonel yönetim ofisleri (PMO) gerektirir. Klinik şampiyonlar ve "süper kullanıcı" ağları, önü tıkanabilecek kullanım örneklerini hızla iteratif olarak iyileştirir. Kurum kültüründe öğrenen organizasyon yaklaşımı öne çıkar. Dijital ikiz-tabanlı hastane kampüs simülasyonları, yapay zekâ tarafından optimize edilen bina enerji yönetimi, otonom robot filo koordinasyonu ve kuantum-destekli tedarik zinciri planlaması, 2030 sonrası akıllı entegrasyon vizyonunun yapıtaşlarıdır. Bunlar, hasta güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerini birlikte yükseltecektir. Karar destek sistemleri, hekimin doğru tanı ve tedavi süreçlerini yürütmesini kolaylaştırmakta ve hata payını azaltmaktadır (Shortliffe & Sepúlveda, 2018). Bu sistemler, hasta verileriyle geçmiş klinik örüntüleri karşılaştırarak önerilerde bulunur. Klinik karar destek sistemlerinin kullanımı, özellikle kronik hastalıkların yönetiminde ve acil müdahalelerde belirgin yarar sağlamaktadır.

Hastane yönetim sistemlerinin dijitalleştirilmesi de akıllı sistem entegrasyonunun önemli bir parçasıdır. Randevu yönetimi, ilaç stok kontrolü, kaynak planlaması ve personel zaman çizelgesi gibi birçok süreç, otomasyon sayesinde daha az insan hatası ile daha verimli biçimde yürütülmektedir (Agarwal vd., 2010). Özellikle pandemi sürecinde bu otomasyon sistemlerinin önemi daha iyi anlaşılmıştır. Uzaktan hasta izleme ve tele-tıp uygulamaları, hastaların hastaneye gitmeden sağlık hizmetine erişmesini sağlamış ve bulaşıcı hastalıkların yayılımını azaltmıştır (Ohannessian vd., 2020). Giyilebilir sağlık teknolojileri de hasta izleme ve önleyici sağlık hizmetleri açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu cihazlar, sürekli veri toplama kapasitesiyle erken teşhise ve hasta uyumunun artırılmasına katkı sağlamaktadır (Patel vd., 2012). Giyilebilir sensörler, elde ettikleri verileri sağlık bilgi sistemlerine entegre ederek, sağlık çalışanlarına zamanında uyarı ve bilgi sunar. Bununla birlikte, akıllı sistem entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar da göz ardı edilmemelidir. Özellikle veri güvenliği ve hasta mahremiyeti konuları, sistemlerin yaygınlaştırılmasında

önemli bir engel teşkil etmektedir (Rumbold & Pierscione, 2017). Ayrıca, sağlık personelinin bu sistemleri etkin şekilde kullanabilmesi için yeterli düzeyde eğitilmesi gerekmektedir. Teknoloji yatırımlarının yüksek maliyetleri ve sürdürülebilirlik kaygıları da bu entegrasyon sürecinde dikkate alınması gereken başlıca hususlardır (Carayon vd., 2019). Akıllı sistemlerin hastane içi altyapıya entegrasyonu yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda organizasyonel bir dönüşümü de gerektirir. Liderlik, değişim yönetimi, kültürel adaptasyon ve çok disiplinli iş birliği bu süreçte belirleyici faktörlerdir (Buntin vd., 2011). Başarılı uygulama örnekleri, bu dönüşümün hem klinik hem yönetsel çıktılar üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, hastanelerde akıllı sistem entegrasyonu; hasta bakım kalitesini artırmak, klinik kararları desteklemek, kaynak yönetimini iyileştirmek ve genel sağlık sistemini daha sürdürülebilir kılmak açısından kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Bu dönüşüm sürecinde teknolojik alt yapı kadar, etik, yönetsel ve eğitsel bileşenlerin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir.

2. Dijital Hasta Deneyimi ve Hasta Memnuniyeti

Dijitalleşme, sağlık hizmetlerinin sunumunu dönüştürmüştür; bu dönüşüm sürecinde hasta deneyimi kavramı, dijital araçlarla yeniden tanımlanmıştır. Hasta deneyimi, yalnızca klinik sonuçlarla değil; bireyin sağlık sistemine dair tüm etkileşimlerini kapsayan çok boyutlu bir olgudur (Wolf vd., 2014). Günümüzde dijital teknolojiler sayesinde bu deneyim, kişiselleştirilmiş hizmet, hızlı iletişim, kolay erişim ve sürekli etkileşim olanaklarıyla şekillenmektedir (Wolff vd., 2024). Dijital hasta deneyimi; hasta portalı kullanımı, mobil sağlık uygulamaları, tele-sağlık hizmetleri, yapay zekâ destekli destek sistemleri ve çevrimiçi geribildirim mekanizmaları gibi araçları kapsamaktadır (Kruse vd., 2015). Bu dijital dönüşüm, hasta memnuniyeti üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. Araştırmalar, dijital araçları etkili kullanan sağlık kurumlarında hasta memnuniyetinin daha yüksek olduğunu göstermektedir (Anhang Price vd., 2014). Özellikle çevrimiçi randevu sistemleri, mobil bildirimler, dijital tetkik sonuçları ve uzaktan konsültasyon uygulamaları, sağlık hizmetine duyulan güveni artırmakta ve bireylerin sağlık sistemine bağlılığını güçlendirmektedir (Melynk vd., 2014). Dijital hizmetler, hasta beklentilerinin hız, erişilebilirlik ve kişiselleştirme yönündeki eğilimlerini karşılamada etkili olmaktadır (Von Wedel vd., 2022).

Tele-sağlık uygulamaları, özellikle Covid-19 pandemisiyle birlikte hızla yaygınlaşmış ve hasta deneyimini dijital ortamda yeniden şekillendirmiştir. Video görüşmeleriyle yürütülen uzaktan muayeneler, hem zamandan hem de mekândan bağımsız hizmet sunarak hasta memnuniyetini artırmıştır (Monaghesh & Hajizadeh, 2020). Ayrıca, evde bakım alan yaşlı bireyler ya

da kronik hastalar için tele-sağlık uygulamaları, sağlık profesyonelleriyle sürekli etkileşimi mümkün kılarak güven duygusunu pekiştirmiştir (Shigekawa vd., 2018). Elektronik hasta portalları, dijital hasta deneyiminin önemli bir bileşenidir. Bu sistemler sayesinde bireyler kendi tıbbi kayıtlarına ulaşabilmekte, tedavi planlarını görebilmekte ve sağlık hizmeti sağlayıcılarıyla doğrudan iletişim kurabilmektedir (Ammenwerth vd., 2012). Özellikle hasta merkezli yaklaşıma önem veren sistemlerde, portal kullanımı, bireyin sağlık kararlarına aktif katılımını artırmakta; bu da memnuniyet düzeyine olumlu katkı sunmaktadır (Turvey vd., 2014).

Hasta memnuniyeti, yalnızca hizmet kalitesini değil; aynı zamanda tedavi uyumunu, hekim-hasta ilişkisini ve sağlık sistemine güven düzeyini de etkileyen kritik bir ölçüttür (Manary vd., 2013). Dijital araçlarla desteklenen hasta deneyimi, bu etkileşim boyutlarını güçlendirecek fırsatlar yaratmaktadır. Örneğin, dijital geribildirim sistemleri, hastaların memnuniyet düzeyini anlık olarak değerlendirmeyi mümkün kılmakta ve sağlık yöneticilerine hızlı iyileştirme kararları alma imkânı sunmaktadır (Tsang vd., 2022). Mobil sağlık (mHealth) uygulamaları da dijital hasta deneyiminin önemli bir parçası haline gelmiştir. Fiziksel aktivite, beslenme, uyku takibi gibi günlük sağlık davranışlarını izlemeye yarayan bu uygulamalar, bireylerin sağlıklarına daha bilinçli şekilde yaklaşımlarını sağlamaktadır (Nouri vd., 2020). Bununla birlikte, bazı uygulamalar ilaç hatırlatmaları, ruh sağlığı takibi ve hastane sonrası bakım süreçlerinde de etkilidir (Dennison vd., 2013). Mobil uygulamaların kullanıcı dostu tasarımı ve bireyselleştirilmiş içerikleri, memnuniyet düzeyini doğrudan etkilemektedir (Zhao vd., 2016).

Dijital deneyim yalnızca hastalar için değil, sağlık profesyonelleri için de kolaylaştırıcı bir etken olmuştur. Klinik bilgiye hızlı erişim, dijital karar destek sistemleri ve hastane içi iletişimin dijital ortama taşınması, süreç verimliliğini artırmış; dolaylı olarak hasta memnuniyetine olumlu yansımıştır (Khairat vd., 2018). Bu teknolojilerin, özellikle karmaşık hasta ihtiyaçlarının yönetildiği büyük sağlık kuruluşlarında etkinliği artmaktadır. Bununla birlikte dijital hasta deneyiminin geliştirilmesinde bazı engeller mevcuttur. Dijital eşitsizlik, yani internet erişimi veya dijital okuryazarlık düzeyi düşük bireylerin bu sistemlerden yeterince faydalanamaması önemli bir sorundur (Wang vd., 2022). Ayrıca bazı yaşlı bireyler dijital teknolojilere mesafeli yaklaşmakta, bu da dijital hizmetlerin yaygın etkisini sınırlayabilmektedir (Levy et al., 2015).

Veri güvenliği de dijital deneyim açısından kritik bir boyuttur. Hastaların kişisel sağlık verilerinin dijital ortamda işlenmesi, mahremiyet kaygılarını beraberinde getirmektedir. Sağlık kuruluşlarının bu konuda şeffaflık, güvenlik önlemleri ve bilgilendirme politikaları uygulaması, hasta güvenini kazanmak için elzemdir (Morley vd., 2020). Aynı zamanda yapay zekâ temelli dijital

sistemlerin şeffaflığı ve hesap verebilirliği de etik düzeyde tartışma konusudur (Gerke vd., 2020). Gelecekte dijital hasta deneyimi, artırılmış gerçeklik, yapay zekâ ile kişiselleştirme, sesli asistanlar, giyilebilir sağlık teknolojileri ve uzaktan hasta izleme sistemleri ile daha da ileri bir noktaya taşınacaktır (Blease vd., 2019). Bu gelişmeler, memnuniyet düzeylerini daha derinlemesine analiz etmeyi mümkün kılacak ve sağlık hizmeti sunumunda dinamik, hasta merkezli ve esnek yapılar oluşturacaktır. Ancak dijital araçların başarılı olması için sadece teknolojiye değil; aynı zamanda kültürel uyum, etik ilkeler, eğitim ve hasta katılımını esas alan yaklaşımlara da ihtiyaç duyulmaktadır.

3. Chatbot'lar ile 7/24 Hasta Desteği

Sağlık sektöründe dijitalleşmenin hız kazanması, hasta hizmetlerinin kapsamını ve niteliğini köklü biçimde değiştirmiştir. Özellikle yapay zekâ tabanlı sistemlerin yaygınlaşması, sağlık hizmetlerinin erişilebilirliğini artırmış ve hasta memnuniyetine doğrudan katkı sunmuştur. Chatbot sistemleri sağlık alanında 7 gün 24 saat kesintisiz destek sağlamak amacıyla geliştirilen en yenilikçi dijital araçlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Chatbot'lar, doğal dil işleme (NLP) tekniklerini kullanarak hastalarla metin veya sesli mesaj üzerinden iletişime geçebilen, bilgi sunabilen, yönlendirme yapabilen ve bazı durumlarda klinik karar destek sistemlerine entegre çalışabilen dijital asistanlardır (Miner vd., 2016; Brandtzaeg & Følstad, 2018).

Sağlık hizmetlerinde chatbot kullanımı, hasta etkileşimini kolaylaştırmak, sağlık bilgilerine erişimi demokratikleştirmek ve sağlık profesyonellerinin üzerindeki yükü azaltmak gibi çok yönlü katkılar sağlamaktadır (Laranjo vd., 2018). Chatbot sistemleri, özellikle hastane öncesi bilgilendirme, semptom sorgulama, randevu takibi, ilaç hatırlatmaları ve psikolojik destek gibi alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır (Safi vd., 2020). Bu sistemler aynı zamanda sağlık okuryazarlığı düşük bireyler için de anlaşılır, sade ve kullanıcı dostu bir arayüzle bilgiye erişim kolaylığı sunmaktadır (Bickmore et al., 2005). Yapılan araştırmalar, chatbot'ların hasta desteğinde etkin olduğunu göstermektedir. Örneğin, Bickmore ve Cassell (2005) tarafından geliştirilen "Laura" adlı sağlık danışmanı chatbot, hipertansiyon hastalarının tedaviye uyumlarını artırmış, düzenli ilaç kullanımını teşvik etmiştir. Aynı şekilde, IBM'in geliştirdiği Watson for Oncology adlı sistem, onkoloji hastalarında klinik kararlara yardımcı olacak şekilde tasarlanmış ve doktorlar ile entegre çalışmıştır (Chen vd., 2016). Bu tür sistemlerin yaygınlaşması, hasta ile sağlık kuruluşu arasındaki etkileşimi sadece mesai saatleriyle sınırlı olmaktan çıkarmış, 7/24 destek modelini mümkün kılmıştır (Bibault vd., 2019).

Covid-19 pandemisi sırasında chatbot'lar salgınla mücadelede önemli roller üstlenmiştir. Örneğin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından geliştirilen

WhatsApp tabanlı chatbot uygulaması, milyonlarca kullanıcıya virüs hakkında güvenilir bilgi sağlamış, yanlış bilgilendirmeyle mücadelede dijital bir kalkan işlevi görmüştür (WHO, 2020). ABD, Kanada ve Güney Kore gibi ülkelerde kamu sağlık otoriteleri chatbot'lar aracılığıyla semptom taraması, test yeri yönlendirmesi ve izolasyon önerileri sunmuştur (Espinoza vd., 2020). Chatbot'ların kullanıcı deneyimi açısından başarısı, hem teknolojik alt yapıya hem de içerik tasarımına bağlıdır. Kullanıcıların çoğu, empati kurabilen, kişiselleştirilmiş yanıtlar verebilen ve tıbbi bilgiyi anlaşılır biçimde sunan chatbot'larla daha uzun süreli ve etkili iletişim kurmaktadır (Ciechanowski vd., 2019). Özellikle duygusal destek sunan chatbot'lar, depresyon, anksiyete ve yalnızlık gibi durumlarda dijital terapötik araçlar olarak değerlendirilmektedir (Inkster vd., 2018; Fulmer vd., 2018). "Woebot" ve "Wysa" gibi yapay zekâ destekli psikolojik danışman chatbot'lar, bilişsel davranışçı terapi tekniklerini dijital ortamda sunarak, düşük maliyetli ve erişilebilir bir psikososyal destek modeli oluşturmuştur (Fitzpatrick vd., 2017).

Ancak chatbot uygulamalarının sınırlılıkları da göz ardı edilmemelidir. Chatbot'ların tıbbi teşhis koyma yetkinlikleri sınırlıdır ve etik açıdan bazı riskler barındırmaktadır. Yanlış yönlendirme, eksik bilgi verme veya mahremiyet ihlalleri, kullanıcı güvenliğini zedeleyebilir (Raval., 2020). Ayrıca, her bireyin teknolojiye erişim düzeyi, sağlık okuryazarlığı ve dijital etkileşim yeteneği farklı olduğu için tüm topluluklar açısından eşit etki yaratmak mümkün olmayabilir (Kocaballi vd., 2019). Veri güvenliği, chatbot sistemlerinin yaygınlaştırılmasında temel endişe alanlarından biridir. Kişisel sağlık bilgilerinin işlenmesi ve saklanması konularında şeffaflık ve mevzuata uygunluk (örneğin GDPR veya HIPAA) büyük önem taşımaktadır (Montenegro vd., 2019). Aynı zamanda bu sistemlerin sürekli izlenmesi, güncellenmesi ve yapay zekâ modellerinin etik çerçevede denetlenmesi gerekmektedir (Jungmann vd., 2019). Chatbot uygulamaları yalnızca hasta odaklı değil, sağlık profesyonellerine destek sunacak şekilde de geliştirilmektedir. Hemşireler ve doktorlar, klinik bilgiye hızlı erişim, hasta geçmişine dair otomatik raporlar ve uyarı sistemleriyle desteklenmektedir (Patrício vd., 2025). Özellikle acil servisler ve yoğun bakım ünitelerinde chatbot'lar, erken uyarı sistemleriyle entegre edilerek riskli hasta yönetimine katkı sağlayabilmektedir (Dingler vd., 2021).

Gelecekte chatbot sistemlerinin gelişiminde daha ileri düzey doğal dil işleme, duygusal zeka, çoklu dil desteği ve sesli asistan özelliklerinin öne çıkması beklenmektedir (Klopfenstein vd., 2017). Ayrıca yapay zekâ modellerinin klinik rehberlerle senkronize çalışabilmesi, chatbot'ların sadece bilgilendirme değil aynı zamanda karar destek süreçlerine entegre edilebilmesi açısından önem arz etmektedir (Bunz & Braghieri, 2022). Özetle, chatbot'lar hasta

desteğinde erişilebilirlik, hız, maliyet avantajı ve sürekli hizmet gibi açılardan değerli katkılar sunmakta; ancak güvenlik, etik, doğruluk ve kültürel uyum gibi yönlerden çok dikkatli planlanması gereken dijital sağlık bileşenleridir. Sağlık sistemleri bu dönüşümü insan-merkezli, şeffaf ve etik bir yaklaşımla yönetmeli; chatbot teknolojilerini sağlık çalışanları ile iş birliği içinde ve kullanıcı odaklı biçimde tasarlamalıdır.

4. Akıllı Hastane Kavramı

21. yüzyılda küresel sağlık sistemleri artan nüfus, kronik hastalıkların yaygınlaşması, yaşlı bireylerin oranındaki artış, sağlık çalışanı açığı ve maliyet baskıları gibi çok boyutlu zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklara etkili, sürdürülebilir ve hasta merkezli çözümler üretmek için dijital dönüşüm artık bir seçenek değil, zorunluluk haline gelmiştir. Akıllı hastane kavramı günümüz sağlık politikalarının ve stratejik sağlık yönetimi yaklaşımlarının merkezinde yer almaktadır (Sharma vd., 2019). Akıllı hastane, ileri dijital teknolojilerle desteklenen, bilgi sistemlerinin entegre biçimde çalıştığı, veri temelli karar verme süreçlerinin optimize edildiği ve hasta bakım süreçlerinin otomasyonla güçlendirildiği bir sağlık kurumu olarak tanımlanabilir (Aceto vd., 2018). Bu tür hastaneler sadece fiziksel mekanların teknolojiyle donatılması değil, aynı zamanda hizmet sunumunun dijitalleşmesi, süreçlerin yeniden tasarımı ve hasta güvenliği odaklı bir kültürel dönüşümü de içerir (Topol, 2019).

Akıllı hastanelerin temelinde yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, robotik sistemler ve mobil sağlık uygulamaları gibi yeni nesil teknolojiler yer almaktadır. Bu teknolojiler sağlık kuruluşlarında hem klinik karar destek sistemlerini güçlendirmekte hem de operasyonel verimliliği artırarak sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmektedir (Wang vd., 2018). Yapay zekâ destekli tanı sistemleri sayesinde hastalıkların erken teşhisi mümkün hale gelirken, sensör tabanlı uzaktan izleme sistemleri kronik hastalık yönetimini daha etkin kılmaktadır (Saba Raoof & Durai, 2022). Elektronik sağlık kayıtlarının bütünleşik biçimde kullanımı hasta verilerine anlık erişimi kolaylaştırmakta, böylece teşhis ve tedavi süreçlerinde zaman ve kaynak tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca hasta başı sistemlerle entegre çalışan mobil uygulamalar, bireylerin kendi sağlıklarını yönetebilmelerine olanak tanımakta, bu da önleyici sağlık hizmetlerini güçlendirmektedir (Ting vd., 2020).

Akıllı hastane uygulamaları birçok ülkede başarıyla hayata geçirilmiştir. Örneğin Güney Kore'deki Samsung Medical Center, hastane genelinde kullanılan sensörler ve RFID teknolojisi ile gerçek zamanlı hasta takibi sağlamakta; yapay zekâ algoritmaları ile yoğun bakım birimlerinde risk analizi yapılmaktadır (Ahsan & Siddique, 2022). İsrail'deki Sheba Medical Center, hasta verilerini büyük veri teknolojisi ile analiz ederek kişiselleştirilmiş

tedavi planları geliştirmektedir. ABD'deki Cleveland Clinic ise robotik cerrahi sistemler ve klinik karar destek sistemlerini entegre ederek hem hasta memnuniyetini hem de operasyonel verimliliği artırmıştır (Topol, 2019). Bu örnekler, akıllı hastanelerin sadece teknolojik değil, aynı zamanda yönetsel bir dönüşümü ifade ettiğini göstermektedir. Akıllı hastane sistemleri hasta güvenliğini artırma konusunda önemli katkılar sunmaktadır. Elektronik ilaç yönetimi sistemleri, ilaç hatalarını en aza indirirken, barkod uygulamaları ile doğru hasta-doğru ilaç-doğru doz uygulamaları garanti altına alınabilmektedir (Ting et al., 2019). Klinik karar destek sistemleri ise hekime tanı ve tedavi aşamalarında bilimsel temelli öneriler sunarak hata payını düşürmektedir (Wang et al., 2018). Yoğun bakım ünitelerinde kullanılan erken uyarı sistemleri sayesinde hasta durumundaki kritik değişiklikler önceden tespit edilebilmekte ve müdahale süresi hızlanmaktadır. Bu uygulamalar, hasta güvenliğini sağlarken aynı zamanda sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakta ve iş süreçlerini kolaylaştırmaktadır.

Yönetimsel açıdan bakıldığında akıllı hastaneler, veri odaklı stratejik karar alma süreçlerine olanak tanımaktadır. Büyük veri analitiği sayesinde hasta yoğunluğu, poliklinik zamanlaması, malzeme kullanımı ve hizmet maliyetleri gibi değişkenler analiz edilerek daha verimli bir kaynak yönetimi sağlanmaktadır (Ahsan & Siddique, 2022). Sağlık yöneticileri bu analizleri kullanarak insan gücü planlaması yapabilmekte, tıbbi cihazların bakım zamanlarını optimize edebilmekte ve lojistik süreçleri daha etkin biçimde organize edebilmektedir. Böylece sadece klinik süreçlerde değil, kurumsal düzeyde de kalite ve performans artışı mümkün olmaktadır. Aynı zamanda dijital geribildirim sistemleri ile hasta memnuniyeti verileri analiz edilmekte, hasta beklentilerine uygun hizmet iyileştirmeleri yapılabilmektedir (Sujatha vd., 2020). Ancak akıllı hastanelerin uygulanması bazı güçlükleri de beraberinde getirmektedir. Öncelikle yüksek kurulum maliyetleri birçok sağlık kuruluşu için önemli bir engeldir. Donanım, yazılım ve siber güvenlik yatırımları ciddi bütçeler gerektirir (Aceto vd., 2018). Ayrıca sağlık personelinin dijital sistemlere adaptasyonu zaman almakta, eğitim ihtiyacı doğurmaktadır. Teknolojiye karşı direnç gösteren personel grupları, sürecin yavaşlamasına neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra hasta verilerinin dijital ortamda saklanması veri gizliliği ve siber güvenlik risklerini beraberinde getirmektedir (Ting vd., 2020). Yapay zekâ destekli sistemlerin karar süreçlerine etkisi de etik ve hukuki tartışmaları gündeme taşımaktadır. Özellikle tıbbi sorumluluğun kimde olacağı, algoritmaların şeffaflığı ve hesap verebilirliği gibi konular güncelliğini korumaktadır (Topol, 2019).

Türkiye'de de akıllı hastane dönüşüm süreci hızla ilerlemektedir. Sağlık Bakanlığı, dijital hastane uygulamaları kapsamında HIMSS EMRAM (Electronic Medical Record Adoption Model) kriterlerine uygun dijitalleşme

süreçlerini teşvik etmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023). Bazı şehir hastaneleri HIMSS 6 ve 7 seviyesine ulaşmış; entegre sağlık bilgi sistemleri, dijital hasta izleme ve merkezi veri yönetim sistemleri kurularak süreçler modernize edilmiştir. Üniversite hastanelerinde ise akademik destekli yapay zekâ ve büyük veri projeleri yürütülmekte, TÜBİTAK destekli çalışmalarda dijital sağlık çözümleri geliştirilmektedir. Ancak kırsal bölgelerdeki hastanelerde ve bazı kamu kurumlarında hala dijital altyapı eksiklikleri, entegrasyon sorunları ve personel eğitim ihtiyaçları devam etmektedir. Bu nedenle dönüşümün tüm ülke genelinde homojen olarak sağlanabilmesi için stratejik planlamalara, finansal teşviklere ve insan kaynağı geliştirme politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte akıllı hastaneler daha da gelişerek kişiselleştirilmiş tedavi, uzaktan sağlık hizmetleri ve yapay zekâ tabanlı klinik karar sistemlerinin yaygın kullanımı ile sağlık hizmetlerinin tüm boyutlarını etkileyecektir. Bu dönüşümün başarılı olabilmesi için sadece teknolojik altyapının değil; aynı zamanda yönetim modelinin, yasal düzenlemelerin ve sağlık çalışanı eğitimlerinin de eşgüdümlü biçimde geliştirilmesi gerekmektedir. Akıllı hastane kavramı, sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği, hasta merkezli yaklaşımın güçlendirilmesi ve klinik kalitenin artırılması yönünde geleceğe dair umut vaat eden bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Topol, 2019).

5. Sağlık Kuruluşlarında Dijital Sistemler Üzerinden Dijital Dönüşüm Stratejileri

Sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini, etkinliğini ve hasta odaklılığını artırma yönündeki küresel eğilimler, sağlık kuruluşlarını dijital dönüşüm stratejilerini sistematik biçimde planlamaya zorlamaktadır. Dijital teknolojiler yalnızca destekleyici araçlar değil; aynı zamanda hizmet sunumunun niteliğini dönüştüren temel unsurlar hâline gelmiştir. Aşağıda sıralanan sistemler ve stratejiler, hem teknolojik uygulanabilirliği hem de yönetsel sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmiştir. Her bir strateji önerisi kullanım şeklini ve uygulanabilirliği üzerinde değerlendirmede bulunulmuştur.

a. Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR)

Elektronik Sağlık Kayıtları, hasta bilgilerinin dijital ortamda güvenli, hızlı ve paylaşılabılır biçimde depolanmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin başarısı, birlikte işlerliğe uygun veri standartlarının (HL7-FHIR, DICOM) benimsenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Türkiye’de e-Nabız gibi sistemlerle bu altyapı gelişmiş olmakla birlikte, hastaneler arası veri bütünlüğü hâlâ tam anlamıyla sağlanabilmiş değildir. EHR sistemleri, hastaların tıbbi geçmişini, teşhislerini, tedavi planlarını, laboratuvar sonuçlarını ve görüntüleme raporlarını dijital ortamda güvenli ve erişilebilir bir şekilde saklayan sistemlerdir. Klinik süreçlerin koordinasyonunu artırır, hasta güvenliğini destekler, gereksiz

tetkik ve tekrarları önler. Kurumlar arası veri paylaşımı için HL7-FHIR gibi standartlara uygun altyapılar kurulmalı, sağlık çalışanlarının sistem kullanım yetkinliği artırılmalıdır.

Kullanım şekli: Hastane bilgi yönetim sistemi (HBYS) içinde yapılandırılan EHR sistemleri, laboratuvar sonuçları, görüntüleme, reçeteler ve klinik notlar gibi verileri merkezi olarak bir araya getirir.

Uygulanabilirlik: Sistemin etkin çalışabilmesi için kullanıcı dostu ara yüzler, sağlık çalışanlarına yönelik eğitim programları ve bilişim güvenliği protokollerinin entegrasyonu gereklidir.

b. Klinik Karar Destek Sistemleri (CDSS)

Klinik karar destek sistemleri, hekimlere hasta tanısı, tedavi planlaması ve ilaç etkileşimlerinin önlenmesi konularında rehberlik eden, genellikle EHR ile entegre çalışan yazılımlardır. Hasta verilerine dayalı olarak hekime tanı, tedavi ve ilaç etkileşimleri konusunda öneriler sunan yazılımlardır. Hata oranlarını azaltır, kanıta dayalı kararları destekler ve müdahale sürelerini kısaltır. Stratejik açıdan CDSS sistemleri EHR ile entegre çalışmalı, kullanım protokolleri belirlenmeli ve klinisyen eğitimi sağlanmalıdır.

Kullanım şekli: Bu sistemler hasta geçmişi, laboratuvar sonuçları ve görüntüleme verilerini analiz ederek hekimlere önerilerde bulunur. Örneğin, sepsis riski bulunan bir hastada erken uyarı vererek hekimin müdahale süresini kısaltır.

Uygulanabilirlik: Özellikle yoğun bakım, acil servis ve dahiliye servislerinde etkili olan bu sistemler, yapay zekâ ve büyük veri ile beslendiğinde daha doğru ve zamanında müdahale sağlar. Ancak sağlık personelinin sistem önerilerine güven duyması ve aktif kullanımı teşvik edilmelidir.

c. Yapay Zekâ Destekli Görüntüleme Sistemleri

Yapay zekâ algoritmaları, radyolojik görüntüler başta olmak üzere medikal görsellerin analizinde giderek daha yüksek doğrulukla çalışmaktadır. Bu sistemler, özellikle dermatoloji, mamografi, patoloji gibi branşlarda kullanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmalarıyla çalışan, medikal görüntülerde anormallikleri tespit eden sistemlerdir. Radyoloji ve patolojide ön tanı süresini hızlandırır, tanısal doğruluğu artırır. Stratejik açıdan klinik karar desteği olarak kullanılmalı, algoritmaların güvenilirliği izlenmeli, etik değerlendirmeler yapılmalıdır.

Kullanım şekli: Derin öğrenme algoritmaları, yüz binlerce görüntü üzerinden eğitilerek anormal bulguları tespit eder ve önceliklendirir.

Uygulanabilirlik: Hekime nihai kararı bırakmak şartıyla, sistem önerileri klinik akışı hızlandırır. Türkiye’de kamu hastanelerinde bu uygulamalar henüz pilot düzeydedir. Genişletilmesi için altyapı yatırımı ve etik-kurumsal onay süreçleri gerekir.

d. IoT Tabanlı Hasta İzleme Sistemleri

Nesnelerin interneti teknolojisiyle çalışan hasta izleme sistemleri, hastaların yaşamsal belirtilerini anlık olarak izleyen cihazları kapsamaktadır. Bu sistemler yoğun bakım, yeni doğan ünitesi ve palyatif bakım gibi birimlerde hayati öneme sahiptir. Hastaların yaşamsal belirtilerini gerçek zamanlı izleyen ve merkezi sistemlere veri gönderen sensör tabanlı teknolojilerdir. Acil durumlara erken müdahale olanağı sağlar, özellikle yoğun bakım ve evde bakımda etkilidir. Bunun için de hastane genelinde güçlü ağ altyapısı kurulmalı, izleme sistemleri merkezi bir komuta merkezine bağlanmalıdır.

Kullanım şekli: Kalp atışı, solunum hızı, vücut ısısı gibi veriler sensörlerle algılanır ve merkezi sistemlere iletilir. Ani değişikliklerde alarm verir.

Uygulanabilirlik: IoT cihazlarının tüm hastane alanlarına yayılması için yüksek hızlı ağ altyapısı (WiFi 6, 5G) ve merkezi kontrol merkezleri kurulmalıdır. Aynı zamanda bakım-onarım döngüsü de dikkatle planlanmalıdır.

e. Tele-Sağlık ve Mobil Sağlık (mHealth)

Tele-sağlık uygulamaları, özellikle kırsal bölgelerdeki bireylerin sağlık hizmetine erişimini kolaylaştırırken, mobil sağlık uygulamaları bireyin kendi sağlığını yönetmesini sağlar. Kronik hastalık yönetiminde büyük rol oynar. Uzaktan sağlık hizmeti sunulmasını sağlayan video görüşmeler, mobil uygulamalar ve uzaktan takip sistemleridir. Kırsal ve dezavantajlı bölgelerde sağlık erişimini artırır, hasta-hekim etkileşimini kolaylaştırır. Dijital eşitsizlik giderilmesi açısından önemli bir stratejik araçtır. mHealth uygulamaları e-Nabız gibi ulusal sistemlerle entegre edilmelidir.

Kullanım şekli: Mobil uygulamalar hastaya ilaç saatini hatırlatır, semptom takibi yapar ve verileri hekime iletir. Video görüşmelerle hekim-hasta iletişimi kurulur.

Uygulanabilirlik: Sağlık Bakanlığı’nın e-Nabız sistemiyle entegrasyon mümkündür. Ancak dijital eşitsizlik (internet erişimi, cihaz eksikliği) giderilmeden bu sistemlerin yaygın etkisi sınırlı kalır.

f. Robotik Cerrahi ve Otomasyon Sistemleri

Robotik sistemler, cerrahi hassasiyeti artırırken, otomasyon sistemleri ilaç dağıtımı, hasta kabul ve laboratuvar süreçlerinde hata oranlarını düşürmektedir. Cerrahi müdahalelerde hassasiyet sağlayan robotik sistemler ve operasyonel

işlerde otomatik çalışan cihazlardır. Komplikasyon oranlarını azaltır, cerrahi süreçleri hızlandırır, personel yükünü hafifletir. Uygulanması içinde muhakkak eğitilmiş personel ve teknik destek altyapısı oluşturulmalı, süreçler etik kurullarca onaylanmalıdır.

Kullanım şekli: Da Vinci robotik cerrahi sistemleri, uzaktan kontrol edilen robot kolları ile ameliyatları daha küçük kesilerle gerçekleştirmeye olanak tanır.

Uygulanabilirlik: Kurulum maliyeti yüksek olsa da, eğitim hastaneleri ve şehir hastaneleri için uygundur. Cerrah eğitimleri ve teknik destek ağının oluşturulması gereklidir.

g. Dijital İlaç ve Envanter Yönetimi

İlaç ve malzeme stoklarının RFID ya da BLE teknolojisiyle izlenmesi, hem maliyet kontrolü hem hasta güvenliği açısından önemlidir. İlaç ve sarf malzeme stoklarının RFID ya da benzeri teknolojilerle dijital takibini sağlayan sistemlerdir. Stok kayıplarını önler, maliyet etkinliğini artırır, hasta güvenliğini destekler. Eczane otomasyonuna entegre edilmesi ile denetim mekanizmaları dijital ortama taşınacağı için çok önemli bir stok yöntemi halini alır. Bu da istatistik analiz imkanı sağlık hızlıca cevap olunması açısından kritik stratejiye sahiptir.

Kullanım şekli: Otomatik ilaç dolapları ve akıllı raf sistemleriyle ilaçların son kullanım tarihi, miktarı ve kullanım sıklığı izlenebilir.

Uygulanabilirlik: Hastane eczaneleri ve ameliyathanelerde pilot uygulamalarla başlanabilir. Kayıp ve israfı %20–40 azaltma potansiyeline sahiptir.

h. Chatbot Tabanlı Hasta İletişim Sistemleri

Chatbot'lar, hastalarla 7/24 etkileşim kurabilen dijital asistanlardır. Doğal dil işleme (NLP) teknikleriyle çalışırlar. Yapay zekâ ile çalışan, hastalarla metin veya sesli iletişim kurabilen otomatik dijital danışmanlardır. 7/24 iletişim sağlaması önemli bir stratejidir. Çağrı merkezlerinin yükünü azaltır, hasta memnuniyetini artırır. Uygulama açısından sağlık iletişim ilkelerine uygun içerikler geliştirilmelidir, manuel müdahale seçeneği entegre edilmelidir. Böylece daha hızlı dönütler alınacağından hasta iletişim sorunsalına kolaylık sağlayacaktır.

Kullanım şekli: Randevu takibi, sık sorulan sorular, ilaç hatırlatma gibi konularda hastayla metin tabanlı ya da sesli iletişim kurar.

Uygulanabilirlik: Özellikle çağrı merkezi yükünü azaltır. Etkin kullanım için empatik ve kullanıcı dostu arayüz tasarımı şarttır. Veri gizliliği protokolleri uygulanmalıdır.

i. Büyük Veri ve Tahmine Dayalı Analitik

Büyük veri analitiği, geçmiş hasta verileri üzerinden hastalık öngörüsü, yatış süreleri, yoğunluk tahmini gibi konularda karar desteği sunar. Geçmiş sağlık verilerinden yola çıkarak gelecekteki hasta ihtiyaçları ve sistem yüklerini öngören analiz teknikleridir. Kaynak planlaması, salgın tahmini ve bireyselleştirilmiş tedavi gibi alanlarda katkı sağlar. Bunun için de veri analitiği ekipleri oluşturulmalı, veri güvenliği ve etik ilkeler ön planda tutulmalıdır.

Kullanım şekli: Örneğin, grip salgınına yönelik hasta akış öngörülerini, nöbet planlamasında kullanılabilir.

Uygulanabilirlik: Kamu hastanelerinde bu uygulama için yeterli veri mevcuttur. Analist kadrosu ve veri yönetişimi politikalarının oluşturulması gereklidir.

j. Blockchain Tabanlı Sağlık Kayıtları

Blok zinciri teknolojisiyle tutulan kayıtlar, değiştirilmesi mümkün olmayan ve izlenebilir veri yapısı sayesinde hasta güvenliğini güçlendirir. Hasta verilerinin şifreli, dağıtık ve değiştirilemez şekilde saklandığı blok zinciri teknolojisidir. Veri bütünlüğü ve hasta gizliliği sağlar, kayıt manipülasyonlarını engeller. Stratejik bir veri güvenliği aracı olan Blockchain, yapılandırma ve entegre edilmesi ile verilerin güvenliği daha tatmin edilebilir düzeye erişecektir. Bunun içinde mutlaka yetersiz olan ve zaruri gereklilik olan hukuki düzenlemelerle desteklenmeli, kurumlar arası güvenli veri paylaşımı hedeflenmelidir.

Kullanım şekli: Hastanın tüm sağlık geçmişi, farklı kurumlar arasında şifreli ve izlenebilir şekilde paylaşılır.

Uygulanabilirlik: Özellikle sık kurum değiştiren kronik hastalarda veri bütünlüğünü sağlar. Ancak henüz hukuki çerçevesi netleşmemiştir; pilot uygulamalarla başlamak önerilir.

k. Siber Güvenlik Protokolleri

Dijital sistemlerin yaygınlaşması, siber saldırı risklerini de artırmıştır. Bu nedenle veri koruma stratejileri büyük önem taşır. Dijital sistemleri dış tehditlere ve veri sızıntılarına karşı koruyan strateji ve araçlardır. Hasta verilerinin gizliliğini korur, hizmet sürekliliğini garanti altına alır. Bu protokollerin uygulanabilmesi için mutlaka Zero Trust mimarisi benimsenmeli, personel siber güvenlik eğitimleri almalıdır.

Kullanım şekli: Zero Trust mimarisi, iki faktörlü doğrulama, şifreleme ve veri anonimleştirme teknikleri uygulanmalıdır.

Uygulanabilirlik: Her kurum için özel “siber güvenlik eylem planı” hazırlanmalı, yılda en az iki kez penetrasyon testi yapılmalıdır.

l. Giyilebilir Teknolojiler ve Uzaktan Takip

Giyilebilir cihazlar, kalp ritmi, adım sayısı, uyku kalitesi gibi verileri sürekli toplayarak hem hastanın hem hekimin farkındalığını artırır. Bileklik, saat, sensör gibi cihazlarla bireylerin sağlık verilerini sürekli izleyen sistemlerdir. Özellikle kronik hastalıklarda erken uyarı sistemi olarak çalışır, hasta katılımını artırır. Bu yapıların anlık takibi ve yönlendirmesi veri setlerinin tutulması açısından aile hekimliği sistemine entegre edilmeli, veri analiz sistemleriyle eş güdümlü çalışmalıdır.

Kullanım şekli: Akıllı saat, bileklik ya da göğüs bandı gibi cihazlar sağlık verilerini mobil uygulamaya iletir.

Uygulanabilirlik: Özellikle yaşlı ve kronik hastalarda etkin. Evde bakım hizmetleriyle entegre edilmelidir.

m. Dijital İkizler ile Enerji ve Operasyon Yönetimi

Dijital ikizler, hastane binasının dijital yansımasıdır. Isıtma, soğutma, trafik, temizlik gibi operasyonlar bu modelle optimize edilebilir. Gerçek hastane binasının dijital yansıması olup, kaynak kullanımının simülasyonlarla optimize edilmesini sağlar. Enerji verimliliği, maliyet düşüşü ve sürdürülebilirlik sağlar. Özellikle son dönem iklim değişikliklerinin getirdiği zaruri önlemler açısından bu uygulamalar daha göz önüne alınması gerekmektedir. Yeşil hastane vizyonuna uygun altyapılar oluşturulmalı, dijital ikiz modelleriyle sürekli izleme yapılmalıdır.

Kullanım şekli: Sensör verileriyle beslenen dijital model, enerji tüketimini analiz eder ve israf noktalarını tespit eder.

Uygulanabilirlik: Yeşil hastane projelerinde uygulanabilir. Başlangıçta birim bazlı kısıtlı alanlarda pilot olarak denenebilir.

n. Eğitim ve Dijital Okuryazarlık Platformları

Dijital sistemlerin verimli kullanımı için sağlık çalışanlarının sürekli eğitimi şarttır. Sağlık personelinin dijital sistemleri etkin ve etik biçimde kullanmasını amaçlayan eğitim çözümleridir. Sistemlerin verimli çalışması için kullanıcı yeterliliği hayati önemdedir. Yönetim ve uygulama açısından mutlaka sürekli eğitim programları, e-öğrenme modülleri ve dijital sağlık sertifika sistemleri kurulmalıdır.

Kullanım şekli: E-öğrenme modülleri, simülasyon senaryoları ve mikro sertifika programları uygulanmalıdır.

Uygulanabilirlik: Sağlık Bakanlığı ve üniversiteler ortak dijital sağlık akademileri kurabilir. Hemşireler için “Dijital Sağlık Sertifikası” önerilir.

Sonuç ve Değerlendirme

Sağlıkta dijital dönüşüm, çok boyutlu ve bütüncül bir süreçtir. Yukarıda detaylandırılan sistem ve stratejiler, yalnızca teknolojik araçlar değil; aynı zamanda hasta memnuniyetini, klinik kalitesini ve operasyonel verimliliği artıran yönetim modelleridir. Bu stratejilerin başarıya ulaşması; liderlik, stratejik planlama, personel eğitimi ve altyapı yatırımlarıyla mümkün olacaktır. Her sistem, sağlık kuruluşunun ölçeğine ve kaynaklarına göre aşamalı biçimde uygulanmalı ve geri bildirimlerle sürekli iyileştirilmelidir.

Sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi, yalnızca teknolojik bir dönüşüm değil; aynı zamanda hizmet sunumunun, yönetim anlayışının ve hasta etkileşiminin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılan bütüncül bir değişim sürecidir. Bu kitap bölümünde ayrıntılı biçimde ele alınan dijital sistemler –elektronik sağlık kayıtlarından yapay zekâ destekli tanı sistemlerine, nesnelerin internetinden robotik cerrahiye, mobil sağlık uygulamalarından blockchain tabanlı veri yönetimine kadar– günümüz sağlık kurumlarının stratejik kapasitesini artırmakta ve sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir.

Yapılan değerlendirmeler göstermektedir ki, dijital dönüşüm ancak teknik altyapının kurulmasıyla değil, aynı zamanda insan kaynağının yetkinleştirilmesi, yasal ve etik çerçevenin oluşturulması, kültürel adaptasyonun sağlanması ve güçlü bir yönetişim modeli ile mümkündür. Hastanelerdeki akıllı sistem entegrasyonu; verimlilik, hasta güvenliği, karar destek kapasitesi ve kaynak kullanımı gibi pek çok alanda somut katkılar sağlamaktadır. Ancak bu entegrasyonun sürdürülebilir kılınabilmesi için kurumların dijital olgunluk düzeylerine göre farklılaşan, aşamalı ve esnek stratejilere gereksinim duyulmaktadır.

Bu açıdan dijital sistemlerin uygulanabilirliğini artırmak için önerilen stratejilerin başında şunlar gelmektedir:

- Pilot uygulamalarla başlamak,
- Veri güvenliğine yönelik özel politika geliştirmek,
- Sağlık çalışanlarına yönelik dijital okuryazarlık eğitimlerini zorunlu hâle getirmek,
- Hasta merkezli tasarım anlayışıyla sistemleri uyarlamak,
- Ulusal ve uluslararası entegrasyon standartlarına (HL7, FHIR, GDPR, EHDS vb.) uygunluk sağlamak,

- Teknoloji firmaları, üniversiteler ve kamu otoriteleri arasında iş birliği geliştirmek.

Sonuç olarak, dijital dönüşüm yalnızca dijital araçları satın alarak değil, bu araçların örgütsel kültüre entegre edilmesiyle başarıya ulaşabilir. Teknolojiyi sağlık hizmetlerinin merkezine yerleştiren bu paradigma, hem hasta memnuniyetini hem de sağlık çalışanlarının iş doyumunu artıracak güçlü bir potansiyele sahiptir. Gelecekte, kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları, uzaktan tedavi çözümleri, yapay zekâ ile desteklenen yönetsel kararlar ve sürdürülebilir akıllı hastane modelleri, sağlık hizmetlerinin ana omurgasını oluşturacaktır.

Sağlık yöneticilerine, politika yapıcılara ve akademisyenlere düşen görev; dijital sistemleri sadece teknik araçlar olarak değil, aynı zamanda stratejik birer değer üretim mekanizması olarak ele almak ve bu anlayışı kurumsal düzeyde yapılandırmaktır.

Kaynakça

- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2018). The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 107, 125-154.
- Agarwal, R., Gao, G., DesRoches, C., & Jha, A. K. (2010). Research commentary—The digital transformation of healthcare: Current status and the road ahead. *Information systems research*, 21(4), 796-809.
- Ahsan, M. M., & Siddique, Z. (2022). Industry 4.0 in Healthcare: A systematic review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(1), 100079.
- Ammenwerth, E., Schnell-Inderst, P., & Hoerbst, A. (2012). The impact of electronic patient portals on patient care: a systematic review of controlled trials. *Journal of medical Internet research*, 14(6), e2238.
- Anhang Price, R., Elliott, M. N., Zaslavsky, A. M., Hays, R. D., Lehrman, W. G., Rybowski, L., ... & Cleary, P. D. (2014). Examining the role of patient experience surveys in measuring health care quality. *Medical Care Research and Review*, 71(5), 522-554.
- Bibault, J. E., Chaix, B., Guillemassé, A., Cousin, S., Escande, A., Perrin, M., ... & Brouard, B. (2019). A chatbot versus physicians to provide information for patients with breast cancer: blind, randomized controlled noninferiority trial. *Journal of medical Internet research*, 21(11), e15787.
- Bickmore, T., & Cassell, J. (2005). Social dialogue with embodied conversational agents. *Advances in natural multimodal dialogue systems*, 23-54.
- Blease, C., Kaptchuk, T. J., Bernstein, M. H., Mandl, K. D., Halamka, J. D., & DesRoches, C. M. (2019). Artificial intelligence and the future of primary care: exploratory qualitative study of UK general practitioners' views. *Journal of medical Internet research*, 21(3), e12802.
- Brandtzaeg, P. B., & Følstad, A. (2018). Chatbots: changing user needs and motivations. *interactions*, 25(5), 38-43.
- Buntin, M. B., Burke, M. F., Hoaglin, M. C., & 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.
- Bunz, M., & Braghieri, M. (2022). The AI doctor will see you now: assessing the framing of AI in news coverage. *AI & society*, 37(1), 9-22.
- Carayon, P., & Hoonakker, P. (2019). Human factors and usability for health information technology: old and new challenges. *Yearbook of medical informatics*, 28(01), 071-077.
- Chen, Y., Argentinis, J. E., & Weber, G. (2016). IBM Watson: how cognitive computing can be applied to big data challenges in life sciences research. *Clinical therapeutics*, 38(4), 688-701.
- Ciechanowski, L., Przegalinska, A., Magnuski, M., & Gloor, P. (2019). In the shades of the uncanny valley: An experimental study of human–chatbot interaction. *Future Generation Computer Systems*, 92, 539-548.
- Dennison, L., Morrison, L., Conway, G., & Yardley, L. (2013). Opportunities and challenges for smartphone applications in supporting health behavior change: qualitative study. *Journal of medical Internet research*, 15(4), e2583.
- Dingler, T., Kwasnicka, D., Wei, J., Gong, E., & Oldenburg, B. (2021). The use and promise of conversational agents in digital health. *Yearbook of Medical Informatics*, 30(01), 191-199.
- Espinoza, J., Crown, K., & Kulkarni, O. (2020). A guide to chatbots for COVID-19 screening at pediatric health care facilities. *JMIR public health and surveillance*, 6(2), e18808.
- 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.

- Fitzpatrick, K. K., Darcy, A., & Vierhile, M. (2017). Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): a randomized controlled trial. *JMIR mental health*, 4(2), e7785.
- Fulmer, R., Joerin, A., Gentile, B., Lakerink, L., & Rauws, M. (2018). Using psychological artificial intelligence (Tess) to relieve symptoms of depression and anxiety: randomized controlled trial. *JMIR mental health*, 5(4), e9782.
- Gerke, S., Minssen, T., & Cohen, G. (2020). Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. In *Artificial intelligence in healthcare* (pp. 295-336). Academic Press.
- Inkster, B., Sarda, S., & Subramanian, V. (2018). An empathy-driven, conversational artificial intelligence agent (Wysa) for digital mental well-being: real-world data evaluation mixed-methods study. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(11), e12106.
- Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE access*, 3, 678-708.
- Jungmann, S. M., Klan, T., Kuhn, S., & Jungmann, F. (2019). Accuracy of a chatbot (Ada) in the diagnosis of mental disorders: comparative case study with lay and expert users. *JMIR formative research*, 3(4), e13863.
- Khairat, S., Marc, D., Crosby, W., & Al Sanousi, A. (2018). Reasons for physicians not adopting clinical decision support systems: critical analysis. *JMIR medical informatics*, 6(2), e8912.
- Klopfenstein, L. C., Delpriori, S., Malatini, S., & Bogliolo, A. (2017, June). The rise of bots: A survey of conversational interfaces, patterns, and paradigms. In *Proceedings of the 2017 conference on designing interactive systems* (pp. 555-565).
- Kocaballi, A. B., Berkovsky, S., Quiroz, J. C., Laranjo, L., Tong, H. L., Rezazadegan, D., ... & Coiera, E. (2019). The personalization of conversational agents in health care: systematic review. *Journal of medical Internet research*, 21(11), e15360.
- Kruse, C. S., Argueta, D. A., Lopez, L., & Nair, A. (2015). Patient and provider attitudes toward the use of patient portals for the management of chronic disease: a systematic review. *Journal of medical Internet research*, 17(2), e40.
- Laranjo, L., Dunn, A. G., Tong, H. L., Kocaballi, A. B., Chen, J., Bashir, R., ... & Coiera, E. (2018). Conversational agents in healthcare: a systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 25(9), 1248-1258.
- Levy, H., Janke, A. T., & Langa, K. M. (2015). Health literacy and the digital divide among older Americans. *Journal of general internal medicine*, 30, 284-289.
- Manary, M. P., Boulding, W., Staelin, R., & Glickman, S. W. (2013). The patient experience and health outcomes. *New England Journal of Medicine*, 368(3), 201-203.
- Melnyk, B. M., Gallagher-Ford, L., Long, L. E., & Fineout-Overholt, E. (2014). The establishment of evidence-based practice competencies for practicing registered nurses and advanced practice nurses in real-world clinical settings: Proficiencies to improve healthcare quality, reliability, patient outcomes, and costs. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 11(1), 5-15.
- Miner, A. S., Milstein, A., Schueller, S., Hegde, R., Mangurian, C., & Linos, E. (2016). Smartphone-based conversational agents and responses to questions about mental health, interpersonal violence, and physical health. *JAMA internal medicine*, 176(5), 619-625.
- Monaghesh, E., & Hajizadeh, A. (2020). The role of telehealth during COVID-19 outbreak: a systematic review based on current evidence. *BMC public health*, 20, 1-9.
- Montenegro, J. L. Z., da Costa, C. A., & da Rosa Righi, R. (2019). Survey of conversational agents in health. *Expert Systems with Applications*, 129, 56-67.
- Morley, J., Machado, C. C., Burr, C., Cows, J., Joshi, I., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: a mapping review. *Social science & medicine*, 260, 113172.
- Nouri, S., Khoong, E. C., Lyles, C. R., & Karliner, L. (2020). Addressing equity in telemedicine for chronic disease management during the Covid-19 pandemic. *NEJM Catalyst Innovations in Care Delivery*, 1(3).

- Ohannessian, R., Duong, T. A., & Odone, A. (2020). Global telemedicine implementation and integration within health systems to fight the COVID-19 pandemic: a call to action. *JMIR public health and surveillance*, 6(2), e18810.
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9, 1-17.
- Patricio, L., Costa, C., Silva, J., Varela, L., Silveira, Z., & Cruz-Cunha, M. M. (2025). Chatbot Framework for Emergency Medical Care Flow: Case Study. *Procedia Computer Science*, 256, 696-705.
- Quathem, V. K. (2025) European Health Data Space Published, <https://www.globalpolicywatch.com/2025/03/european-health-data-space-published/> Erişim Tarihi: 04.05.2025
- Raval, H. (2020). Limitations of existing chatbot with analytical survey to enhance the functionality using emerging technology. *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 7(2).
- Ristevski, B., & Chen, M. (2018). Big data analytics in medicine and healthcare. *Journal of integrative bioinformatics*, 15(3), 20170030.
- Rumbold, J. M. M., & Pierscionek, B. (2017). The effect of the general data protection regulation on medical research. *Journal of medical Internet research*, 19(2), e47.
- Saba Raoof, S., & Durai, M. S. (2022). A comprehensive review on smart health care: applications, paradigms, and challenges with case studies. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2022(1), 4822235.
- Safi, Z., Abd-Alrazaq, A., Khalifa, M., & Househ, M. (2020). Technical aspects of developing chatbots for medical applications: scoping review. *Journal of medical Internet research*, 22(12), e19127.
- Shaping Europe's digital future, (2024) AI Act, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai> Erişim Tarihi: 04.05.2025
- Sharma, L., Garg, P. K., & Khatri, S. K. (2019). Smart E-healthcare with internet of things: current trends, challenges, solutions, and technologies. In *From visual surveillance to internet of things* (pp. 215-234). Chapman and Hall/CRC.
- Shigekawa, E., Fix, M., Corbett, G., Roby, D. H., & Coffman, J. (2018). The current state of telehealth evidence: a rapid review. *Health Affairs*, 37(12), 1975-1982.
- Shortliffe, E. H., & Sepúlveda, M. J. (2018). Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *Jama*, 320(21), 2199-2200.
- Sujatha, R., Ephzibah, E. P., & Dharinya, S. S. (2020). Smart health care development: Challenges and solutions. *Role of edge analytics in sustainable smart city development: Challenges and solutions*, 1-20.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2023). Dijital Hastane Uygulamaları. <https://sbsgm.saglik.gov.tr>
- Ting, D. S. W., Carin, L., Dzau, V., & Wong, T. Y. (2020). Digital technology and COVID-19. *Nature medicine*, 26(4), 459-461.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Tsang, J. Y., Peek, N., Buchan, I., van der Veer, S. N., & Brown, B. (2022). Systematic review and narrative synthesis of computerized audit and feedback systems in healthcare. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 29(6), 1106-1119.
- Turvey, C., Klein, D., Fix, G., Hogan, T. P., Woods, S., Simon, S. R., ... & Nazi, K. (2014). Blue Button use by patients to access and share health record information using the Department of Veterans Affairs' online patient portal. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 21(4), 657-663.
- Özşahin, F. (2024). Sağlıkta dijital dönüşüm. *Sağlık Yönetiminde Teknolojik Yaklaşımlar-I*, 147.

- Von Wedel, P., Hagist, C., Liebe, J. D., Esdar, M., Hübner, U., & Pross, C. (2022). Effects of hospital digitization on clinical outcomes and patient satisfaction: nationwide multiple regression analysis across German hospitals. *Journal of medical Internet research*, 24(11), e40124.
- Wang, T., Giunti, G., Melles, M., & Goossens, R. (2022). Digital patient experience: umbrella systematic review. *Journal of medical Internet research*, 24(8), e37952.
- Wang, Y., Kung, L., Wang, W. Y. C., & Cegielski, C. G. (2018). An integrated big data analytics-enabled transformation model: Application to health care. *Information & Management*, 55(1), 64-79.
- Wang, Y., Kung, L., Wang, W. Y. C., & Cegielski, C. G. (2018). An integrated big data analytics-enabled transformation model: Application to health care. *Information & Management*, 55(1), 64-79.
- Wolf PhD, C. P. X. P., Jason, A., Niederhauser DrPH, R. N., Marshburn PhD, R. N., & LaVela PhD, M. P. H. (2014). Defining patient experience. *Patient experience journal*, 1(1), 7-19.
- Wolff, J. L., Wec, A., Peereboom, D., Gleason, K. T., Amjad, H., Burgdorf, J. G., ... & Lum, H. D. (2024). *Care partners and consumer health information technology: A framework to guide systems-level initiatives in support of digital health equity* (Vol. 8, p. e10408).
- Yang, G. Z., Cambias, J., Cleary, K., Daimler, E., Drake, J., Dupont, P. E., ... & Taylor, R. H. (2017). Medical robotics—Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy. *Science robotics*, 2(4), eaam8638.
- Zhao, J., Freeman, B., & Li, M. (2016). Can mobile phone apps influence people's health behavior change? An evidence review. *Journal of medical Internet research*, 18(11), e287.

SİBER GÜVENLİK VE SAĞLIK VERİLERİNİN KORUNMASI

Kübra KARABULUT MERAL¹

1. GİRİŞ

Dijitalleşmenin etkisiyle sağlık sektörü köklü bir dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşüm, sağlık hizmetlerinde önemli kolaylıklar sağlamakla birlikte, beraberinde ciddi siber güvenlik riskleri de taşımaktadır. Elektronik sağlık kayıtları (EHR), tele-sağlık uygulamaları ve uzaktan teşhis sistemleri, hizmet kalitesini artırsa da hasta verilerinin gizliliği açısından yeni tehdit alanları yaratmıştır. Bireylerin tıbbi geçmişleri, genetik profilleri ve diğer hassas bilgilerini içeren sağlık verileri, gizlilik ihlalleri sonucunda geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilmektedir (Kessler, 2021). Sargın (2021), sağlık sistemlerinde yaşanan güvenlik ihlallerinin, hastane kayıtları, tıbbi cihazlar ve kişisel sağlık bilgilerinin tehlikeye girmesiyle sonuçlanabileceğini vurgulamaktadır. Sahip oldukları veri niteliği itibarıyla sağlık kuruluşları, siber suçlular için cazip hedefler hâline gelmektedir. Özellikle fidye yazılımı saldırıları ve veri sızıntıları, sağlık hizmetlerinin sürekliliğini tehlikeye atmakta ve hasta güvenliğini doğrudan tehdit etmektedir (Verizon, 2023).

Sağlık sektörünü hedef alan en yaygın siber tehdit türlerinden biri fidye yazılımlarıdır (ransomware). 2021 yılına ait veriler, sağlık alanına yönelik fidye yazılımı saldırılarında %755 oranında artış yaşandığını ortaya koymuştur (SonicWall, 2022). Bu saldırılar, hem veri gizliliğini riske atmakta hem de sağlık hizmetlerinde aksamalara neden olmaktadır. Nitekim, 2017 yılında gerçekleşen WannaCry saldırısı, İngiltere Ulusal Sağlık Servisi'nin (NHS) operasyonlarını aksatmış ve binlerce hastanın hizmete erişimini engellemiştir (Martin et al., 2018).

Siber tehditler yalnızca fidye yazılımları ile sınırlı kalmamaktadır. Yapay zekâ (YZ) destekli saldırılar ile nesnelerin interneti (IoT) cihazlarına yönelik güvenlik açıkları, sağlık kuruluşları için giderek artan ölçüde risk

oluşturmaktadır. Yapay zekâ temelli ortalama saldırıları, kişiselleştirilmiş yapıları sayesinde geleneksel güvenlik sistemlerini aşabilirken; IoT cihazları ise çoğu zaman yeterli güvenlik standartlarına sahip olmamaları nedeniyle saldırılara karşı savunmasızdır (Preçi & Simms, 2022; He et al., 2021). IoT teknolojisinin, güvenlik zincirinin en zayıf halkasını temsil etmesi, sağlık sistemleri genelinde geniş kapsamlı güvenlik açıklarının ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. ENISA'nın 2023 tarihli raporu, sağlık hizmetlerine yönelik siber saldırıların %54'ünün fidye yazılımlarından kaynaklandığını ve en çok hastanelerin hedef alındığını göstermektedir (ENISA, 2023).

Söz konusu tehdit ortamı, yalnızca teknik önlemlerle bertaraf edilememekte; aynı zamanda hukuki ve yönetsel düzenlemeleri de gerekli kılmaktadır. Sağlık verilerinin korunmasına ilişkin düzenlemeler, ulusal ve uluslararası düzeyde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Avrupa Birliği'nin 2018 yılında yürürlüğe koyduğu Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), kişisel verilerin işlenmesi ve korunmasıyla ilgili kapsamlı yükümlülükler getirmiştir. GDPR kapsamında sağlık verileri “özel nitelikli kişisel veriler” arasında değerlendirilmekte ve yalnızca belirli şartlar altında işlenmesine izin verilmektedir (European Parliament and Council, 2016). Türkiye’de ise 2016 yılında yürürlüğe giren Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), sağlık verilerinin işlenmesi ve saklanmasına yönelik katı kurallar öngörmekte ve veri sorumlularına teknik ve yönetsel yükümlülükler getirmektedir (KVKK, 2016). Bu düzenlemeler, veri gizliliğini sağlamanın yanı sıra, sağlık kuruluşlarına idari ve mali açıdan da ciddi sorumluluklar yüklemektedir.

Güncel araştırmalar, sağlık sektöründeki veri ihlallerinin diğer sektörlere kıyasla çok daha yüksek maliyetlerle sonuçlandığını ortaya koymaktadır. IBM'in 2022 Veri İhlali Maliyetleri Raporu'na göre, sağlık sektöründe gerçekleşen tek bir veri ihlalinin ortalama maliyeti 10 milyon ABD dolarını aşmaktadır (IBM Security, 2022). Bu durum, veri güvenliğinin yalnızca yasal bir zorunluluk olmadığını; aynı zamanda önemli bir ekonomik gereklilik olduğunu da göstermektedir. Örneğin, GDPR kapsamındaki ihlallerde şirketler, yıllık cirolarının %4'üne kadar para cezası ile karşı karşıya kalabilirken; KVKK çerçevesinde ise yüz binlerce liraya ulaşan idari yaptırımlar söz konusu olabilmektedir. Öte yandan, ENISA ve Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), sağlık sektörüne yönelik olarak yayımladıkları rehberlerle, karşı karşıya kalınan risklerin azaltılması amacıyla iyi uygulama standartları belirlemektedir (ENISA, 2023; ISO, 2022).

Sonuç olarak, sağlık sektöründe siber güvenlik, gizliliğin korunması, teknolojik altyapının yönetimi ve mevzuata uyum gibi çok boyutlu ve iç içe geçmiş bir sorun alanı olarak ele alınmalıdır. Dijitalleşmenin sunduğu kolaylıklar, aynı zamanda sağlık verilerinin yetkisiz erişim, sızıntı ve saldırılarla

karşı karşıya kalma riskini artırmaktadır. Bu gerçeklik, sağlık kurumlarının yalnızca teknik altyapılarını güçlendirmelerini değil; aynı zamanda yönetsel ve hukuki güvenlik önlemlerini de sistematik biçimde uygula

2. VERİ İHLALLERİNE KARŞI ÖNLEMLER

Dijitalleşmenin hız kazandığı sağlık sektöründe, kişisel verilerin korunması her geçen gün daha kritik bir öncelik hâline gelmektedir. Sağlık kuruluşları, hastaların tıbbi geçmişleri, genetik profilleri ve sigorta bilgileri gibi son derece hassas verileri işlemekte ve saklamaktadır. Bu tür verilerin taşıdığı yüksek gizlilik seviyesi, onları siber saldırganlar açısından cazip hedefler haline getirmektedir. Dolayısıyla yaşanan veri ihlalleri, yalnızca hasta mahremiyetini tehdit etmekle kalmayıp, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin sürekliliği ve hasta güvenliği açısından da ciddi riskler doğurmaktadır (IBM Security, 2023).

2023 yılına ait bir araştırmada, sağlık sektöründe meydana gelen veri ihlallerinin ortalama maliyetinin 10,93 milyon ABD doları olduğu tespit edilmiştir; bu değer, diğer sektörlerdeki ihlal maliyetlerinin oldukça üzerinde yer almaktadır (IBM Security, 2023). Mevcut tehdit düzeyinin bu denli artması, sağlık kuruluşlarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda yönetsel ve hukuki düzeyde de kapsamlı güvenlik stratejileri geliştirmelerini zorunlu hâle getirmiştir (Chigada & Madzinga, 2021). Yüksek risk düzeyi ve artan maliyet baskısı, sektörde bütüncül bir veri koruma yaklaşımının benimsenmesini gerektirmektedir.

Söz konusu gereklilikler ışığında, etkili bir veri güvenliği stratejisinin yalnızca teknolojik tedbirlerle sınırlı kalmaması; aynı zamanda kurumsal politikaların oluşturulması, çalışanların farkındalık düzeyinin artırılması ve yasal düzenlemelere tam uyumun sağlanması gibi çok boyutlu unsurları içermesi beklenmektedir. Aşağıda, sağlık sektöründe veri ihlallerine karşı alınması gereken başlıca önlemler, dört temel kategori altında sistematik biçimde ele alınmaktadır.

2.1. Teknik Önlemler

Teknik önlemler, sağlık verilerinin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini güvence altına almayı amaçlayan temel güvenlik katmanlarından biridir. Şifreleme, çok faktörlü kimlik doğrulama ve ağ güvenliği uygulamaları gibi müdahaleler, veri ihlali riskini önemli ölçüde azaltmaktadır (Sittig & Singh, 2016; World Economic Forum, 2021). Buna karşın, yazılım ve sistem güncellemelerinin ihmal edilmesi, sağlık kuruluşlarında ciddi güvenlik açıklarına yol açabilmektedir (Verizon, 2023).

- **Şifreleme (encryption)**, hassas verilerin yalnızca yetkili kişiler tarafından erişilebilir olmasını sağlamak amacıyla, bu verilerin özel

algoritmalarla okunamaz bir biçime dönüştürülmesidir. Modern sağlık bilgi sistemlerinde, verilerin hem iletim sürecinde (in transit) hem de depolandığı aşamada (at rest) şifrelenmesi, güvenliğin sağlanmasında temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (Sittig & Singh, 2016). ISO tarafından yayımlanan ISO/IEC 27001:2022 standardı, sağlık hizmeti sunan kurumların bilgi güvenliği yönetim sistemlerine şifreleme mekanizmalarını entegre etmelerini sistematik bir uygulama biçiminde ele almaktadır (ISO, 2022)

- **Çok faktörlü kimlik doğrulama (MFA)**, yalnızca kullanıcı adı ve parola kombinasyonuna dayanan geleneksel doğrulama yöntemlerinin güvenlik açıklarını gidermek üzere geliştirilmiş ek bir kimlik doğrulama katmanıdır. Bu sistemde, kullanıcı kimliği; mobil bildirim, biyometrik veri veya donanımsal anahtar gibi ikinci bir unsur aracılığıyla teyit edilir. Söz konusu yöntem, özellikle hesap ele geçirme girişimlerinin engellenmesinde yüksek bir başarı oranı göstermektedir (World Economic Forum, 2021). 2022 yılına ilişkin raporlar, MFA sistemlerini uygulamaya koyan sağlık kuruluşlarının kimlik avı (phishing) saldırılarına karşı yaklaşık %90 oranında daha az maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, MFA'nın yalnızca teorik düzeyde değil, pratik uygulamalarda da etkili bir savunma mekanizması sunduğunu göstermektedir.
- **Ağ güvenliği**, sağlık verilerinin güvenliğini korumada kritik bir savunma katmanı olarak kabul edilmektedir. Sağlık kurumlarının ağ altyapılarını katmanlara ayırmaları, bir siber saldırı durumunda tehdidin tüm ağa yayılmasını önlemekte etkili bir strateji sunar. Ağ güvenliğinin yanında güvenlik duvarları ve saldırı tespit/önleme sistemleri de ağ üzerinde oluşabilecek herhangi bir saldırı durumunu erken tespit etmede yardımcı olmaktadır (ENISA, 2023). Örneğin, 2017 yılında gerçekleşen WannaCry fidye yazılımı saldırısında, İngiltere Ulusal Sağlık Hizmeti (NHS), ağ güvenliği eksiklikleri ve sistem güncellemelerinin yapılmaması nedeniyle ciddi operasyonel aksaklıklar yaşamış ve binlerce hastanın sağlık hizmetine erişimi sekteye uğramıştır (Martin et al., 2018). Bu tür olaylar, güçlü bir ağ güvenliği altyapısının sadece veri gizliliğini korumakla kalmayıp, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin sürekliliğini ve hasta güvenliğini sağlamak açısından da hayati bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır.
- **Veri sızıntısı önleme (Data Loss Prevention – DLP)**, teknolojileri, özellikle mobil cihazların ve bulut tabanlı uygulamaların yaygınlaşmasıyla birlikte sağlık sektöründe veri güvenliği açısından kritik bir rol üstlenmiştir. Bu sistemler, veri akışlarını gerçek zamanlı olarak izleyerek yetkisiz erişim, dışa aktarım ve paylaşım risklerini

azaltmayı hedefler. Ponemon Institute'un (2021) verilerine göre, DLP çözümlerini uygulayan sağlık kuruluşlarında yaşanan veri ihlallerinin oranı, diğer kuruluşlara kıyasla yaklaşık %40 daha düşüktür. Bu tür teknolojilerin etkili olabilmesi için, yalnızca teknik bir müdahale olarak değil; kurumsal düzeyde geliştirilen kapsamlı güvenlik politikalarının ayrılmaz bir parçası olarak ele alınması gerektiği ifade edilmektedir. Nitekim Korucu (2021), DLP sistemlerinin etkisini artırmanın yolunun, bu teknolojilerin bütüncül güvenlik stratejilerine entegre edilmesinden geçtiğini vurgulamaktadır.

- **Yama yönetimi ve sistem güncellemeleri**, sağlık sektöründeki siber güvenlik açıklarının kapatılmasında temel bir savunma aracı niteliğindedir. Verizon'un 2023 tarihli Siber Güvenlik Raporu'nda, sağlık alanında gerçekleşen veri ihlallerinin yaklaşık %25'inin, zamanında uygulanmayan yazılım güncellemelerinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Verizon, 2023). Yazılım ve donanım bileşenlerinin düzenli olarak güncellenmesi, bu tür açıklardan kaynaklanan güvenlik ihlallerini önlemenin yanı sıra, sağlık kuruluşları açısından operasyonel sürdürülebilirliği sağlamanın da vazgeçilmez bir unsuru olarak değerlendirilmektedir. Bu uygulamalar yalnızca teknik bir gereklilik değil; aynı zamanda kurumsal güvenlik politikalarının sürekliliğini destekleyen yönetsel bir sorumluluk olarak kabul görmektedir.

2.2. Yönetsel ve Organizasyonel Önlemler

Teknik siber güvenlik önlemlerinin işlevselliği, yalnızca altyapı yatırımlarına değil, aynı zamanda güçlü yönetsel ve organizasyonel yapılara da bağlıdır. Sağlık kuruluşlarında risk analizi süreçleri, potansiyel tehditlerin önceden belirlenmesini ve bu tehditlere karşı önleyici stratejilerin geliştirilmesini mümkün kılar (Kessler, 2021). Güvenliğin sürdürülebilir biçimde sağlanabilmesi, yalnızca teknik çözümlerle değil; açıkça tanımlanmış güvenlik politikaları, görev ve sorumluluk paylaşımı ile acil durum senaryolarına yönelik hazırlık planlarının oluşturulmasıyla da ilişkilidir.

Kurumsal düzeyde yapılandırılmış bu tür yönetsel önlemlerin, sağlık hizmetlerinde bilgi güvenliğini doğrudan güçlendirdiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (İleri, 2017). Sağlık sektöründe benimsenebilecek temel yönetsel ve organizasyonel siber güvenlik stratejileri aşağıda sistematik biçimde sunulmaktadır.

- **Bilgi güvenliği politikaları**, sağlık kurumlarında veri erişimini düzenleyen temel ilkeleri ve prosedürleri belirler. Hangi bilgilere kimlerin, hangi koşullar altında ve hangi yöntemlerle erişebileceğini

açık biçimde tanımlayan bu politikalar, veri yönetiminin sistematik bir çerçevede yürütülmesini sağlar (İleri, 2018).

- **Minimum ayrıcalık ilkesi**, çalışanların yalnızca görev tanımları doğrultusunda ihtiyaç duydukları verilere erişmesini esas alır. Bu yaklaşım, veri sızıntısı ve yetkisiz erişim risklerinin azaltılmasında etkili bir kontrol mekanizması sunar (ISO, 2022).
- **Veri yedekleme ve felaket kurtarma planları**, sistem arızaları veya siber saldırılar sonucunda oluşabilecek bilgi kayıplarını önlemeye yönelik önlemler bütünüdür. HIPAA (2022) tarafından önerilen “3-2-1” kuralı, verilerin üç kopyasının oluşturulmasını, bu kopyaların iki farklı ortamda saklanmasını ve en az birinin farklı bir fiziksel konumda bulundurulmasını esas alır.
- **Olay müdahale planları**, siber güvenlik olaylarına karşı zamanında ve etkili müdahaleyi mümkün kılmak amacıyla önceden yapılandırılmalıdır. Böylece kurum, güvenlik ihlallerine karşı hazırlıklı hale gelir ve olayın etkilerini en aza indirme kapasitesi artar (World Economic Forum, 2021).
- **İş sürekliliği planlaması**, sağlık hizmetlerinin kesintisiz sunumunun sağlanması açısından stratejik bir öncelik taşır. COVID-19 pandemisi sırasında yaşanan operasyonel aksamalar, bu tür planların ne denli kritik olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur (Chigada & Madzinga, 2021).

2.3. İnsan Faktörüne Yönelik Önlemler

Veri güvenliğinin en kırılgan noktalarından biri, teknolojik altyapıdan ziyade insan unsuruyla ilgilidir. Verizon’un 2023 verilerine göre, sağlık sektöründe yaşanan veri ihlallerinin %82’si doğrudan insan hatalarından kaynaklanmaktadır (Verizon, 2023). Bu durum, güvenlik stratejilerinde teknik önlemlerin yanında insan odaklı uygulamalara da öncelik verilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Siber güvenlik eğitimlerinde, güçlü parola oluşturma, kimlik avı (phishing) girişimlerini tanıma, güvenli veri paylaşımı yöntemleri ve olası ihlallere karşı farkındalık geliştirme gibi konulara ağırlık verilmesi önerilmektedir (Kaspersky, 2022). Eğitim faaliyetlerinin sürekliliğini sağlamak ve öğrenilen bilgilerin davranışa dönüşmesini desteklemek amacıyla, düzenli olarak uygulanan ortalama simülasyonları ve siber güvenlik tatbikatları da etkili birer araç olarak değerlendirilmektedir (He et al., 2021).

Veri güvenliğini kalıcı hale getirmek, yalnızca teknolojik çözümlerle değil; aynı zamanda kurum kültürünü besleyen organizasyonel politikalarla da mümkündür. Aşağıda, insan kaynaklı güvenlik zafiyetlerini azaltmayı hedefleyen bazı yönetsel ve kültürel önlemler sıralanmaktadır :

- **İç tehditlerin önlenmesi**, yalnızca dış kaynaklı siber saldırılara karşı değil; kurum içindeki kullanıcıların bilerek ya da farkında olmadan yaratabileceği zararları da kapsayan bütüncül bir güvenlik yaklaşımı gerektirir. Sistem içindeki yetki suiistimalleri ve davranışsal hatalar, ciddi güvenlik zafiyetlerine neden olabilmektedir (Greitzer & Frincke, 2010).
- **Rol Tabanlı Erişim Kontrolü (RBAC)**, kullanıcıların yalnızca kendi görev alanlarıyla doğrudan ilişkili bilgilere erişmesini sağlayan bir mekanizmadır. Bu model, yetkisiz erişimlerin ve veri sızıntılarının önüne geçilmesinde etkili bir yöntem olarak sağlık kuruluşlarında yaygın biçimde uygulanmaktadır (ENISA, 2023).
- **Kurumsal güvenlik kültürü**, teknik önlemlerin başarıya ulaşabilmesi için çalışanlar tarafından içselleştirilmesi gereken bir davranış modeline dayanır. Üst yönetimin bu kültürü desteklemesi, siber güvenlik politikalarının kurum genelinde sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Sittig & Singh, 2016).
- **Hukuki ve düzenleyici uyumluluk**, veri güvenliği yönetiminin yalnızca teknik değil, aynı zamanda normatif bir boyutu olduğunu gösterir. Türkiye’de yürürlükte olan Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), sağlık verilerini “özel nitelikli kişisel veri” kategorisinde değerlendirerek, işlenmesi için açık rıza alınmasını ve belirli idari-teknik önlemlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır (KVKK, 2016). Bu çerçevede, hukuki uyumluluk yalnızca bir yükümlülük değil, aynı zamanda güvenlik kültürünün bir bileşeni olarak ele alınmalıdır.

Avrupa Birliği’nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), “veri koruma tasarımı” (data protection by design) ilkesi doğrultusunda, sağlık verilerinin işlenmesini yüksek düzeyde güvenlik standartlarına bağlamaktadır. Bu kapsamda, veri sorumlularının risk temelli teknik ve idari güvenlik tedbirlerini hayata geçirmeleri yasal bir yükümlülük olarak tanımlanmıştır (European Parliament & Council, 2016). Benzer şekilde Türkiye’de yürürlükte olan Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), sağlık verilerini “özel nitelikli kişisel veri” olarak sınıflandırmakta; bu verilerin işlenebilmesi için ilgili kişinin açık rızasının alınmasını zorunlu tutmaktadır (KVKK, 2016). Yalnızca mevzuata uyumla sınırlı kalmayan bir perspektifle, Korucu (2021), kurumsal bilgi sistemlerinin uluslararası standartlara göre yapılandırılmasının ve hukuki yükümlülüklerin kurumsal bir kültür olarak içselleştirilmesinin veri güvenliği için kritik bir unsur olduğunu vurgulamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri’nde uygulanan HIPAA düzenlemeleri de, elektronik sağlık kayıtlarının gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini sağlamak amacıyla hem teknik hem de yönetsel düzeyde önlemler getirmektedir

(HIPAA Journal, 2022). Bu düzenlemeler yalnızca cezai yaptırımlardan kaçınmayı değil, aynı zamanda hasta güvenini pekiştirmeyi hedefleyen bir sistem yaklaşımını da yansıtmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, sağlık verilerinin korunması salt teknolojik bir sorun alanı değildir; aynı zamanda yönetsel, etik ve normatif boyutları içeren çok katmanlı bir sorumluluk çerçevesinde ele alınmalıdır. Kurumların yalnızca yasal uyum sağlamakla kalmayıp, bu ilkeleri operasyonel süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline getirmeleri, sürdürülebilir bir veri güvenliği kültürünün inşasında belirleyici rol oynar. Dinamik ve giderek çeşitlenen siber tehdit ortamı karşısında, proaktif güvenlik stratejilerinin geliştirilmesi hem hasta mahremiyetinin korunmasına katkı sağlar hem de dijital sağlık sistemlerine yönelik toplumsal güvenin güçlenmesine hizmet eder.

3. BİYOMETRİK KİMLİK DOĞRULAMA SİSTEMLERİ VE SAĞLIK SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

Dijital dönüşümün hızlandığı günümüzde kişisel sağlık verilerinin korunması, yalnızca gizliliğin sağlanması açısından değil; aynı zamanda hasta güvenliği, hizmetin kesintisiz sürdürülebilmesi ve kurumlara duyulan güvenin korunması açısından da kritik bir önem taşımaktadır (Evliyaoğlu, 2015). Elektronik sağlık kayıtlarının yaygın biçimde kullanılması, bu verilerin kötüye kullanımına karşı daha sağlam güvenlik önlemleri gerektirmektedir. Bu gereklilik doğrultusunda, biyometrik kimlik doğrulama sistemleri öne çıkmaktadır. Bu sistemler, yalnızca yetkili kişilerin verilere erişmesini sağlamakla kalmaz; kimlik sahteciliğini engeller ve genel güvenlik seviyesini yükseltir (Özer Deniz ve Özer, 2022; Patil, Kankara & Thakur, 2020).

Biyometrik teknolojiler, parmak izi, yüz, iris ve retina taramaları, damar yapısı ve ses gibi bireylere özgü fiziksel ya da davranışsal özelliklere dayanarak kimlik doğrulaması yapar (Jain, Ross & Nandakumar, 2021). Sağlık hizmetlerinde kullanımı ise, hasta kayıtlarının doğruluğunu artırır; yetkisiz erişimleri engeller ve veri sızıntılarına karşı koruma sağlar (Yılmaz, 2023). Aynı zamanda, hasta kabul ve işlem süreçlerinde doğruluğu ve hızı artırarak işleyişi kolaylaştırır.

Bu bölümde, biyometrik kimlik doğrulama teknolojilerinin sağlık alanındaki kullanım biçimleri, sağladığı yararlar, karşılaştığı güvenlik sorunları ve beraberinde getirdiği etik ve hukuki yükümlülükler ele alınacaktır.

3.1. Biyometrik Veri Türleri ve Özellikleri

Biyometrik kimlik doğrulama sistemleri, bireylerin değiştirilemez fiziksel ya da davranışsal özelliklerine dayalı olarak kimlik tespiti yapar. Sağlık alanında bu sistemlerin kullanım amacı, kimlik sahteciliğini önlemenin yanı

sıra veri güvenliğini artırmaktır. Aşağıda yaygın biçimde kullanılan biyometrik veri türleri ve bunlara ilişkin temel özellikler özetlenmiştir:

Parmak izi tanıma sistemleri, kişiye özgü parmak izi desenlerini temel alır. Yüksek tarama hızı ve düşük maliyet gibi avantajları sayesinde sağlık hizmetlerinde en yaygın kullanılan biyometrik yöntemlerden biridir (Maltoni, Maio, Jain & Prabhakar, 2021).

Yüz tanıma, bireyin yüz hatlarının dijital analizine dayanır. Uygulama kolaylığına rağmen, COVID-19 pandemisi döneminde maske kullanımı gibi çevresel etkenler sistemin doğruluğunu önemli ölçüde sınırlamıştır (Nguyen et al., 2022).

İris taraması, gözün renkli kısmındaki karmaşık yapının yüksek doğrulukla analiz edilmesini sağlar. Ancak sistem maliyetinin yüksek olması ve kullanıcı açısından zorluk yaratması nedeniyle sağlık sektöründe sınırlı ölçüde tercih edilmektedir (Çetin ve Kök, 2020).

Damar yapısı tanıma, el veya parmak damarlarının üç boyutlu haritalanmasıyla kimlik doğrulama işlemi gerçekleştirir. Damar desenlerinin taklit edilmesinin güç olması, bu yöntemi sahteciliğe karşı son derece dirençli kılar (Çetin ve Kök, 2020).

Ses tanıma, bireylerin ses frekansı, tonlama ve ritim gibi ses özelliklerine dayanır. Kullanımı görece pratiktir; ancak çevresel gürültü, sistem performansını olumsuz etkileyebilmektedir (Aydın ve Demir, 2019).

Biyometrik doğrulama yöntemlerinin ortak özelliği, kimlik bilgilerini sabit ve kişiye özgü veriler aracılığıyla tanımlamalarıdır. Bu sistemler, tahmin edilmesi veya taklit edilmesi zor veriler kullandıkları için, geleneksel parola veya kart tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek düzeyde güvenlik sağlamaktadır (Jain et al., 2021).

3.2. Sağlık Sektöründe Biyometrik Sistemlerin Kullanım Alanları

Biyometrik doğrulama sistemleri, sağlık sektöründe çeşitli operasyonel ve bilgi güvenliği süreçlerinde aktif biçimde kullanılmaktadır. Aşağıda bu teknolojilerin öne çıkan kullanım alanları özetlenmiştir:

- **Hastane giriş kontrolleri**, hasta ve ziyaretçilerin biyometrik kimlik doğrulamasıyla içeri alınmasını sağlar. Bu uygulama, yalnızca fiziksel güvenliği değil; aynı zamanda hastane bilgi sistemlerine yetkisiz erişimin engellenmesini de destekler (Davis et al., 2021; Yalçın, 2023). İç ve dış tehditlerin sınırlandırılması yoluyla kurumsal siber güvenlik altyapısının güçlenmesine katkıda bulunur (Korucu, 2021).

- **Hasta kimlik doğrulama**, özellikle yoğun hasta trafiği yaşanan birimlerde, kimlik sahteciliği ya da hasta karışıklığı gibi olasılıkların azaltılmasını sağlar. Bu sayede hem klinik güvenlik artar hem de kişisel sağlık verilerinin doğru kişiyle ilişkilendirilmesi mümkün olur (Patil et al., 2020; Yılmaz, 2023).
- **Erişim kontrolleri**, elektronik sağlık kayıtları gibi hassas sistemlere yalnızca biyometrik olarak yetkilendirilmiş personelin ulaşabilmesini mümkün kılar. Bu yaklaşım, hasta mahremiyetinin korunması açısından önemli bir mekanizma sunarken, sistemlere yönelik siber saldırı riskini de en aza indirir (Korucu, 2021; Sağlık Bakanlığı, 2022).
- **İlaç yönetimi süreçlerinde**, hastaya verilecek ilacın biyometrik doğrulama sonrasında onaylanması, yanlış ilaç uygulamaları ve yetkisiz erişimlerin önüne geçilmesini sağlar. Bu uygulama, özellikle klinik karar destek sistemleriyle entegre biçimde kullanıldığında hasta güvenliği açısından önemli bir güvence oluşturmaktadır (Nguyen et al., 2022; Korkmaz, 2020).
- **Sağlık hizmetlerine erişimde eşitlik**, kimlik tespitinin zor olduğu gelişmekte olan bölgelerde biyometrik sistemler aracılığıyla güçlendirilmekte; bu durum hem hizmete erişimin sürekliliğini desteklemekte hem de veri güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (World Health Organization, 2023; Evliyaoğlu, 2015).

3.3. Biyometrik Kimlik Doğrulama Sistemlerinin Sağlık Sektöründeki Avantajları

Biyometrik doğrulama sistemleri, sağlık sektöründe hem veri güvenliğini artırmakta hem de hizmet süreçlerinin daha doğru ve etkin yürütülmesine katkı sunmaktadır. Aşağıda bu sistemlerin sunduğu temel faydalar açıklanmaktadır:

- **Gelişmiş güvenlik**, biyometrik verilerin kişiye özgü ve taklit edilmesi güç niteliklere sahip olması sayesinde mümkün hale gelmektedir. Bu özellik, kimlik sahteciliği, yetkisiz erişim ve veri sızıntısı gibi tehditlere karşı etkili bir koruma sunar. Özellikle elektronik sağlık kayıtları gibi yüksek güvenlik gerektiren ortamlarda, biyometrik sistemlerin koruyucu rolü belirginleşmektedir (Maltoni et al., 2021; Korucu, 2021).
- **Operasyonel verimlilik ve hız**, hasta kabul ve kayıt işlemlerinde sürecin daha hızlı, hatasız ve otomatik biçimde yürütülmesini sağlayarak hem sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltır hem de hasta memnuniyetini artırır. Bu etki, özellikle acil servislerde zaman yönetimi açısından kritik önem taşımaktadır (Yılmaz, 2023).
- **İzlenebilirlik ve hesap verebilirlik**, gerçekleştirilen her işlemin sistem üzerinden yetkili personele atanmasını mümkün kılar. Böylece işlem

geçmişi şeffaf biçimde izlenebilir hâle gelir. Bu durum, hem hizmet kalitesini artırır hem de hukuki veya etik anlaşmazlıklarda kanıta dayalı değerlendirme yapılmasına olanak tanır (Korkmaz, 2020).

- **Hasta güvenliği ve kayıt doğruluğu**, biyometrik doğrulama sayesinde doğru hastanın doğru tedavi süreciyle eşleştirilmesini sağlar. Yoğun hasta trafiğinin yaşandığı klinik ortamlarda, hasta dosyası karışıklıkları gibi hataların önlenmesinde bu sistemler kritik bir işlev üstlenmektedir (Davis et al., 2021).
- **Sosyal kapsayıcılık ve kimlik erişimi**, özellikle kimlik belgesi bulunmayan ya da okuryazarlık seviyesi düşük bireyler için alternatif bir tanıma ve doğrulama aracı sunar. Hindistan'daki Aadhaar uygulaması, biyometrik sistemlerin bu tür gruplara yönelik sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmada nasıl etkili olabileceğine dair çarpıcı bir örnek teşkil etmektedir (UIDAI, 2023).

3.4. Güvenlik ve Mahremiyet Riskleri

Biyometrik doğrulama sistemleri sağlık hizmetlerinde güvenlik düzeyini yükselten etkili araçlar olarak değerlendirilse de, bu teknolojilerin kullanımı bazı önemli risk alanlarını da gündeme getirmektedir. Özellikle veri bütünlüğü, tanılama doğruluğu ve bireysel mahremiyet bağlamında dikkatle ele alınması gereken çeşitli sorunlar söz konusudur.

- **Veri ihlali riski**, biyometrik verilerin doğası gereği yüksek düzeydedir. Bu tür veriler bir kez sızdırıldığında geri döndürülemez ve değiştirilemez nitelikte olduğu için, siber saldırılar karşısında kritik bir zafiyet oluşturur. Brar ve Kumar (2021), sızan biyometrik verilerin kimlik hırsızlığı başta olmak üzere çeşitli kötü niyetli kullanım alanlarında değerlendirilme riskine dikkat çekmektedir.
- **Hatalı tanımlama ve erişim problemleri**, sistemlerin teknik sınırlamalarından kaynaklanabilmektedir. Parmak izi tarayıcıları ya da yüz tanıma sistemleri, fiziksel değişimler veya çevresel faktörler nedeniyle yanlış eşleştirme yapabilir ya da yetkili kişilerin erişimini hatalı biçimde reddedebilir (Rahman et al., 2023). Bu tür hatalar, hem hizmet kalitesini düşürmekte hem de hasta güvenliğini tehdit etmektedir.
- **Mahremiyetin ihlali**, özellikle pasif veri toplama yapan sistemlerde ciddi bir risk unsuru olarak karşımıza çıkar. Yüz tanıma gibi teknolojiler, bireylerin bilgisi veya açık rızası olmaksızın veri toplayabilir; bu durum etik kaygılara ve anayasal hak ihlallerine neden olabilir. Rahman ve arkadaşları (2023), bu tür sistemlerin denetimsiz kullanımı durumunda, toplumsal gözetim mekanizmalarının yaygınlaşabileceğini ve bireysel özgürlüklerin zarar görebileceğini belirtmektedir.

Biyometrik verilerin geri alınamaz yapısı, bu sistemlerin neden olduğu güvenlik ve mahremiyet risklerini daha da kalıcı ve derin hale getirmektedir. Bu nedenle, sağlık sektöründe biyometrik teknolojilerin uygulanması yalnızca teknik açıdan değil; aynı zamanda yasal ve etik yönleriyle de kapsamlı biçimde ele alınmalıdır. KVKK, GDPR ve HIPAA gibi veri koruma düzenlemeleri, biyometrik veri işleme süreçlerinin açık rıza, sınırlı kullanım ve denetlenebilirlik ilkeleri doğrultusunda tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır.

3.5. Riskleri Azaltmaya Yönelik Stratejiler

Biyometrik kimlik doğrulama sistemlerinin sağlık sektöründe güvenli biçimde uygulanabilmesi, yalnızca teknik önlemlerle değil; aynı zamanda yönetsel, yasal ve etik stratejilerle desteklenen bütüncül bir yaklaşıma bağlıdır.

İlk olarak, biyometrik verilerin yetkisiz erişimlere karşı korunması için gelişmiş şifreleme yöntemleri ile çok katmanlı erişim kontrol mekanizmalarının birlikte kullanılması gerekir. Bu teknolojiler, verinin hem iletim hem de depolama süreçlerinde gizliliğini ve bütünlüğünü güvence altına alır (Özer Deniz ve Özer, 2022). Ek olarak, veri minimizasyonu ilkesine uygun hareket edilmesi; yalnızca gerekli ölçüde biyometrik verinin toplanması ve işlenmesi yoluyla, potansiyel güvenlik açıklarının önüne geçilmesine katkı sağlar (Evliyaoğlu, 2015).

Biyometrik verilerin işlenmesinde açık ve bilgilendirilmiş rıza alınması, yasal çerçevenin zorunlu bir parçasıdır. Türkiye’de yürürlükte olan Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve Avrupa Birliği’nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR), özellikle biyometrik veriler gibi özel nitelikli verilerin ancak açık rıza temelinde işlenebileceğini hükme bağlamaktadır (KVKK, 2016; European Parliament & Council, 2016).

Teknik sistemlerin sürdürülebilir güvenliğini sağlamak amacıyla, düzenli aralıklarla sızma testleri, bağımsız güvenlik denetimleri ve risk değerlendirme analizleri gerçekleştirilmelidir. Bu uygulamalar, olası sistem açıklarının önceden tespit edilerek giderilmesine olanak tanır ve güvenlik altyapısının dayanıklılığını artırır (Yalçın, 2023). Tüm bu teknik ve hukuki önlemlerin yanında, sağlık çalışanlarının siber güvenlik farkındalığını güçlendirmeye yönelik eğitim programları da kritik bir yer tutar. Bu programların yalnızca teknik bilgileri değil; aynı zamanda hasta mahremiyetine duyarlı veri işleme ilkelerini kapsaması, kurumsal etik kültürün oluşmasına katkı sağlar (Yılmaz, 2023). Bu sayede, biyometrik sistemlerin hem güvenli hem de hak temelli biçimde kullanılması mümkün hâle gelir.

3.6. Etik ve Hukuki Değerlendirmeler

Sağlık hizmetlerinde biyometrik sistemlerin uygulanması, veri güvenliğini artırmakla birlikte birey haklarına yönelik önemli etik ve hukuki soruları da gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, rıza, şeffaflık ve veri koruma gibi ilkeler, yalnızca etik sorumluluklar olarak değil; aynı zamanda yasal zorunluluklar olarak da ele alınmaktadır.

- **Açık rıza**, biyometrik verilerin işlenebilmesi için temel koşullardan biridir. Türkiye’de 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), bireylerin açık ve bilgilendirilmiş onamı olmaksızın özel nitelikli verilerin işlenmesini yasaklamaktadır (Kalkan, 2022).
- **Yüksek koruma standartları**, biyometrik verilerin gerek KVKK gerekse Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) kapsamında “özel nitelikli kişisel veri” olarak sınıflandırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, veri işleme süreçlerinin daha sıkı teknik ve yönetsel önlemlerle desteklenmesini zorunlu kılar (Toprak ve Uysal, 2021; European Parliament & Council, 2016).
- **Şeffaflık ve hesap verebilirlik**, veri sorumlularının bireylere hangi verilerin toplandığını, ne amaçla işlendiğini ve kimlerle paylaşıldığını açık biçimde bildirmesini gerektirir. Bu yükümlülük, sadece etik bir gereklilik değil; aynı zamanda yasal bir zorunluluktur (Özkan ve Karabulut, 2023).

Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri’nde yürürlükte olan HIPAA düzenlemeleri, biyometrik verilerin de dâhil olduğu tüm elektronik sağlık kayıtlarının gizliliğini ve bütünlüğünü korumaya yönelik teknik ve yönetsel önlemleri zorunlu kılmaktadır (HIPAA Journal, 2022).

Ancak mevcut düzenlemelere rağmen, biyometrik verilerin ihlali hâlinde ortaya çıkabilecek zararların telafisi büyük ölçüde mümkün değildir. Verinin benzersiz ve değiştirilemez niteliği nedeniyle bu tür ihlaller, yalnızca teknik tedbirlerle değil; kurumsal düzeyde oluşturulacak etik politikalar ve çalışan farkındalığı ile desteklenen çok katmanlı bir yapı gerektirir (Yıldız ve Demir, 2020).

4. SİBER SALDIRI TÜRLERİ VE ÖNLEMLER

Dijital teknolojilerin hızla yaygınlaşması, siber saldırıların yalnızca finans veya enerji gibi yüksek hacimli veri barındıran sektörlerle sınırlı kalmayıp, sağlık gibi kritik hizmet alanlarını da doğrudan hedef almasına neden olmuştur. Bu tür saldırılar, özellikle veri gizliliği, hizmet sürekliliği ve bireysel mahremiyet açısından ciddi güvenlik açıkları doğurmaktadır. Kişisel ve hassas verilerin yoğun biçimde işlendiği sağlık sektörü, yapısal özellikleri nedeniyle

siber tehditlere karşı daha kırılgan bir konumda yer almaktadır (IBM Security, 2023).

Saldırı tekniklerinin çeşitlenmesi ve karmaşıklık düzeyinin artması, geleneksel güvenlik yaklaşımlarının yetersiz kaldığını göstermekte; bu durum, daha kapsamlı ve proaktif stratejilere duyulan ihtiyacı açık biçimde ortaya koymaktadır.

Sağlık sektörünü hedef alan başlıca siber saldırı türlerinin sistematik biçimde incelenmesi ve her birine karşı geliştirilen önleyici yaklaşımların değerlendirilmesi, sürdürülebilir dijital güvenlik politikalarının oluşturulması açısından kritik önem taşımaktadır.

4.1. Kimlik Avı (Phishing) Saldırıları

Kimlik avı saldırıları, kullanıcıların şifre, kredi kartı bilgileri ya da benzeri hassas verilerini ele geçirmek amacıyla kullanılan sosyal mühendislik yöntemleridir. Çoğunlukla sahte e-postalar, internet siteleri veya mesajlar aracılığıyla yürütülen bu saldırılar, özellikle sağlık sektöründe yaygınlık göstermekte ve veri ihlallerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Verizon, 2023). 2021 yılında ABD’de bir sağlık kuruluşunda yaşanan olayda, bir çalışanın sahte e-postaya yanıt vermesi sonucunda yaklaşık 60.000 hastanın kişisel verileri açığa çıkmıştır (HHS OCR, 2023).

Kimlik avı girişimlerine karşı sağlık kurumlarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda davranışsal ve yönetsel düzeyde de önlemler geliştirmesi gereklidir. Öne çıkan uygulamalar aşağıda özetlenmektedir:

- **Farkındalık ve eğitim faaliyetleri:** Çalışanlara düzenli aralıklarla verilen siber güvenlik eğitimleri, şüpheli e-postaların ve diğer kimlik avı girişimlerinin tespitini kolaylaştırır. Hadnagy (2021), sosyal mühendislik saldırılarının etkisinin azaltılmasında farkındalık eğitimlerinin belirleyici rolüne işaret etmektedir.
- **E-posta güvenlik yazılımları:** Zararlı e-postaları ve eklerini otomatik olarak filtreleyen sistemler, kullanıcıların kimlik avı bağlantılarına erişimini büyük ölçüde engeller (Verizon, 2023).
- **Çok aşamalı kimlik doğrulama (MFA):** MFA uygulamaları, yalnızca kullanıcı adı ve parolaya dayalı doğrulamayı güçlendirerek, saldırganların kimlik avı yoluyla erişim sağlamasını zorlaştırır. Dünya Ekonomik Forumu (2021), MFA’yı etkili siber güvenlik stratejilerinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirmektedir.

4.2. Kötü Amaçlı Yazılım (Malware) Saldırıları

Kötü amaçlı yazılımlar, bilgisayar sistemlerine zarar vermek, işleyişlerini aksatmak veya gizli verileri ele geçirmek amacıyla geliştirilen programlardır. Virüsler, solucanlar, truva atları ve casus yazılımlar bu grubun temel örnekleri arasında yer alır. Sağlık sektöründe en yıkıcı etkileri olan türlerden biri ise fidye yazılımlarıdır. Bu yazılımlar, hastane sistemlerine sızarak kritik altyapıyı işlevsiz hale getirmekte ve hizmetlerin durmasına yol açmaktadır (HP Security Research, 2023). Nitekim 2017’de gerçekleşen WannaCry saldırısı, Birleşik Krallık Ulusal Sağlık Servisi’ni (NHS) hedef almış, 200.000’den fazla bilgisayarın etkilenmesi sonucunda sağlık hizmetlerinde ciddi aksamalar meydana gelmiştir (Martin et al., 2018).

Kötü amaçlı yazılımların yarattığı riskleri en aza indirmek için sağlık kurumlarında uygulanabilecek başlıca önlemler şunlardır:

- **Güncel antivirüs yazılımları:** Lisanslı ve düzenli güncellenen antivirüs programları, zararlı yazılımların erken tespiti ve etkisiz hale getirilmesinde kritik rol oynar. Özellikle bulut tabanlı tehdit veritabanlarına erişim sağlayan çözümler, sağlık kurumlarında daha etkin koruma sunmaktadır (Huang et al., 2020).
- **Güncelleme ve yama yönetimi:** Yazılımların düzenli güncellenmesi ve güvenlik yamalarının zamanında uygulanması, bilinen açıkların kötüye kullanılmasını önler. Zamanında yapılmayan yamalar, fidye yazılımlarının yayılmasında en önemli etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir (NIST, 2023; Zhou & Piramuthu, 2015).
- **Ağ segmentasyonu:** Ağ altyapısının bölümlere ayrılması, kötü amaçlı yazılımların tüm sistemlere yayılmasını engelleyerek olası zararı sınırlandırır. Sağlık kurumlarında segmentasyon uygulamaları sayesinde tıbbi cihazlar, hasta verisi sistemleri ve yönetim ağları birbirinden izole edilebilir (Zhou, Le & Yang, 2018).

4.3. Fidye Yazılımı (Ransomware) Saldırıları

Fidye yazılımları, kullanıcı verilerini şifreleyerek erişilemez hale getiren ve erişimin yeniden sağlanabilmesi için ödeme talep eden zararlı yazılım türleridir. Sağlık sektöründe bu saldırılar, hasta bakım süreçlerinin doğrudan kesintiye uğramasına yol açtığından, etkileri diğer alanlara kıyasla daha yıkıcı olabilmektedir. Nitekim 2021 yılında İrlanda Sağlık Hizmeti Yürütme Kurumu (HSE), geniş çaplı bir fidye yazılımı saldırısı sonucunda tüm dijital sağlık hizmetlerini geçici olarak durdurmak zorunda kalmıştır. Bu vaka, sağlık altyapılarının fidye yazılımlarına karşı ne derece kırılgan olabileceğini göstermektedir (European Union Agency for Cybersecurity, 2023).

Bu tür saldırıların etkilerini azaltabilmek için sağlık kurumlarının uygulayabileceği başlıca önlemler şunlardır:

- **Periyodik veri yedekleme:** Kurumsal verilerin düzenli aralıklarla ve tercihen çevrimdışı ortamlara yedeklenmesi, fidye yazılımı saldırısı sonrasında sistemlerin hızlı biçimde eski haline döndürülmesine olanak tanır. Böylece saldırganların ödeme taleplerine bağlı kalımsızın veriler geri yüklenebilir (Zhou & Le, 2022).
- **Fidyeödememe politikaları:** Kurumların saldırı sonrası fidye ödemekten kaçınmasını esas alan politikaların benimsenmesi, siber suçluların bu yöntemle gelir elde etmesini güçleştirir ve benzer saldırıların tekrarını caydırıcı bir etki yaratır (ENISA, 2023).
- **Olay müdahale planları:** Önceden hazırlanmış ve düzenli olarak test edilmiş müdahale planları, kurumların fidye yazılımı saldırılarına hızlı ve koordineli bir biçimde yanıt vermesini sağlar. Bu yaklaşım, sistem kesintilerinin süresini kısaltır ve olası zararları sınırlandırır (Scarfone et al., 2021).

4.4. Hizmet Reddi (DDoS) Saldırıları

Dağıtık Hizmet Reddi (DDoS) saldırıları, hedeflenen sistem veya ağların kaynaklarını yoğun trafikle doldurarak hizmete erişimi engellemeyi amaçlayan saldırı türleridir. Sağlık sektöründe bu saldırılar, özellikle çevrimiçi randevu sistemleri, hasta portalları ve elektronik sağlık hizmetlerini hedef alarak hizmet kesintilerine yol açabilmektedir. Nitekim 2020 yılında Almanya'daki bir üniversite hastanesinde gerçekleşen DDoS saldırısı, acil servis sistemlerinin geçici olarak devre dışı kalmasına neden olmuş; bu durum, bir hastanın başka bir merkeze sevk edilmek zorunda kalmasıyla trajik sonuçlar doğurmuştur (Brunner, 2021). Bu örnek, DDoS saldırılarının sağlık hizmetlerinin sürekliliği açısından ne derece kritik riskler barındırdığını ortaya koymaktadır.

Söz konusu saldırılara karşı kurumların alabileceği temel önlemler şunlardır:

- **DDoS koruma hizmetleri:** Bulut tabanlı çözümler, gelen trafiği analiz ederek olağandışı istekleri filtreler. Gerçek zamanlı tespit ve otomatik müdahale özellikleri, hizmet sürekliliğinin korunmasında önemli rol oynar (Douligeris & Mitrokotsa, 2004).
- **Ağ trafik analizi:** Ağ verilerinin sürekli izlenmesi ve normal dışı akışların yapay zekâ veya makine öğrenmesi tabanlı sistemlerle belirlenmesi, saldırıların erken aşamada tespit edilmesini sağlar (Mirkovic & Reiher, 2005).
- **Altyapı kapasitesinin güçlendirilmesi:** Sunucu ve ağ altyapılarının esnek ve ölçeklenebilir şekilde tasarlanması, yüksek hacimli trafik

saldırılarına karşı direnci artırır. Yük dengeleme mekanizmaları ve ek bant genişliği, sistemlerin tamamen devre dışı kalmasını önleyebilir (Zargar, Joshi & Tipper, 2013).

4.5. Gelişmiş Kalıcı Tehditler (APT)

Gelişmiş Kalıcı Tehditler (APT), hedeflenen sistemlere uzun süreli ve gizli biçimde sızmak üzere planlanan, yüksek düzeyde teknik yetkinlik gerektiren saldırı türleridir. Çoğunlukla devlet destekli gruplar tarafından gerçekleştirilen bu saldırılar, siyasi, ekonomik veya teknolojik çıkarlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Sağlık sektöründe ise klinik araştırmalar, aşı geliştirme çalışmaları ve hasta verileri gibi yüksek değer taşıyan bilgiler, APT gruplarının başlıca hedefleri arasında yer almaktadır (Chen et al., 2022).

COVID-19 pandemisi sırasında bu tehditlerin etkisi daha görünür hale gelmiştir. 2020 yılında yürütülen aşı araştırmalarına katılan sağlık kurumlarının, APT grupları tarafından hedef alındığı ve saldırıların temel amacının fikri mülkiyet verilerinin çalınması olduğu rapor edilmiştir (FireEye, 2021). APT saldırılarının diğer tehdit türlerinden en önemli farkı, uzun süre fark edilmeden sistemde kalabilmeleri ve tespit edilmelerinin son derece güç olmasıdır.

Bu saldırılara karşı uygulanabilecek önlemler arasında şunlar öne çıkmaktadır:

- **Sıfır güven (Zero Trust) modeli:** Hiçbir kullanıcıya veya cihaza otomatik güven tanımayan bu yaklaşım, sürekli kimlik doğrulama, mikro segmentasyon ve minimum yetki ilkesiyle tehdit yüzeyini daraltır (Rose et al., 2020).
- **Ağ izleme ve tehdit tespit sistemleri:** Ağ trafiği, kullanıcı davranışları ve sistem aktivitelerinin sürekli izlenmesi, saldırıların erken aşamada fark edilmesini kolaylaştırır. Davranışsal analiz ve makine öğrenimi tabanlı sistemler bu süreçte yüksek etkinlik göstermektedir (Cheng et al., 2021).
- **Çalışan güvenlik eğitimi:** APT saldırıları çoğu zaman sosyal mühendislik teknikleriyle desteklendiğinden, çalışanların bu konuda bilinçlendirilmesi ve düzenli farkındalık eğitimlerine katılması büyük önem taşır (Alshaikh, 2020).

Giderek karmaşılaşan bu tehditler, sağlık gibi kritik altyapılarda sadece bilgi güvenliğini değil, doğrudan insan sağlığını da riske atmaktadır. Kimlik avı, kötü amaçlı yazılımlar, fidye yazılımları, DDoS ve APT gibi farklı saldırı türleri birlikte değerlendirildiğinde, savunma stratejilerinin çok katmanlı bir yapıya dayanması gerektiği görülmektedir. Böyle bir yaklaşım; teknik tedbirlerin yanı sıra kullanıcı eğitimi, olay müdahale planları, kurumsal güvenlik politikaları

ve düzenli denetimleri kapsamalıdır. Ayrıca, ulusal ve uluslararası standartlara uyum sağlanması, sağlık bilişim altyapısının dayanıklılığı açısından belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşmenin hız kazandığı sağlık sektöründe, siber güvenlik günümüzde sürdürülebilir hizmet sunumunun ayrılmaz bir bileşeni haline gelmiştir.

5. SONUÇ

Dijitalleşmenin ivme kazandırdığı sağlık hizmetleri, kalite ve erişilebilirlik açısından önemli kazanımlar sağlarken; kişisel verilerin güvenliği ve mahremiyetin korunması bakımından ciddi sorumluluklar da doğurmuştur. Elektronik sağlık kayıtları, uzaktan teşhis sistemleri ve yapay zekâ destekli uygulamalar, sağlık kuruluşlarının sunduğu hizmetlerin kapsamını genişletmiş; ancak aynı zamanda bu kuruluşları daha çeşitli ve karmaşık siber tehditlere açık hâle getirmiştir. Dolayısıyla, sağlık sektöründe veri güvenliği yalnızca teknik boyutta değil; yönetsel süreçler, etik ilkeler ve hukuki düzenlemeler çerçevesinde de ele alınması gereken çok boyutlu bir meseledir (European Parliament & Council, 2016; KVKK, 2016).

Bu çalışma, sağlık sektörüne özgü tehdit alanlarını belirleyerek bunlara karşı geliştirilebilecek savunma stratejilerini disiplinler arası bir perspektifle incelemiştir. Çalışmanın katkısı, güvenliği yalnızca bilişim teknolojileri açısından ele almakla yetinmemesi; aynı zamanda kurumsal yönetim yapıları, çalışan davranışları ve yasal sorumluluklarla ilişkilendirilerek bütüncül bir çerçeve önermesidir. Verizon (2023) raporunda sağlık alanında yaşanan olayların %82'sinin insan hatası kaynaklı olduğunun belirtilmesi, teknik çözümlerin kurumsal farkındalık ve organizasyonel politikalarla desteklenmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Biyometrik kimlik doğrulama sistemlerine ayrılan bölüm, sağlık verilerinin korunmasına ilişkin tartışmalara farklı bir boyut eklemiştir. Parmak izi, yüz tanıma ve damar yapısı gibi kişiye özgü fiziksel veriler yüksek doğruluk sağlamasına karşın, geri döndürülemez nitelikleri nedeniyle ihlal durumunda kalıcı riskler taşımaktadır. Nitekim Jain, Ross ve Nandakumar (2021) biyometrik verilerin sızması hâlinde kullanıcıların kimlik güvenliğinin kalıcı olarak zedeleneyeceğini belirtmektedir. GDPR ve KVKK gibi düzenlemeler ise bu tür verilerin ancak açık rıza ve sıkı koruma önlemleri altında işlenmesine izin vermektedir.

Sittig ve Singh (2016), sürdürülebilir siber güvenliğin yalnızca teknik altyapıyla değil, aynı zamanda kurum politikalarıyla bütünleşik biçimde yürütülmesi gerektiğini vurgularken; ENISA (2023) raporunda da sağlık alanındaki birçok ihlalin organizasyonel eksikliklerden kaynaklandığı ortaya konmuştur. Bu bağlamda çalışma, yalnızca teknolojik koruma yöntemleri değil;

aynı zamanda iç denetim, olay müdahale hazırlıkları ve bilgi güvenliği kültürü gibi yönetsel araçlara da dikkat çekmektedir.

Çalışmanın pratik katkıları arasında; sağlık kurumlarında Veri Güvenliği Sorumlusu atanması, çok faktörlü kimlik doğrulama kullanımının yaygınlaştırılması, düzenli ortalama testleri yapılması ve biyometrik sistemler için etik denetim mekanizmalarının oluşturulması yer almaktadır. Ayrıca KVKK açık rıza süreçlerinin dijital olarak izlenebilir hale getirilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, dijitalleşen sağlık hizmetlerinde siber güvenlik yalnızca teknik çözümlerle sınırlı olmayan; etik, yönetsel ve hukuki boyutları da kapsayan bütüncül bir güvenlik alanı olarak görülmelidir. Sağlık verilerinin mahremiyetinin korunması ve sistem sürekliliğinin güvence altına alınması, hasta haklarının temel bir gereği olduğu kadar kamu sağlığının sürdürülebilirliği açısından da kritik önemdedir. Bu nedenle, sağlık kuruluşlarının teknik altyapılarını güçlendirmenin yanı sıra, insan kaynağı, yönetim yapıları ve düzenleyici uyum süreçleriyle desteklenen çok boyutlu güvenlik stratejileri benimsemeleri zorunludur. Sağlık bilişim altyapısının güvenliği, dijitalleşme süreçlerinin sürdürülebilirliğinin önkoşulu olarak değerlendirilebilir.

Kaynakça

- Alshaikh, M. (2020). Cyber security culture: A literature review. *Information and Computer Security*, 28(1), 65-104. <https://doi.org/10.1108/ICS-04-2019-0043>
- Cheng, L., Liu, F., Yao, D., & Zhang, D. (2021). Behavior-based anomaly detection for insider threats in cloud computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 18(5), 2248-2261. <https://doi.org/10.1109/TDSC.2019.2907231>
- Chigada, J. M., & Madzinga, R. (2021). E-health security and governance: A framework for South Africa. *Health Policy and Technology*, 10(3), 100524. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2021.100524>
- Department of Health & Human Services. (2022). Cybersecurity best practices for healthcare. <https://www.hhs.gov/sites/default/files/cybersecurity-best-practices.pdf> (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025)
- ENISA (European Union Agency for Cybersecurity). (2023). Threat Landscape for Healthcare. <https://www.enisa.europa.eu/publications/threat-landscape-for-healthcare> (Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2025)
- European Parliament & Council. (2016). General Data Protection Regulation (EU) 2016/679. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj> (Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2025)
- Evliyaoğlu, N. (2015). Biyometrik veri ve kişisel mahremiyetin korunması. *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, 119, 171-194.
- He, Y., Li, W., & Gopalakrishnan, V. (2021). Cybersecurity challenges and opportunities in the new 'normal'. *IEEE IT Professional*, 23(2), 15-21. <https://doi.org/10.1109/MITP.2020.2988337> (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025)
- HIPAA Journal. (2022). HIPAA compliance checklist. <https://www.hipaajournal.com/hipaa-compliance-checklist> (Erişim Tarihi: 16 Mayıs 2025)
- Huang, Y., Zhang, K., Lee, W., & Song, D. (2020). Systematic threat modeling and analysis for medical device security. *ACM Computing Surveys*, 53(5), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3409383> (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2025)
- IBM Security. (2023). Cost of a Data Breach Report 2023. <https://www.ibm.com/reports/data-breach> (Erişim Tarihi: 22 Mayıs 2025)
- İleri, H. (2018). Sağlık sektöründe bilgi güvenliği politikalarının önemi. *Bilgi Güvenliği Dergisi*, 3(2), 44-56. (Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2025)
- ISO. (2022). ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection. <https://www.iso.org/standard/27001> (Erişim Tarihi: 19 Mayıs 2025)
- Jain, A. K., Ross, A., & Nandakumar, K. (2021). Introduction to biometrics. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77326-1> (Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2025)
- Korucu, A. T. (2021). Kişisel verilerin korunması kapsamında sağlık verilerinin önemi. *Hukuk ve Bilişim Dergisi*, 9(1), 55-78. (Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2025)
- KVKK. (2016). Kişisel Verilerin Korunması Kanunu No. 6698. <https://www.kvkk.gov.tr> (Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2025)
- Martin, G., Martin, P., Hankin, C., Darzi, A., & Kinross, J. (2018). Cybersecurity and healthcare: How safe are we? *BMJ*, 361, k3314. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3314> (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025)
- NIST. (2023). Cybersecurity Framework. <https://www.nist.gov/cyberframework> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2025)
- Özer Deniz, D., & Özer, Y. (2022). Biyometrik sistemler ve sağlık sektöründe güvenlik riskleri. *Akademik Bilişim Dergisi*, 14(1), 38-49.
- Patil, R., Kankara, S., & Thakur, V. (2020). Secure biometric authentication for healthcare systems. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(5), 60-64. <https://doi.org/10.35940/ijeat.E9178.059520>
- Preçi, K., & Simms, D. (2022). Artificial intelligence attacks in healthcare IoT systems. *Cybersecurity Journal*, 3(2), 88-104.

- Rahman, M., Hasan, R., & Islam, S. (2023). Privacy implications of passive biometric systems. *Journal of Information Privacy and Security*, 19(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15536548.2023.1209342>
- Romanosky, S. (2016). Examining the costs and causes of cyber incidents. *Journal of Cybersecurity*, 2(2), 121–135. <https://doi.org/10.1093/cybsec/>
- Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
- Scarfone, K., Souppaya, M., Cody, A., & Orebaugh, A. (2021). Computer Security Incident Handling Guide. NIST. <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-61/rev-2/final>
- Sittig, D. F., & Singh, H. (2016). A socio-technical approach to preventing EHR-related patient safety hazards. *Journal of Biomedical Informatics*, 59, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.12.006> (Erişim Tarihi: 19 Mayıs 2025)
- SonicWall. (2022). Cyber Threat Report. <https://www.sonicwall.com/resources> (Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2025)
- Verizon. (2023). Data Breach Investigations Report. <https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/> (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2025)
- World Economic Forum. (2021). Cybersecurity leadership principles for boards. <https://www.weforum.org/whitepapers> (Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2025)
- Yalçın, M. (2023). Sağlık bilişiminde sızma testleri ve denetim süreçleri. *Bilişim ve Sağlık Dergisi*, 7(1), 11–22.
- Yılmaz, S. (2023). Biyometrik verilerin etik kullanımı: Sağlık çalışanlarına yönelik eğitim gerekliliği. *Etik ve Teknoloji*, 6(2), 34–46.
- Zhou, W., & Le, X. (2022). Defending against ransomware attacks in healthcare. *Journal of Cyber Defense*, 5(1), 45–59.
- Zhou, W., & Piramuthu, S. (2015). Healthcare cybersecurity: Threats and responses. *Information Systems Frontiers*, 17(5), 1067–1075. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9505-1>
- Zhou, W., Le, X., & Yang, S. (2018). Network segmentation for medical cybersecurity. *IEEE Access*, 6, 27858–27866. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2837742>

SAĞLIKTA YAPAY ZEKÂ ETİĞİ VE HUKUKİ BOYUTLAR

Aleyna CEBECİ¹

GİRİŞ

Yapay zekâ kavramı, bilim dünyasına ilk kez 1955 yılında John McCarthy'nin öncülüğünde, Amerika Birleşik Devletleri'nde Dartmouth College'da düzenlenen bir konferansta sunulmuştur. Bu konferansta, insan zekâsına benzer şekilde düşünebilen ve karar verebilen makinelerin geliştirilebileceği fikri ileri sürülmüş; böylece yapay zekâ araştırmalarının temelleri atılmıştır. Kavramsal olarak yapay zekâ, makinelerin öğrenme, akıl yürütme ve iletişim kurma gibi bilişsel işlevleri yerine getirme kapasitesine sahip olmasıdır. Günümüzde bu teknoloji sağlık, hukuk, eğitim, güvenlik ve ulaşım gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmakta ve etik, toplumsal, hukuki boyutlarıyla önemli tartışmalara konu olmaktadır. Özellikle karar alma süreçlerinde insan benzeri muhakeme yetisi kazanan sistemlerin, bireyler ve toplum üzerinde doğrudan etkileri olduğu açıktır. Bu bağlamda, yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesinde insan haklarına, toplumsal normlara, etik ilkelere ve hukuka uyumun gözetilmesi bir tercih değil; sürdürülebilir ve sorumlu teknoloji üretiminin ön koşuludur. Aksi halde, hem bireysel hem de kolektif düzeyde ciddi ve kalıcı riskler doğurabilir (Karahan Adalı, 2023: 36).

Yapay zekâ teknolojileri, son yıllarda sağlık alanında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Görüntüleme sistemleri, elektronik sağlık kayıtlarının yönetimi, laboratuvar verilerinin analizi, tedavi planlaması, ilaç geliştirme süreçleri ile önleyici ve kişiselleştirilmiş tıp gibi pek çok alanda etkili rol oynamaktadır. Klinik uygulamalarda ise erken teşhis, tıbbi görüntü analizi, robotik cerrahi, tedavi sürecinin izlenmesi ve hastanın yaşam kalitesine odaklanan bireyselleştirilmiş tedavi yöntemleri gibi çeşitli işlevlerde yapay zekâdan yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, yalnızca klinik karar destek sistemlerinde değil, sağlık hizmetlerinin idari ve operasyonel süreçlerinde de

1 Doktora Öğrencisi, Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü, ORCID: 0000-0003-3385-1453, aleyna.cebeci1@ogr.sakarya.edu.tr

kullanılmakta; böylece verimlilik artmakta, hata oranları azalmakta ve kaynak kullanımını optimize edilmektedir (Farhud ve Zokaei, 2021: 1; Güzel vd., 2022: 510). Ancak bu teknolojik ilerleme, beraberinde çeşitli etik ve hukuki sorunları da gündeme getirmektedir. Özellikle sorumluluğun nasıl paylaşılacağı, hasta haklarının korunması, kişisel verilerin güvenliği ve algoritmaların şeffaflığı gibi konular, yapay zekâ destekli sağlık uygulamalarının meşruiyeti açısından belirleyici niteliktedir. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin sağlık alanına entegrasyonunda yalnızca teknik başarı değil; aynı zamanda insan hakları, meslek etiği ve temel toplumsal değerlerle uyumluluk da gözetilmelidir.

Sağlıkta yapay zekâ uygulamalarının geleceği açısından ele alınması gereken dört temel etik mesele; bilgilendirilmiş onam, güvenlik ve şeffaflık, veri gizliliği, algoritmik adalet ve önyargılardır (Keleş, 2022: 610). Tanı ve tedavi süreçlerinde kullanılacak yapay zekâ sistemlerinin, hastalıkla mücadeleyle yönelik teknik işlevlerle sınırlı kalmaması ve hasta özerkliği, mahremiyet, adalet, toplumsal yarar gibi temel değerlerle de uyumlu olması gerekmektedir. Bu noktada sağlık teknolojisi değerlendirme (Health Technology Assessment – HTA) yöntemleri ile yapay zekâ sistemlerinin olası etkilerinin bilimsel, etik ve hukuki boyutlarda analiz edilmesi önem taşımaktadır. Geliştirilen sistemlerin; ahlaki olarak gerekçelendirilebilir, hukuken meşru, ekonomik olarak uygulanabilir ve toplumsal kabul görür nitelikte olması beklenmelidir. Bu uygulamaların bir ülkedeki tüm bireyleri etkileyebileceği göz önüne alındığında, topluma yönelik şeffaf bilgilendirme süreçleri temel bir gerekliliktir. Şeffaflık ilkesi doğrultusunda, yapay zekâyâ ilişkin bilgiler güvenilir kaynaklardan, açık, sade ve erişilebilir bir dille kamuoyuna sunulmalıdır. İnsanların anlayamadığı, güven duymadığı ve faydasına ikna olmadığı sistemlerin uzun vadede başarıya ulaşması mümkün değildir (İlkılıç, 2021: 21).

Yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde karşılaşılan temel sorunlardan biri, tıbbi bilgi ile teknik altyapı arasındaki uyumsuzluktur. Algoritmaları geliştiren mühendislerin klinik bilgi eksikliği, belirli uzmanlık alanlarında iş akışlarının yeterince anlaşılamamasına ve sistem kaynaklı hatalara yol açabilmektedir. Benzer şekilde, bu sistemleri kullanan sağlık çalışanlarının teknolojik yeterliliklerinin sınırlı olması da yanlış değerlendirmelere ve klinik hatalara zemin hazırlamaktadır (Akalin ve Veranyurt, 2021: 237). Bu durum, yapay zekânın tıbbi kararların şekillenmesinde doğrudan etkili bir unsur olarak değerlendirildiği günümüzde, sorumluluğun kime ait olduğu konusunu daha da karmaşık hale getirmektedir. Dolayısıyla, bu teknolojilerin etik ve hukuki çerçevede değerlendirilmesi kaçınılmazdır.

Bu çalışma kapsamında, sağlık sektöründe hızla yaygınlaşan yapay zekâ uygulamalarının etik ve hukuki boyutları kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Yapay zekânın tanı ve tedavi süreçlerine entegrasyonu, sorumluluk paylaşımı,

hasta hakları, malpraktis sigortası ve algoritmik önyargılar gibi kritik konular detaylıca incelenmekte; bu teknolojilerin sağlık hizmetlerinde adil ve güvenli kullanımına ilişkin temel çerçeve ortaya konmaktadır.

Yapay Zekânın Sorumluluğu ve Hasta Hakları

İnsan hakları, medeni, siyasi, ekonomik, sosyal ve kültürel hakları kapsayan evrensel ilkelerdir. Bu haklar, birçok uluslararası anlaşma aracılığıyla hukuki zemine oturtulmuştur. Söz konusu anlaşmalar, sağlık ve refah için bir ön koşul olarak insan haklarının geliştirilmesi ve korunmasının önemini vurgulamaktadır (Gruskin vd., 2007: 450). Hasta hakları, insan hakları ile temel etik ilkelerin sağlık hizmetleri bağlamında somutlaşmış halidir. Bu haklar, bireyin yalnızca hekimle olan ilişkisini değil; sağlık kurumlarında görev yapan tüm sağlık profesyonelleri ve kurumun işleyişiyle olan etkileşimini de kapsamaktadır. Hasta haklarının temel amacı, hasta ile sağlık çalışanları arasında güvene dayalı bir ilişki kurulmasını desteklemek, bireylerin sağlık hizmetlerinden eksiksiz ve etkin biçimde yararlanmasını sağlamak, hizmet kalitesini artırmak ve hasta odaklı bir sağlık sistemi anlayışını güçlendirmektir. Bu nedenle, hasta hakları yalnızca hekim-hasta ilişkisi çerçevesinde ele alınmamalı; sağlık sisteminin tüm bileşenlerini kapsayan etik ve yapısal boyutlarıyla bütüncül bir çerçevede değerlendirilmelidir (Karaca ve Kılıçarslan, 2021: 431).

Hasta hakları, 01.08.1998 tarihli ve 23420 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan *Hasta Hakları Yönetmeliği* ile 08.05.2014 tarihli ve 28994 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan ek düzenlemelerde açıkça tanımlanmıştır. Bu yönetmeliklere göre, sağlık hizmetlerinin sunumunda sağlık kurum ve kuruluşlarının bazı temel ilkelere bağlı kalması zorunludur. Her bireyin bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali içinde yaşama hakkı, hizmetin her aşamasında gözetilmesi gereken en temel insan hakkı olarak kabul edilir. Kişinin yaşama, maddi ve manevi varlığını koruma ve geliştirme hakkı, hiçbir kişi ya da merci tarafından ortadan kaldırılamaz; bu doğrultuda hastalara daima insanca muamelede bulunulması esastır. Sağlık hizmetleri sunulurken ırk, dil, din, mezhep, cinsiyet, siyasi düşünce, felsefi inanç, ekonomik ve sosyal durum gibi farklılıklar dikkate alınmaksızın eşitlikçi bir yaklaşım benimsenmeli ve hizmetler herkesin kolayca erişebileceği şekilde planlanmalıdır. Tıbbi zorunluluklar ve yasal istisnalar dışında, hastanın açık rızası olmadan vücut bütünlüğüne veya kişilik haklarına müdahale edilemez. Kişi, rızası ve Bakanlık izni olmaksızın tıbbi araştırmalara tabi tutulamaz; yine, kanuni zorunluluklar dışında özel hayatı ve aile mahremiyeti ihlal edilemez. Bu ilkeler, sağlık hizmetlerinin insan onuruna saygılı, etik ve hukuka uygun bir zeminde sunulmasını teminat altına alır (Fırat, 2017: 162).

Hasta haklarının sağlık hizmetlerindeki kapsamlı etkisi ve önemi dikkate alındığında, sağlık hizmetlerinde giderek artan yapay zekâ uygulamalarının etik ve hukuki boyutları da kritik bir gündem maddesi haline gelmiştir. Bu bağlamda, mevcut literatür incelendiğinde tıbbi etik ilkelerinden “özerklik” ve “adalet” ilkeleri başta olmak üzere açıklanabilirlik ve hasta mahremiyeti gibi konuların yapay zekâ kullanımında en sık tartışılan etik meseleler arasında yer aldığı görülmektedir. Buna karşın, tıp etiğinin temel ilkelerinden biri olan “zarar vermeme” ilkesi, sağlıkta yapay zekâ kullanımıyla ilgili çalışmalarda görece daha az ele alınmıştır. Bu durum, hasta güvenliği açısından olası risklerin yeterince analiz edilmediğini ve klinik uygulamalarda bu ilkenin göz ardı edilme tehlikesini gündeme getirmektedir. Tıbbi yapay zekâ sistemleri, yüksek kaliteli ve büyük hacimli verilere ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu verilerin elde edilmesi zordur ve çoğu zaman tıbbi kayıtlardaki hatalar veya belirli hasta gruplarının yetersiz temsili gibi sorunları içerir. Bu durum, algoritmaların önyargılı kararlar üretmesine ve özellikle dezavantajlı gruplar için fiziksel ya da zihinsel zararlara yol açabilir. Yapay zekâyâ karşı güven eksikliği, dijital okuryazarlık eksikliği (özellikle yaşlı bireylerde) ve dijital araçlara sınırlı erişim gibi faktörler, bireylerin en temel hakkı olan sağlık hizmetlerine erişimi olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamaları kişisel ve hassas verilerin yasa dışı biçimde toplanması ve kullanılması riskini artırmakta; siber güvenlik, veri gizliliği ve hasta mahremiyeti haklarını tehdit etmektedir. Yapay zekânın karar alma süreçlerindeki hesap verebilirlik eksikliği, hatalı karar verme riski, kimlik doğrulama sorunları ve algoritmik önyargılar gibi teknik ve etik sorunlar, sağlık alanında kullanılan bu sistemlerin güvenilirliğine ilişkin ciddi endişeler doğurmaktadır. “Kara kutu” olarak adlandırılan, iç işleyişi açıklanamayan yapay zekâ sistemleri, bilgilendirilmiş onam sürecini karmaşıktırmakta ve hastaların özerkliğini zedeleyebilmektedir. Ayrıca bu sistemler, karar alma süreçlerinde sorumluluğun kime ait olduğunu belirsizleştirmekte; zarar durumunda hukuki tazminat yollarını muğlaklaştırmaktadır (Karimian vd., 2022: 548; Van Kolfshooten ve Shachar, 2023: 1; Al Kuwaiti vd., 2023: 13). Bir hekimin tanı sürecinde destek aldığı bir yapay zekâ sisteminin yanlış karar vermesi durumunda, sistemin sahibi, denetleyicisi ve sorumluluğunu üstlenecek kişi ya da kurumların kim olduğu hâlâ kesin olarak tanımlanmamıştır. Bu nedenle sorumluluk alanlarının netleştirilmesini sağlayacak uluslararası etik standartların oluşturulması zorunlu hale gelmiştir (Yorgancıoğlu Tarcan vd., 2024: 56).

Türkiye’de yapay zekânın hukuki statüsüne ilişkin henüz somut ve kapsamlı bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Bu alandaki tartışmalar, yapay zekânın eşya statüsünde kalması, tüzel kişilik kazanması ya da insan olmayan kişi, elektronik kişi veya yapay insan olarak tanımlanması gibi

farklı yaklaşımlar etrafında yoğunlaşmaktadır (Kara Kılıçarslan, 2019: 384). Mevcut belirsizlik, yapay zekânın kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek zararlar ve sorumluluk konularında hukuki boşluklara yol açmakta; özellikle sağlık hizmetlerinde yaşanabilecek hatalar karşısında sorumluluk dağılımını karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, yapay zekânın hukuki sorumluluğunun netleştirilmesi ve hasta haklarının etkin şekilde korunabilmesi için kapsamlı, güncel ve ulusal-uluslararası düzeyde düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tanı Hatalarında Yapay Zekânın Rolü

Yapay zekâ, hekimlerin bilgisayar destekli programlar aracılığıyla teşhis süreçlerini iyileştirmeye yönelik ilk girişimlerde bulunduğu 1950'lerden bu yana tıp alanında yer edinmiştir. Yapay zekâ, günümüzde tıbbi uygulamaların işleyişini kademeli olarak dönüştürmekte; klinik karar destek sistemlerinden teşhis, rehabilitasyon, cerrahi müdahalelere kadar pek çok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Özellikle klinik karar verme ve hastalık teşhisi, yapay zekânın en fazla etki oluşturduğu alanların başında gelmektedir. Yapay zekâ tabanlı sistemler; farklı veri türlerini yüksek hızla analiz edebilme, örüntüleri tanımlayabilme ve elde edilen sonuçları raporlayarak klinik karar süreçlerine rehberlik etme becerisi sayesinde, tıpta giderek daha merkezi bir rol üstlenmektedir (Secinaro vd., 2021: 1).

Son yıllarda, teşhis süreçlerinde yapay zekâ kullanımı giderek daha karmaşık algoritmalar içeren bir yapıya dönüşmektedir (Giavarina ve Vidali, 2023: 5). Yapay zekâ sistemleri; kanser, travma, Alzheimer hastalığı, koroner arter hastalığı, pnömoni ve beyin kanamaları gibi pek çok durumda tıbbi görüntüleri analiz ederek hastalıkları tanımlama, sınıflandırma ve tahmin etme işlevini üstlenmektedir. Bazı çalışmalarda bu sistemlerin, belirli tanı alanlarında hekimlerden daha yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı görülmektedir. Genelleştirilmiş yapay zekâ sistemleri (ChatGPT gibi), elektronik sağlık kayıtlarını analiz ederek klinik belirti ve semptomların erken teşhisi konusunda destek sağlayabilmekte; giyilebilir teknolojiler ise hastaların hayati verilerini uzaktan izleyerek olası sağlık sorunlarını önceden tahmin edebilmektedir (Baurasien vd., 2023: 3477; Solaiman ve Malik, 2025: 7). Bu gelişmelerin temelinde, sağlık verilerinin artan erişilebilirliği ile büyük veri analitiği ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin hızlı ilerlemesi vardır. Yapay zekâ sistemleri, klinik sorularla yönlendirilen algoritmalar aracılığıyla büyük miktarda veride saklı kalmış anlamlı örüntüleri ortaya çıkararak, tanı süreçlerinde hekimlere güçlü bir karar destek aracı sunmaktadır. Her ne kadar kısa vadede yapay zekânın hekimlerin yerini tamamen alması öngörülme de; radyoloji gibi belirli uzmanlık alanlarında insan muhakemesinin yerini kısmen

alabileceği ve klinik karar verme süreçlerini önemli ölçüde dönüştürebileceği düşünülmektedir (Jiang vd., 2017: 230; Varghese vd., 2024: 1257).

Yapay zekâ teknolojilerinin en önemli avantajlarından biri, büyük veri kümelerini yüksek hız ve doğrulukla işleyebilme yeteneğidir. Bu özellik, özellikle nadir görülen ya da karmaşık vakaların tanınmasında hekimlere önemli katkılar sunmaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, insan gözüyle fark edilmesi güç olan ince örüntüleri analiz edebilmekte; daha erken ve doğru tanı koyma imkânı sunarak tanı hatalarının önlenmesine ve hasta sonuçlarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Sağlık hizmetlerinde yapay zekâ kullanımına somut bir örnek, tıbbi görüntülerin analizinde kullanılan bilgisayar destekli algılama yazılımlarıdır. Bu yazılımlar, radyologlara meme kanserinin erken evreleri gibi gözden kaçabilecek anomalileri tespit etmede yardımcı olmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir araştırmada, psikoz riski taşıyan bireylerin elektronik sağlık kayıtlarının doğal dil işleme yöntemleriyle analizinin, geleneksel psikoz risk hesaplama yöntemlerine göre daha yüksek tahmin gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Bu tür uygulamalar, özel dikkat ve erken müdahale gerektiren hastaların belirlenmesini kolaylaştırarak klinik sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Abid vd., 2023: 69).

Yapay zekâ sağlık hizmetlerinde tanı süreçlerini desteklemesiyle önemli avantajlar sunsa da; hâlen karmaşık vakalarda hatalar yapabilmektedir. Bu durum, yapay zekâ sistemlerinin öğrenme sürecinde kullanılan veri setlerinin kapsam açısından sınırlı ve kalitesinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da yapay zekânın bazı klinik durumları tanıma konusunda “kör noktalar” geliştirmesine neden olmaktadır. Ayrıca, yapay zekânın klinik uygulamalara entegrasyonu belirli riskleri de beraberinde getirmektedir. Klinik uzmanlar, yapay zekâ çıktılarına aşırı güven duyabileceği gibi, bunun tam tersine gereğinden fazla güvensizlik de gösterebilirler. Aşırı güven, ince klinik ipuçlarının gözden kaçmasına, sistem önerilerine körü körüne bağlanılmasına ve hatalı kararların fark edilememesine yol açabilirken; aşırı güvensizlik, teknolojinin etkin kullanımını sınırlandırarak potansiyel faydaların önüne geçebilir (Taylor vd., 2025: 335). Hekimler gibi açık gerekçeler sunamayan yapay zekâ, karar süreçlerindeki şeffaflık eksikliği nedeniyle beklenmedik durumlarla başa çıkma ve olumsuz etkileri önleme konusunda belirsizliklere yol açmakta; bu durum yapay zekâ teknolojilerinin etkin ve güvenilir kullanımını sınırlamaktadır (Kabanda, 2024: 55).

Tıbbi tanı süreci, hekimin mesleki bilgi ve deneyimi doğrultusunda hasta için en uygun tedavi yolunun belirlenmesini amaçlar. Ancak bu süreçte meydana gelen tanı hataları, hasta güvenliği açısından ciddi sonuçlar doğurabilir ve hekimlerin hukuki sorumluluğunu gündeme getirir. Tıbbi uygulama hatası, bir hekimin kabul görmüş tıbbi bakım standartlarından saparak hastaya zarar

vermesi durumunda ortaya çıkar. Bu standartlar, ilgili uzmanlık alanlarındaki meslektaşların ortak uygulamaları temelinde şekillenir. Günümüzde, klinik karar destek sistemleri gibi yapay zekâ tabanlı teknolojiler hekimler tarafından tanı süreçlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak bir hekimin, iyi niyetle yapay zekâ sisteminin önerilerine dayanarak hareket etmesi ve bu sistemin hatalı çıktısı sonucu bakım standardının altında kalması durumunda, tıbbi uygulama hatası kapsamında hukuki sorumlulukla karşılaşabileceği unutulmamalıdır. Zira hekimler, yapay zekâ sistemlerinin sunduğu verilerden bağımsız olarak, kendi alanlarına özgü bakım standartlarını uygulamakla yükümlüdür. Yapay zekânın tıbbi karar süreçlerine entegrasyonuna dair içtihatlar henüz gelişmemiş olsa da; mevcut bazı dava örnekleri, hatalı kararların sorumluluğunun büyük ölçüde hekimlerde kaldığını göstermektedir (Maliha vd., 2021: 632). Nitekim, yapay zekâ yazılımlarının yalnızca destekleyici araçlar olarak değerlendirildiği bir ortamda, hekimlerin bu sistemlerin kararlarını sorgulamadan uygulamaları hâlinde de sorumluluktan kaçmaları mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, hekimler yapay zekâyı körü körüne takip etmek yerine, onu mevcut karar alma süreçlerine destek sağlayan bir araç olarak kullanmalı ve hukuki riskleri göz önünde bulundurmalıdır (Kumar vd., 2023: 14).

Tıbbi yazılımlar ve yapay zekâ sistemleriyle ilgili çeşitli dava örnekleri ortaya çıkmıştır. İlk olarak, bakım ya da kaynak yönetimi amacıyla kullanılan yazılımlarda yaşanan hatalar sonucu geliştiricilere karşı ürün sorumluluğu davaları açılmaktadır. Örneğin “*Lowe v. Cerner*” davasında, mahkeme ilaç yönetim yazılımındaki kullanıcı arayüzünün hekimleri hatalı planlama yapmaya yönlendirdiği iddiasını geçerli bulmuştur. “*Ambrose v. St. Joseph’s Hospital of Atlanta*” davasında, hastanenin cerrahi mikroskop yazılımını güncellememesi nedeniyle hasta zarar görmüş ve kurum sorumlu tutulmuştur. Bir diğer yaygın senaryo ise, hekimlerin klinik kararlarını verirken yazılım sistemlerine başvurduğu durumlardır. Bu tür davalarda, yazılımın hatalı önerileri sonucu hastaya zarar geldiğinde hekimler malpraktis suçlamasıyla karşı karşıya kalabilmektedir. Örneğin “*Sampson v. HeartWise Health Systems Corporation*” davasında, bir kardiyovasküler tarama yazılımı genç bir hastayı “normal” olarak sınıflandırmış; ancak hasta sonrasında kalp rahatsızlığından yaşamını yitirmiştir. Ailesi, yazılımın çıktısına aşırı güvenen doktorları dava etmiştir. Benzer şekilde “*Skounakis v. Sotillo*” davasında, yazılım önerisine dayalı zararlı ilaç kombinasyonu reçetesi nedeniyle doktorun sorumluluğu gündeme gelmiştir. Üçüncü dava türü, cerrahi robotlar, infüzyon pompaları veya implantlar gibi içine yazılım entegre edilmiş cihazlardaki arızalarla ilgilidir. Örneğin “*Sergeant v. Orthopedic Associates Medical Clinic*” davasında, bir infüzyon pompasının yanlış programlanması sonucu ölümcül morfin uygulanması gerçekleşmiş ve hem sağlık çalışanları hem de klinik sorumlu

tutulmuştur. Bu tür davalarda, davacılar sıklıkla yazılım ya da cihaz üreticilerine karşı tasarım, üretim veya uyarı kusuru iddialarında bulunmaktadır; ancak mahkemeler genellikle bu tür iddialarda yüksek düzeyde teknik ayrıntı ve somut tasarım kusuru gösterilmesini beklemekte, genel iddiaları yetersiz bulmaktadır (Mello ve Guha, 2024: 273).

Her yeni tıbbi uygulamada olduğu gibi, yapay zekâ temelli teşhis sistemlerinin kullanımı da beraberinde etik ve hukuki sorumlulukları getirmektedir. Ancak mevcut tıbbi standartlar, yapay zekânın klinik ortamlara entegrasyonuna henüz yeterli düzeyde rehberlik edememektedir. Bu eksiklik, teknolojinin sağlık sistemine güvenli ve tutarlı şekilde entegre edilmesini zorlaştırmakta; hukuki ve etik boşluklar oluşturmaktadır. Yakın gelecekte hukuk sistemlerinin, yapay zekâ tabanlı uygulamalar için yeni standartlar oluşturması ya da bu teknolojinin tıp alanında daha yavaş ve kontrollü bir biçimde entegrasyonuna yön vermesi beklenmektedir. Bu süreçte hem hastaları hem de sağlık çalışanlarını korumaya yönelik risk azaltma stratejileri geliştirme sorumluluğu; başta üreticiler, geliştiriciler ve sağlık kurumları olmak üzere tüm paydaşlara düşmektedir. Sağlık hizmetlerinin doğası gereği yüksek düzeyde kişisel etkiye dayalı olması, yapay zekânın bu alana entegrasyonunu hukuki anlamda daha da karmaşıktırmaktadır. Buna karşın, teknolojinin hızlı gelişimi ve artan klinik bilgi birikimi, gelecekte daha güvenilir ve şeffaf uygulama modellerinin geliştirilebileceğine dair umut vermektedir (Jorstad, 2020: 23).

Malpraktis Sigortası ve Yapay Zekâ

Dünya Tabipler Birliği, tıbbi malpraktisi; hekimin tedavi sürecinde standart uygulamayı yerine getirmemesi, yeterli mesleki beceriyi göstermemesi veya gerekli tedaviyi sunmaması sonucunda hastada meydana gelen zarar olarak tanımlamaktadır. Hekimlerin hastada zarara yol açan tıbbi müdahalelerinde kusurun varlığına göre hukuki sorumluluğu doğar. Bu tür hatalı uygulamalar sonucunda hekimler, maddi ve manevi zararların giderilmesine yönelik tazminat davalarıyla ya da eylemin suç teşkil etmesi durumunda ceza davalarıyla karşı karşıya kalabilir (Değdaş, 2018: 42). Ancak günümüzde sağlık alanında yapay zekâ sistemlerinin yaygınlaşması, malpraktis kavramına ilişkin yeni ve karmaşık hukuki tartışmaları gündeme taşımıştır. Bu sistemlerin yol açabileceği zarar durumlarında, hangi aktörün hangi gerekçeyle sorumlu tutulacağına dair net bir düzenleme mevcut değildir. Yapay zekâ sistemlerinin tüzel veya gerçek kişiliklerinin olmaması nedeniyle, doğrudan sorumlu tutulmaları mümkün değildir. Bu nedenle, ortaya çıkan zararların tazmininde; kullanıcı, sahibi, geliştiricisi veya işleten gibi kişiler kusursuz sorumluluk ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Yapay zekânın tehlikeli faaliyet kapsamında kullanıldığı durumlarda, işletme sahibi veya işletenin tehlike sorumluluğu devreye

girmelidir. Tehlikeli faaliyet kapsamına girmeyen hallerde ise, yapay zekânın öngörülemez uyum kapasitesi ve bilişsel özellikleri dikkate alınarak olağan sebep sorumluluğu hükümlerinin uygulanması, hukuki korumayı sağlamak açısından daha uygun görünmektedir. Ayrıca, yapay zekâ kaynaklı zararlar yalnızca özel hukuk bağlamında değil, ceza hukuku açısından da ciddi sorunlar doğurabilir. İnsan sağlığını ve hayatını etkileyebilecek nitelikteki zararlarda sorumluluğun belirlenmemesi, hem hukuk devleti ilkesi hem de toplumsal güvenlik açısından kabul edilemez bir boşluğa neden olur. Bu nedenle, yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, hem özel hukukta hem de ceza hukukunda sorumluluk rejimlerinin açık ve kapsamlı şekilde yeniden düzenlenmesi zaruri bir nitelik kazanmıştır (Güner, 2020: 264; Akbulut, 2023: 314).

Hastanelerde tıbbi uygulama hatalarına ilişkin sorumluluğu ele alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak sorumluluk meselesiyle birlikte yapay zekâ sistemlerinin kullanımını eşzamanlı olarak inceleyen kapsamlı bir çalışma henüz ortaya konmamıştır. Bunun temel nedeni, yapay zekâ sistemlerinin sağlık alanında görece yeni bir uygulama olması ve bu sistemlerin doğurduğu sorumluluk ilişkilerini analiz edebilmek için yeterli ölçüde veri bulunmamasıdır. Hekimlerin yapay zekâ sistemlerini kullanmasındaki temel motivasyonlardan biri, tanı ve tedavi süreçlerinde hata riskini azaltmak ve hizmet kalitesini yükseltmektir. Aynı zamanda, olası bir tıbbi hata durumunda, sorumluluğun belirli ölçüde yazılım üreticilerine aktarılması beklentisi de bu tercihleri şekillendirmektedir. Günümüzde yapay zekâ sistemleri büyük ölçüde hekimler tarafından sağlanan verilerle çalışmakta; bu durum hekimleri sürecin ayrılmaz bir parçası haline getirmektedir. Ancak sorumluluk riskinin farkında olan bazı hekimler, özellikle dava edilme kaygısıyla, doğrudan teşhis koymaktan kaçınma eğilimindedir (Chopard ve Musy, 2023: 8). Bu bağlamda, ‘malpraktis sigortası’ ya da diğer adıyla ‘hekim mesleki sorumluluk sigortası’ gündeme gelmektedir.

Malpraktis sigortası, sağlık alanında görev yapan hekimlere, mesleki faaliyetleri sırasında ortaya çıkabilecek zararlar karşısında hukuki ve mali koruma sağlayan bir güvencedir. Bu sigorta, hekimlerin tıbbi müdahaleleri sırasında yaptıkları hatalar nedeniyle karşılaşabilecekleri tazminat taleplerine karşı koruma sunmaktadır. Sigorta teminatı sayesinde hekimler, sağlık hizmetlerini daha güvenli ve kaygısız bir şekilde sunma imkânı bulmaktadır. Malpraktis sigortasının bulunmaması durumunda ise, hekimler hata yapma korkusuyla bazı durumlarda sağlık hizmeti sunmaktan çekinebilir veya gereksiz tıbbi işlemlere başvurarak kendilerini güvence altına almaya çalışabilir. Bu davranışların temelinde, yüksek tazminat ödeme riskiyle karşı karşıya kalma endişesi yer alır. Hekimler, düzenli sigorta primi ödeyerek bu korumadan yararlanır; olası bir malpraktis iddiasında sigorta şirketi hem hukuki süreçte

hekimin savunmasını üstlenir hem de hükmedilen tazminatın ödenmesini sağlar (Sungur, 2019: 200). Ancak bu koruma, genellikle yalnızca maddi zararlarla sınırlı kalmakta, sigorta şirketleri manevi tazminat taleplerini karşılamaktan kaçınmaktadır. Bu sınırlı yaklaşım, malpraktis sigortasının zorunlu ve kapsamlı bir güvence sistemi olma işlevini zayıflatmaktadır. Zira malpraktis vakaları çoğu zaman fiziksel olarak giderilemeyen zararlarla sonuçlanmakta ve ancak manevi tazminat yoluyla bir nebze telafi edilebilmektedir (Pandele, 2023: 159).

Tıbbi yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, yasal düzenlemelerin ve sorumluluk mekanizmalarının bu teknolojilere uyum sağlamasını zorunlu hale getirmiştir. Bu süreçte sorumluluğun yalnızca hekimlere değil; sağlık kuruluşlarına, yazılım geliştiricilerine ve yatırımcılara da dağıtılması gerekmektedir. Mevcut öneriler; yapay zekâ tasarımcılarının sistemlerinin yol açtığı zararlardan sorumlu tutulması, otonom sistemlerin insan müdahalesi olmadan hareket etmeleri halinde doğrudan sorumluluk üstlenmeleri ve hatta bazı durumlarda yapay zekâların, hekimler gibi malpraktis sigortası kapsamına alınması yönündedir. Tıbbi hata, ürün ve dolaylı sorumluluk unsurlarının birleşimi, zarar gören tarafın tazmin edilmesinde yükümlülüğün birden fazla taraf arasında paylaşılmasını mümkün kılar. Bu çok taraflı sorumluluk yapısı, malpraktis sigortasının yapay zekâ kaynaklı riskleri de kapsayacak şekilde genişletilmesini gerekli kılmaktadır. Böylelikle hem sağlık profesyonellerinin hem de yapay zekâ teknolojilerinin neden olduğu zararların adil ve etkin biçimde tazmin edilmesi sağlanabilir (Abdullah vd., 2021: 293).

Algoritmik Önyargılar ve Adil Kullanım

Algoritma, belirli bir problemi çözmek amacıyla izlenen, sonlu ve açık biçimde tanımlanmış adımlardan oluşan sistematik bir yapıdır. Bu yönüyle algoritmalar, problem çözümünde evrensel bir araç işlevi görmektedir. Bilgisayar tabanlı bu yapılar, aynı zamanda kullanıcının düşünme biçimini yansıttıkları için, düşünsel süreçlerin yapısal bir ifadesi olarak da değerlendirilebilir (Aytekin vd., 2018: 153).

Geçmişte algoritmalar, belirli kurallar ve sabit parametreler doğrultusunda insan eliyle programlanırken; günümüzde makine öğrenimi teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, bu sistemler veriler aracılığıyla kendi kendine öğrenebilen yapılara dönüşmüştür. Bu dönüşüm, yapay zekânın karar verme mekanizmalarında köklü değişikliklere yol açmıştır. İnsan denetiminden yoksun biçimde çalışan yapay zekâ sistemlerinin, eğitildikleri verilerde yer alan önyargı ve ayrımcılıkları yansıtmaya veya pekiştirme riski bulunmaktadır. Algoritmaların yapısı, kullandıkları veri setlerinin özelliklerine göre şekillendiğinden, bu tür sistemler toplumsal eşitsizlikleri derinleştirebilir (Abudureyimu ve Oğurlu, 2021: 774).

Algoritmaların, veri setlerine dayalı olarak kendi kendini geliştirebilir hâle gelmesi, yalnızca teknik bir ilerleme değil, aynı zamanda önemli etik riskleri de beraberinde getirmiştir. Bu risklerin başında gelen algoritmik önyargı, yapay zekâ sistemlerinin karar süreçlerine gerçek hayattaki sosyal eşitsizliklerin ve ayrımcı yapıların yansımaları olarak tanımlanabilir. Eğitim düzeyi, etnik köken, cinsiyet veya dini inanç gibi bireysel ya da toplumsal farklılıkların, veri setlerinde orantısız veya önyargılı biçimde temsil edilmesi, sistemin bu farklılıklara dayalı ayrımcı kararlar üretmesine yol açabilmektedir (Çetinkaya & Dondurucu Dede, 2023: 61; Durmuşahmet ve Soydaş, 2024: 33).

Yapay zekâ sistemlerinde ortaya çıkan önyargılar, makine öğrenimi algoritmalarının çıktılarında ortaya çıkan sistematik sapmalardır. Bu sapmalar, genellikle algoritma geliştirme sürecinde geliştiricilerin bilinçli ya da bilinçsizce yaptığı varsayımlardan veya veri setlerinde yer alan yapısal önyargılardan kaynaklanmaktadır. Söz konusu önyargıların temelinde ise, algoritmaları tasarlayan bireylerin sahip oldukları bilişsel önyargılar yer almaktadır. Psikoloji literatüründe de tanımlandığı üzere, insanlar çoğu zaman farkında olmadan karar alma süreçlerine önyargılarını yansıtmaktadır. Bu durum, yazılım geliştiricilerinin kodlama aşamasında kendi öznelliklerini algoritmaya aktarmalarına neden olabilmektedir. Öte yandan, eksik ya da dengesiz verilerden oluşan setlerin kullanılması da algoritmik önyargının nedenlerinden biridir (Kulaklı ve Kulaklı, 2021: 135). Dolayısıyla sistemlerin doğru çalışabilmesi için yüksek kaliteli, güvenilir ve önyargılardan arındırılmış veri setlerinin kullanılması gerekmektedir (Koç, 2025: 95).

Yapay zekâ, sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmanın yanı sıra, sağlık hizmetlerinin küresel ölçekte erişilebilirliğini artırma potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin adil biçimde gerçekleştirilmesi, algoritmaların eğitildiği veri kümelerinin çeşitliliğine ve temsil gücüne doğrudan bağlıdır. Veri setlerinde yer alan dengesizlikler veya yapısal önyargılar, belirli cinsiyet, etnik köken veya sosyoekonomik gruplara karşı sistematik ayrımcılık üreten karar süreçlerine yol açabilir. İnsan merkezli bir alan olan sağlıkta, algoritmaların hangi verilerle ve nasıl kararlar verdiğinin izlenememesi, hesap verebilirliği ve denetim mekanizmalarını zayıflatmakta; bu da adil hizmet sunumunu riske atmaktadır. Bu durum yalnızca bireylerin değil, toplumun genel adalet algısının da zedelenmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, yapay zekâ geliştiricileri, algoritmik önyargıları en aza indirme sorumluluğunu taşımaktadır. Kullanılan makine öğrenimi tekniklerinin yanı sıra, eğitim verilerinin kapsamı, çeşitliliği ve temsil gücü her aşamada dikkatle değerlendirilmelidir. Geliştiricilerin, hem teknik hem etik açıdan şeffaf, açıklanabilir ve denetlenebilir sistemler tasarlaması, sağlık alanında güvenilir ve adil bir yapay zekâ uygulamasının temel şartıdır (Gerke vd., 2020: 303; Maral, 2024: 19).

Yapay zekâ sistemlerinde önyargı yalnızca açık verilerden değil, aynı zamanda farkında olunmadan geliştirilen modellerden de kaynaklanabilir. Örneğin, doktorların yaş temelli kararlarında bilinçli ya da bilinçsiz ayrımcılık yapma eğiliminde olması, bu önyargıların algoritmalara da yansımaya neden olabilir. Bir sistem, yaşa dayalı önyargı içeren vakalarla eğitildiğinde, benzer ayrımcılığı yeniden üretebilir. Daha da önemlisi, bazı durumlarda yapay zekâ sistemleri, belirli yaş gruplarını bilinçli olarak dışlamadan, yalnızca istatistiksel verileri temel alarak fiilen ayrımcılığa yol açabilir. Örneğin, tedavi başarısını en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen bir algoritma, hasta uyumunun yaşla ilişkili olduğunu gösteren verileri dikkate alarak orta yaş grubundaki bireyleri daha az uyumlu kabul edebilir. Bu durumda sistem, bu hastalara en etkili tedavileri sunmaktan kaçınarak dolaylı fakat sistematik bir ayrımcılık gerçekleştirmiş olur (Ploug ve Holm, 2020: 110). Nitekim Amerika Birleşik Devletleri'nde, sağlık ihtiyaçlarını tahmin etmek amacıyla geliştirilen bir yapay zekâ aracı, Afrika kökenli Amerikalı hastaların bakım ihtiyaçlarını sistematik biçimde düşük tahmin ederek ciddi bir eşitsizliğe yol açmıştır. Bu tür örnekler, yapay zekâ uygulamalarının sağlık eşitsizliklerini artırma potansiyelini gözler önüne sermektedir. Yapay zekânın klinik ortamlarda güvenli ve adil biçimde kullanılabilmesi için algoritmalarda yer alan önyargıların tespiti ve giderilmesi temel bir zorunluluktur. Üstelik bu süreç yalnızca teknik müdahalelerle çözülebilecek bir mesele değil, aynı zamanda etik bir sorumluluk alanıdır. Sağlık hizmetlerinde kullanılan algoritmaların belirli grupları dışlamaması, mevcut eşitsizlikleri derinleştirmemesi ve toplumsal adalet ilkesine aykırı biçimde işlememesi, bu sistemlerin meşruiyetini ve toplumsal güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir (Kerasidou, 2021: 613).

Algoritmaların önyargısız, kapsayıcı ve güvenilir veri setlerine dayanarak geliştirilmesi; geliştirme süreçlerinde ise farklı disiplinlerden oluşan çeşitli ekiplerin yer alması oldukça önemlidir. Mevcut hukuki çerçevenin yetersizliği, algoritmaların kararlarının doğrudan hukuki sorumluluk doğurmamasına yol açsa da, etik sorumluluğun nihai olarak bu sistemleri tasarlayan ve kullanan insanlarda olduğu unutulmamalıdır. Kamuoyunda, yapay zekâ sistemlerinin belirli toplumsal gruplara karşı doğrudan ya da dolaylı ayrımcılık yapabileceğine dair güçlü endişelerin varlığı, bu teknolojilerin etik ve sosyal etkilerine yönelik farkındalığın arttığını göstermektedir. Özellikle sağlık alanında, geçmişte ortaya çıkan ayrımcı algoritmik uygulamalar, yapay zekâ araçlarının denetimsiz biçimde kullanılması durumunda mevcut eşitsizlikleri daha da derinleştirebileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, algoritmaların düzenli olarak izlenmesi, şeffaf biçimde açıklanabilir olması ve sağlık profesyonelleri ile kurumlarını hukuki ve etik sorumluluktan muaf tutmayacak şekilde yapılandırılması, adil ve güvenilir bir sağlık sistemi için temel gerekliliklerdir.

Yapay zekâdan tamamen vazgeçmek yerine, bu teknolojileri etik ilkelere ve hukuka uygun biçimde yönlendirmek, hem bilimsel gelişimin hem de toplumsal adaletin sürdürülebilirliği açısından daha doğru bir yaklaşım olacaktır (Naik vd., 2022: 5; Botha vd., 2024: 21).

SONUÇ

Yapay zekâ sistemlerinin karar alma süreçlerine dâhil edilmesiyle birlikte hasta hakları, mahremiyet, veri güvenliği ve algoritmik şeffaflık gibi temel etik ilkelerin yeniden değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Özellikle yapay zekâ sistemlerinin “kara kutu” niteliği, özerklik ve açıklanabilirlik ilkelerini zedelerken; algoritmik önyargılar, sağlık hizmetlerinde eşitsizlikleri derinleştirme riski taşımaktadır. Bu durum, yapay zekânın yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda etik, hukuki ve toplumsal etkileri olan bir bileşen olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yapay zekânın klinik ortamlarda oluşturabileceği zararların hukuki açıdan nasıl değerlendirileceği henüz netlik kazanmamıştır. Tanı hatalarında, hekimlerin bu sistemlere aşırı güvenmesi veya önerilere direnç göstermesi durumunda, sorumluluğun nasıl dağıtılacağı, mevcut hukuk sistemlerinde belirsizliğe neden olmaktadır. Malpraktis davalarında yapay zekâ kaynaklı hataların sorumluluğunun hekimler, sistemi geliştirenler, sağlık kurumları ya da sistem sahipleri arasında nasıl paylaştırılacağı konusu, ulusal ve uluslararası düzeyde yeni yasal düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır. Malpraktis sigortalarının kapsamının genişletilmesi ve yapay zekâ kaynaklı riskleri de kapsayacak şekilde yeniden yapılandırılması önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, yapay zekâ tabanlı sağlık uygulamalarının adil, güvenilir ve insan haklarına uygun bir şekilde hayata geçirilebilmesi; etik değerlere dayalı tasarım ilkeleri, hukuki netlik sağlayan düzenlemeler, mesleki sorumluluğu gözeten sigorta mekanizmaları ve algoritmik şeffaflık ilkesi doğrultusunda geliştirilen sistemler ile mümkün olacaktır. Sağlık gibi insan yaşamının doğrudan etkilendiği bir alanda, çok paydaşlı ve disiplinlerarası bir yaklaşımla, teknolojik ilerlemeler ile insani değerler arasında denge kurmak, hem bireysel hakların korunması hem de sürdürülebilir bir sağlık sisteminin inşası açısından oldukça önemlidir.

Kaynakça

- Abdullah, Y. I., Schuman, J. S., Shabsigh, R., Caplan, A. & Al-Aswad, L. A. (2021). Ethics of Artificial Intelligence in Medicine and Ophthalmology. *The Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 10(3), 289-298.
- Abid, M. H., Ahmed, A., Din, S. M. S. U., Abid, M. M. & Ratnani, I. (2023). Redesign of Health Care Systems to Reduce Diagnostic Errors: Leveraging Human Experience and Artificial Intelligence. *Perspectives*, 30(3), 67-70.
- Abudureyimu, Y. & Oğurlu, Y. (2021). Yapay Zekâ Uygulamalarının Kişisel Verilerin Korumasına Dair Doğurabileceği Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(41), 765-782.
- Akalın, B. & Veranyurt, U. (2021). Sağlık Hizmetleri ve Yönetiminde Yapay Zekâ. *Acta Infologica*, 5(1), 231-240.
- Akbulut, B. (2023). Yapay Zekâ ve Ceza Hukuku Sorumluluğu. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 27(4), 267-319.
- Al Kuawiti, A., Nazer, K., Al-Reedy, A., Al-Shehri, S., Al-Muhanna, A., Subbarayalu, A. V., Al Muhanna, D. & Al-Muhanna, F. (2023). A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, 13, 1-22.
- Aytekin, A., Sönmez Çakır, F., Yücel, Y. B., & Kulaöz, İ. (2018). Algoritmaların Hayatımızdaki Yeri ve Önemi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(7), 143-150.
- Baurasien, B. K., Alareefi, H. S., Almutairi, Diyanah B., Alanazi, Maserah M., Alhasson, Aseel H., Alshahrani, A. D., Almansour, S. A., Alshagag, Z. A., Alqattan, K. M. & Alotaibi, H. M. (2023). Medical Errors and Patient Safety: Strategies for Reducing Errors Using Artificial Intelligence. *International Journal of Health Sciences*, 7(S1), 3471-3487.
- Botha, N. N., Segbedzi, C. E., Dumahasi, V. K., Maneen, S., Kodom, R. V., Tsedze, I. S., Akoto, L. A., Atsu, F. S., Lasim, O. U. & Ansah, E. W. (2024). Artificial Intelligence in Healthcare: a Scoping Review of Perceived Threats to Patient Rights and Safety. *Archives of Public Health*, 82, 1-26.
- Chopard, B. & Musy, O. (2023). Market for Artificial Intelligence in Health Care and Compensation for Medical Errors. *International Review of Law & Economics*, 75, 1-9.
- Çetinkaya, A. & Dondurucu Dede, Z. B. (2023). Dijital haber üretim sürecinde algoritmik ön yargı/yanlılık üzerine yapılan akademik çalışmaların bibliyometrik analizi. Algoritmalar, Habercilik ve Medya kitabı içinde (s. 59-93). Nobel Yayınevi.
- Değdaş, U. C. (2018). Hatalı Tıbbi Uygulamadan (Malpraktis) Doğan Hukuki ve Cezai Sorumluluk. *Anadolu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 4(6), 41-65.
- Durmuşahmet, A. & Soydaş, N. (2024). Yapay Zekâ Odaklı İletişim Problemleri İknâ Ekonomisi ve Algoritmik Önyargı. 5. Uluslararası Medya Çalışmaları Sempozyumu (IMS 2024) – Bildiri Özeti Kitabı içinde (s. 32-36).
- Farhud, D. D. & Zokaei, S. (2022). Ethical Issues of Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare. *Iranian Journal of Public Health*, 50(11), i-v.
- Fırat, A. (2017). Türkiye Sağlık İşletmelerinde Hasta Hakları ve Sorumlulukları. *İstanbul Gelisim University Journal of Health Sciences*, 2, 157-173.
- Gerke, S., Minssen, T. & Cohen, G. (2020). Ethical and Legal Challenges of Artificial Intelligence-Driven Healthcare. In *Artificial intelligence in healthcare* (pp. 295-336). Academic Press.
- Giavarina, D. & Vidali, M. (2023). Collaborate to the Reduction of Diagnostic Errors. *Biochimica Clinica*, 47, 1-8.
- Gruskin, S., Mills, E. J. & Tarantola, D. (2007). History, Principles, and Practice of Health and Human Rights. *The Lancet*, 370(9585), 449-455.
- Güner, C. (2020). Yapay Zekânın Verdiği Zarardan Doğan Sözleşme Dışı Sorumluluğa Uygulanacak Hukuk. *Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi*, 8(15), 229-272.

- Güzel, Ş., Akman Dömbekci, H. & Eren, F. (2022). Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı: Nitel Bir Araştırma. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 509-519.
- İlkılıç, İ. (2021). Tıpta Yapay Zekâ Kullanımının Etik Açısından Değerlendirilmesi. *SD Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Dergisi*, 58(1), 18-21.
- 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.
- Jorstad, K. T. (2020). Intersection of Artificial Intelligence and Medicine: Tort Liability in the Technological Age. *Journal of Medical Artificial Intelligence*, 3, 1-28.
- Kabanda, N.D. (2024). The impact of AI on Reducing Medical Errors. *Eurasian Experiment Journal of Public Health*, 5(2), 53-57.
- Kara Kılıçarslan, S. (2019). Yapay Zekânın Hukuki Statüsü ve Hukuki Kişiliği Üzerine Tartışmalar. *Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi*, (2), 363-389.
- Karaca, Y. & Kılıçarslan, M. (2021). Hasta Hakları Uygulamalarının Hasta Memnuniyeti Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 22, 430-435.
- Karahan Adalı, G. (2023). The Ethical Dimension of Artificial Intelligence. *Journal of Data Applications*, 1, 35-48.
- Karimian, G., Petelos, E. & Evers, S.M.A.A. (2022). The Ethical Issues of the Application of Artificial Intelligence in Healthcare: a Systematic Scoping Review. *AI and Ethics*, 2, 539-551.
- Keleş, H. (2022). Tıpta Yapay Zekâ Uygulamaları. *Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 24(3), 604-613.
- Kerasidou, A. (2021). Ethics of Artificial Intelligence in Global Health: Explainability, Algorithmic Bias and Trust. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 11(4), 612-614.
- Koç, O. (2025). *Dijital Bilgi Yönetiminde Yeni Ufuklar: Yapay Zekâ Destekli Sistemler*. S. Koç, O. (Ed.), *Yapay Zekâ ve Bilgi Yönetimi: Sağlık, Eğitim ve Toplum için Yenilikçi Uygulamalar kitabı içinde* (s. 83-100). Özgür Yayınları.
- Kulaklı, A., & Kulaklı, B. (2021). *Yapay Zekâ Algoritma Önyargılarına Yönelik Analiz: Kalitatif Ön Test Çalışması*. S. Birgün, K. G. Gülen, A. Kulaklı & Y. Şahin (Ed.), *Akıllı Dönüşüme Yolculuk kitabı içinde* (s. 130-145). Artikel Akademi.
- Kumar, P., Chauhan, S. & Awasthi, L. K. (2023). Artificial Intelligence in Healthcare: Review, Ethics, Trust Challenges & Future Research Directions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 1-20.
- Maliha, G., Gerke, S., Cohen, I.G. & Parikh, R.B. (2021). Artificial Intelligence and Liability in Medicine: Balancing Safety and Innovation. *The Milbank Quarterly*, 99(3), 629-647.
- Maral, T. (2024). Sosyal Bilimlerin Kesişim Noktası: Yapay Zekâ ve Etik. *Ankara Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi (Yapay Zeka ve Sosyal Bilimler Öğretimi)*, 17-33.
- Mello, M.M. & Guha, N. (2024). Understanding Liability Risk from Using Health Care Artificial Intelligence Tools. *New England Journal of Medicine*, 390(3), 271-278.
- Naik, N., Hameed, B. M. Z., Shetty, D. K., Swain, D., Shah, M., Paul, R., Aggarwal, K., Ibrahim, S., Patil, V., Smriti, K., Shetty, S., Rai, B. P., Chlosta, P. & Somani, B. K. (2022). Legal and Ethical Consideration in Artificial Intelligence in Healthcare: Who Takes Responsibility? *Frontiers in Surgery*, 9, 1-6.
- Pandele, A. L. (2023). Medical Malpractice Insurance: Protecting Patients and Healthcare Professionals. *Technium Social Sciences Journal*, 45, 157-162.
- Ploug, T. & Holm, S. (2020). The Right to Refuse Diagnostics and Treatment Planning by Artificial Intelligence. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 23, 107-114.
- 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, 1-23.

- Solaiman, B. & Malik, A. (2025). Regulating Algorithmic Care in the European Union: Evolving Doctor–Patient Models Through the Artificial Intelligence Act (AI-Act) and the Liability Directives. *Medical Law Review*, 33(1), 1-22.
- Sungur, C. (2019). Hekimlerde Tıbbi Hata Suçlamalarına Karşı Savunmacı Tıp Davranışları. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 22(1), 191-206.
- Taylor, R.A., Sangal, R.B., Smith, M.E., Haimovich, A.D., Rodman, A., Iscoe, M.S., Pavuluri, S.K., Rose, C., Janke, A.T., Wright, D.S. & Socrates, V. (2025). Leveraging Artificial Intelligence to Reduce Diagnostic Errors in Emergency Medicine: Challenges, Opportunities, and Future Directions. *Academic Emergency Medicine*, 32(3), 327-339.
- Van Kolschooten, H. & Shachar, C. (2023). The Council of Europe’s AI Convention (2023–2024): Promises and Pitfalls for Health Protection. *Health Policy*, 138, 1-5.
- Varghese, C., Harrison, E.M., O’Grady, G. & Topol, E.J. (2024). Artificial Intelligence in Surgery. *Nature Medicine*, 30, 1257-1268.
- Yorgancıoğlu Tarcan, G., Yalçın Balçık, P. & 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.

GELECEK PERSPEKTİFİ: SAĞLIK 4.0 VE ÖTESİ

Mehmet ÇİNİBULAK¹, Dilek UYSAL²

1. Giriş

Çağımızdaki teknolojik ilerlemeler, insan yaşam kalitesini önemli ölçüde artırmış ve sağlık sektöründe yenilikçi yaklaşımların benimsenmesine olanak tanımıştır. Özellikle büyük veri kullanımındaki artış, yapay zeka (YZ) tabanlı çözümlerin sağlık hizmetlerinde etkin bir şekilde uygulanmasını teşvik etmiştir (Jiang, 2017). Büyük verinin analitik süreçlerde işlenmesi ve değerlendirilmesinde, YZ teknolojilerinin yaygınlaşması, sağlık sektöründeki dijitalleşme sürecini hızlandırmıştır. Sağlıkta dijitalleşme, dijital teknolojilerin birey ve toplum sağlığını geliştirme ve iyileştirme amaçlı kullanılmasını ifade etmektedir (Alonso, 2022). Bu teknolojiler, sağlık hizmetlerinin kişiselleştirilmesine katkıda bulunmakta, aynı zamanda bilgi erişimi ve uygulama süreçlerinde kapsamlı bir bütünlük sağlamaktadır.

Sağlık kuruluşları, rekabet avantajı elde etmek ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmak amacıyla sundukları hizmetlerin kalitesini artırmak zorundadır. Bu süreçte, maliyet etkinliğini sağlamak da kritik bir önem taşımaktadır. Sağlık teknolojileri, bu bağlamda maliyetleri düşürürken nitelikli hizmet sunumunu temin etmede etkili bir rol oynamaktadır.

Küresel ölçekte incelendiğinde, sağlık sektörünün başta gelişmiş ülkeler olmak üzere ülkelerin Gayri Safi Milli Hasılları içinde önemli bir paya sahip olduğu gözlemlenmektedir (Asiltürk Okutan, 2024). Teknoloji ve bilişim alanındaki sürekli yenilikler, sağlık sektöründe rekabeti artırmış ve bu durum, sektörün dijitalleşmeye adaptasyonunu zorunlu kılmıştır. İklim değişikliği, ulaşım ve enerji gibi küresel sorunların çözümünde kritik rol oynayan YZ ve diğer ileri teknolojik uygulamalar, sağlık sektöründeki zorlukların üstesinden gelinmesinde de önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle süreçleri hızlandırma

1 Arş.Gör. Kafkas Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-4131-9419>, mehmet.cinibulak06@gmail.com

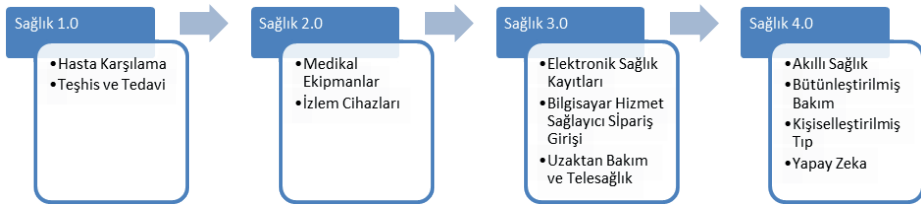
2 Dr.Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-8591-3065>, dilekvuraluysal@gmail.com

ve maliyetleri düşürme potansiyelleri nedeniyle bu teknolojiler, sağlık endüstrisinde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Sağlık 4.0 dönemi ile birlikte metaverse, dijital ikizler ve nanorobotlar gibi birçok güncel uygulamanın sağlık alanında yer edinmesi hız kazanmıştır. Pandemi sürecinde ise tüm dünyada uzaktan sağlık hizmeti sunumunun acil bir şekilde uygulanabilir hale getirilmesinin ne denli hayati olduğu gözler önüne serilmiştir. Bu deneyim, uzaktan sağlık hizmetlerinin benimsenmesini ve yeni bakım modellerine geçişi hızlandırmıştır. Kitabın bu bölümünde; ilk olarak Sağlık 4.0 kavramı açıklanacak olup ardından metaverse teknolojisi ve sağlıkta kullanım alanları, dijital ikiz kavramının ne olduğu ve hasta simülasyonlarında nasıl kullanıldığı, vücut içinde nanorobotlar ile tedavilerin nasıl gerçekleştiği konularına değinilerek, günümüzde ve gelecek açısından sağlık sistemlerinde hangi dijital teknolojilerin ön plana çıktığına /çıkacağına dair bilgiler verilecektir.

2. Sağlık 4.0

Sağlık 4.0 (S4.0), Endüstri 4.0 ile paralel olarak ortaya çıkmıştır. Sağlık hizmeti sunum süreci; IoT (nesnelerin interneti), RFID (radyo frekansı tanımlama), giyilebilir cihazlar ve her türlü tıbbi cihaz, akıllı sensörler, tıbbi robotlar vb. ile donatılmış siber-fiziksel bir sistem haline gelmekte ve bunlar bulut bilişim, büyük veri analizi, yapay zeka ve karar destek teknikleriyle entegre edilerek akıllı ve birbirine bağlı bir sağlık hizmeti sunumu elde edilmektedir. Bu sistem içerisinde, sağlık hizmeti sunan kurum ve kuruluşlar birbirine bağlanırken, kullanılan tüm ekipmanlar, cihazlar ve hastaların kendi yaşam alanları da birbirine bağlanmaktadır. İlaç geçmişi, tanısı, laboratuvar sonuçları ve planlanmış tedavisi gibi hastaya ait tüm bilgiler bu paylaşım ağı içerisinde yer almaktadır. YZ aracılığı ile proaktif tedavinin geliştirilmesi, hastalığın tahmini ve önlenmesi, kişiye özel tıp ve ileri düzeyde hasta merkezli bakımda öngörülmektedir. Bu sebeple, S4.0 içerisinde yaygın, akıllı ve birbirine bağlı bir sağlık bakım sürecinden bahsedebilir (J. Li & Carayon, 2021). S4.0; teknik bir yapı değildir, aynı zamanda sağlık sistemlerinin hedeflerine ulaşabilmesi için genel bir amaca odaklanmış, iç içe geçmiş sosyal ve teknik sistemlerin karmaşık bir şekilde oluşturduğu bir birleşimdir (Sony vd., 2023:22). S4.0, sağlık hizmetlerinin yüksek kalitede sunumunda, maliyetler ve kaynak kullanımı üzerindeki kontrolü sağlamanın yanı sıra bu süreçte verimlilik ve etkinliğin artırılmasında rol oynamaktadır (Al-Jaroodi vd., 2020). Aşağıdaki Şekil 1.'de, Sağlık 4.0'ın temel bileşenleri ve Sağlık 4.0'a geçiş sürecinin öncesi ve onlara ait bileşenler görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Sağlık 4.0'a Geçiş Süreci.

Kaynak: (J. Li & Carayon, 2021)

S4.0'ın öne çıkan en önemli özelliği, insan faktörüne yer vermesi olup insanların katılımıyla ilgili olmasına dayanır. S4.0'da hasta bireylerin bakımıyla ilgilenenler ve klinisyenler, hastanın sağlık durumunun izlenmesine, semptomlarının tespitine, ona ait tedavi ve bakım planlarının, kararların paylaşılmasına ve tüm bu süreçlere katılma konusuna giderek daha fazla dahil olmakta ve sorumlulukları paylaşmaktadırlar. Bu da gösteriyor ki, daha önemli roller üstlenildikçe, hasta bakımını yapanlar ve klinisyenler S4.0'ın merkezinde yer alacaklardır. (Li&Carayon, 2021) S4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için; sağlık ekosisteminin dijital entegrasyonu ve bağlantısının sağlanması, sağlık hizmeti sağlayıcılarının insan odaklı otomasyonu, hasta odaklılığın ve hasta deneyiminin iyileştirilmesi, büyük veri ve analitiğinin kullanılması, S4.0'ı teşvik etme stratejilerinin benimsenmesi, S4.0 için bir kültür oluşturulması ve teşvik edilmesi, sağlık liderliği çalışmalarının gerçekleştirilmesi, sağlık çalışanlarının teknoloji becerilerinin yükseltilmesi ve hizmet sunum süreçlerinde yeni iş modellerinin benimsenmesi gerekmektedir (Sony vd., 2023).

S4.0 hedeflerine ulaşılabilmesi için bilgisayar teknolojileri, mühendislik, ekonomi, sosyal bilimler, halk sağlığı, epidemiyoloji ve benzeri bilim dallarındaki gelişmeleri bir araya getiren çok disiplinli bir ortam sağlanması gerekir. Bu çok disiplinli ortam, S4.0'ın kaliteli bakım sağlamada ve sağlık hizmeti sunumunda sosyal ve insani yönlerin dahil edilerek teknolojinin ötesinde yer almasına olanak sağlayacaktır (Jayaraman vd., 2020:23). Bu güçlü sistem içerisinde; önemli ve özel verilere erişebilmek ve işlerin nasıl yapıldığı konusunda yüksek düzeyde kontrol sahibi olmak, bu tür sistemleri kullanan ve yönetenlerin etiği ve etik davranışları konusunda büyük bir soru işareti yaratmaktadır (Al-Jaroodi vd., 2020). Çünkü bu teknolojinin içerisinde, insanlık değerlerini ve etik ilkeleri korumak gerekmektedir. Genel olarak baktığımızda; donanım (tıbbi ekipman, cihazlar ve araçlar) ve yazılım (modelleme, hesaplama, değerlendirme, vb.) S4.0'ın içerisinde yer almalıdır. Ayrıca, sosyoteknik bir yaklaşım ile insan-makine ve insan-teknoloji etkileşimlerinin,

akıllı teknolojilerin etkili bağlantılarını ve güvenli uygulamalarını sağlamak için kritik bir nokta olduğu unutulmamalıdır (J. Li & Carayon, 2021).

3. Metaverse ve Dijital İkizlerin Sağlıkta Kullanımı

Sağlık sektöründe genel olarak profesyonellerin emeğinin yüksek seviyede gerçekleştiği bir hizmet sunulmaktadır. Sunulan bu hizmette emek boyutuyla beraber teknolojinin de etkisi artarak genişlemektedir. Herhangi farklı bir alanda ortaya çıkan bir teknolojik sistem ya da aracın sağlık alanında uygulanabilirliği her zaman denenmektedir. Son zamanlarda bunun iki örneği, metaverse ve dijital ikiz teknolojileri olarak gerçekleşmiştir.

3.1. Metaverse

Metaverse, sanal mekanların son teknoloji ile birleştirilmesi ile oluşturulan sanal, aynı zamanda dijital ve üç boyutlu bir evren olarak bilinmektedir. İnternet dünyasının mevcut durumunu ve sınırlarını değiştirmek ve daha sürükleyici, daha ilgi çekici bir ortam yaratmayı amaçlamaktadır. Kullanıcıların dijital avatarlarının gerçekçi olarak yansınmasıyla, paylaşımlı ve sürükleyici, gerçek yaşamın benzeri bir ortamda birbirleriyle etkileşime girmesine olanak tanıyan bir bilgisayar simülasyon ortamıdır (Musamih vd., 2023).

Sağlık alanı açısından Metaverse'in, hastalıkların önlenmesi ve tedavileri arasındaki ilişkide önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Çünkü Metaverse'in kanser, nörodejeneratif bozuklukların tanısı, felç, anksiyete ve depresyon gibi hastalıkların tanısı, tedavisi, cerrahi prosedürleri ve rehabilitasyonu için tatmin edici sonuçlarla benimsenebileceği üzerinde durulmaktadır (Kan Yeung vd., 2021). Ayrıca, sağlık alanı özelinde fiziksel dünya ve Metaverse arayüz ve bağlantılarla bir araya gelip bir veri deposu oluşturmaktadır.

Sağlık alanında son zamanlarda kullanımı tercih edilen metaverse teknolojisi üzerinde uygulama açısından bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar şu şekilde sıralanabilir (Wang vd., 2024):

- *Teknolojik Olgunluk ve İstikrar:* Özellikle uzaktan tanı konulması, cerrahi simülasyon, sanal terapi gibi alanlarda olgunlaştırılmış ve istikrar gösteren teknik destek eksikliğinin giderilmesi, istikrar ve güvenilirliğin sağlanması hem hasta güvenliği hem de sağlık hizmeti kalitesinin korunması için önem taşımaktadır.
- *Veri Gizliliği ve Güvenliği:* Metaverse'in sağlık hizmetlerinde kullanımının yaygınlaşması ile birlikte, hastalara ait sağlık verilerinin gizliliği ve güvenliğinin sağlanması daha fazla önem kazanmaktadır. Çünkü hasta verilerine yetkisiz erişimin ve kötüyü kullanılmasının önlenmesi gerekmektedir. Erişim için sıkı kontrol mekanizmalarının

geliştirilmesi ve koruma için şifreleme sistemlerinin devreye sokulması gerekmektedir.

- *Kullanıcı Deneyimi ve Erişilebilirlik*: Metaverse platformunun kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması, sağlık profesyonellerinin ve hastaların süreç yönetimi ve iletişim türlerine hızla uyum sağlamalarına yardımcı olacaktır. Ayrıca bu konu ile ilgili eğitim ve destek hizmetleri sağlanması gerekmektedir.
- *Yasal Düzenlemeler ve Düzenleyici Politikalar*: Metaverse platformunun kullanımının yaygınlaşması ile birlikte platformun kullanımı ve çalışmasını düzenlemek için gerekli yasal düzenlemelerin ve düzenleyici politikaların belirlenmesi gerekmektedir. Bu düzenlemelerin içinde veri gizliliği ve güvenliği, tıbbi sanal gerçeklik teknoloji standartları ile ilgili yasal düzenlemeler ve tıbbi cihaz kullanımına ilişkin düzenlemelerde dahil edilmelidir.
- *Maliyet ve Kaynak Yatırımı*: Metaverse uygulaması, donanım ekipmanı, yazılım geliştirme, yetenek eğitimi ve diğer yönleri içeren önemli miktarda maliyet ve kaynak yatırımı gerektirir. Metaverse teknolojisini kullanacak olan sağlık kurumları ve kuruluşlarının; maliyet etkinliğini göz önünde bulundurarak uzun vadeli faydaları ve mevcut tıbbi sistemlerle uyumluluğu ve entegrasyonun kapsamlı bir şekilde değerlendirmesi gerekmektedir.

Metaverse teknolojisinin kullanım zorlukları olmasının yanı sıra bu teknolojiyi kullanmanın sağlık alanı özelinde sağlamış olduğu çok önemli yararlar da bulunmaktadır. Bu yararlar ise şöyle açıklanabilir (Bansal vd., 2022):

- Bireyler genelde hastaneye gitmeyi veya doktor muayenehanesini yaptırmayı rahatsız edici bulur. Metaverse, bu konuda hastanın konforunu sağlarken, hasta ve sağlık profesyoneli arasındaki iletişimi kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra, elektronik sistemler aracılığı ile hastaya ait tıbbi bilgiler ve raporlar güvenli bir biçimde bir başka sağlık kurumuna ve sağlık profesyoneline rahatlıkla aktarılır. Bu sayede, bireyler sisteme güven duyar ve bu sistemden yararlanmak ister.
- Fiziksel mesafenin söz konusu olduğu yerlerde özellikle olağanüstü (afet, savaş vb.) durumlarında sağlık hizmeti arayışında sıkıntılar doğmaktadır. Bu tür yerlerde veya koşullarda acil sağlık hizmeti sunmak için metaverse teknolojisinden yararlanılabilir. Ayrıca, sağlık kurumuna ulaşılmasında yaşanacak sıkıntılar göz önünde bulundurulduğunda metaverse sayesinde, hastalar evde tedavi edilebilir.

- Mobil işbirliği ile ortaya çıkan modern bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, sağlık kurum ve kuruluşları ile sağlık profesyonelleri arasında önemli tıbbi vaka bilgilerinin paylaşılmasını ve üzerinde tartışılmasını kolaylaştırmıştır.
- Metaverse, sağlık hizmeti maliyetlerinin azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Teletıp, bilgisayar, tablet ve telefon teknolojileri kullanılarak hasta izleminin sağlanması sağlık hizmeti maliyetini azaltmış, ayrıca doktor reçetelerinin onaylanması ve ilaç denetiminin sağlanmasında da sistem için kolaylık sağlamıştır.

3.2. Dijital İkizler

İlk olarak 2002 yılında ürün yaşam döngüsü yönetimi için tanımlanan bir kavram olan dijital ikiz; fiziksel bir sistemle sanal temsili bir sistemi birbirine bağlayan, ikili bilgi akışını üçlü sisteme çeviren bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Grieves, 2014). Dijital ikiz modellemesi oluşturabilmek için fiziksel bir varlık, süreç veya nesnenin temsili bir sanal kopyasını oluşturmak gerekir. Dijital ikizler gerçek dünyanın dijital ortama yansımasıdır. Gerçek dünyada var olan fiziksel nesnelerin dijital ortamda da yer almasıdır. Bunlar, metaverse'in gerçekliğini sağlayan içsel nitelikleri ile metaverse'in temelini oluşturmaktadır. Metaverse içerisinde dijital ikizler, bir nesneyi veya varlığı üç boyutlu temsili ile birlikte kullanıcılarına sürükleyici deneyimler ve süreçlerde sunar. Ayrıca dijital ikizler sistem içerisinde tek başlarına değildir. Dağıtılmış defter teknolojisi (DLT) ve genişletilmiş gerçeklik (XR) teknolojileriyle birlikte entegre olmuş durumdadır. Bu teknolojiler arasındaki güçlü ve etkili iş birliği sayesinde, dijital ikizler her zaman güncel, uyumlu ve nesnenin gerçekte olduğu ile eşdeğer durumunun temsil edilmesini sağlar (Musamih vd., 2023:37).

Dijital ikizlerin sağlık alanında kullanımı farklı açılardan birçok yarar sağlayabilmektedir. Dijital ikizler; elektronik sağlık kayıtları, giyilebilir cihazlar ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli kaynaklardan gelen verileri entegre ederek, hasta sağlığı ile bütünsel bir değerlendirme çerçevesinde, kişiselleştirilmiş ve hızlı çözüm yaklaşımı ile hasta bakımını kolaylaştırır. Dijital ikizler, öngörüsü yüksek analizler ve makine öğrenme algoritmaları aracılığı ile sağlık risklerini öngörebilir ve önleyici müdahaleleri devreye sokabilir (Garg vd., 2022). Bunun yanı sıra; sağlık hizmeti eşitsizliklerinin ortadan kaldırılması adına, sosyal güvence yani sağlık sigortası kapsamında bireylerin yaşam tarzlarını ve çevresel faktörlerini izleyerek hangi hastalık risklerine maruz kalabileceklerini belirleyerek hangi sağlık güvencesi kapsamına alınmasını belirleyebilir. Hasta ile ilgili sağlık verilerine sağlık hizmeti sunucuların erişimini kolaylaştırabilir. Hastanın kendi takibini yapabilmesini kolaylaştırır. Hasta güvenliği ve bu durumun uzun vadeli sonuçları üzerinde etkili olabilir (Abd Elaziz vd.,

2024:28;Vallée, 2023). Dolayısıyla dijital ikizlerin sağlık alanında kullanımının yaygınlaşması, bu faydaları daha genele yayarak etkisini büyütebilir.

3.2.1. Dijital İkizler ile Hasta Simülasyonları

Dijital ikizler, mateverse teknolojisi ile birlikte sağlığın birçok alanında hızla yerini almaktadır. Hastalıkların teşhisinde, tedavisinde, önlenmesinde, hasta bakım kalitesini iyileştirmede, ilaç üretiminden onkolojik tedaviye kadar sağlık hizmeti sunumunun içerisinde her gün biraz daha yaygınlaşarak yeni olanaklar yaratmaktadır. Biyobelirteç ve ilaç keşfi için dijital ikizlerdeki dinamik değişiklikler, hücresel ve genom düzeyindeki modelleme çalışmalarına dahil edilebilir. Her alerjik ve inflamatuvar hastalık, farklı hastalık evrelerinde değişen, birden fazla hücre tipinde binlerce farklı şekilde ifade edilen gen içermektedir. Dijital ikizler ile selüloz ve genom verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi ile kişiselleştirilmiş tedavi, yeni ilaç çalışmaları ve ilaç kombinasyonlarının geniş kapsamlı klinik etkileri belirlenebilir(X. Li vd., 2022:19). Sepsisli kritik bir hastanın dijital ikizinin geliştirilmesi ve pilot testlerinin yapılarak nedensel yapay zeka uygulamalarının doğrulanması ve prospektif geçerliliği için model oluşturulmuş olması, dijital ikiz modellerinin eğitim, araştırma ve karar desteği için yararlanılacağına bir kanıtı niteliğini taşımaktadır (Lal vd., 2020:6)

Dijital ikizlerin cerrahi süreçlerde yer alması, cerrahların doğru tanı koymalarına, operasyonu planlamalarına ve sağlık sonuçlarını iyileştirmelerine yardımcı olmak için kullanılabilir. Söz konusu süreçlerde dijital ikizler ile ameliyathanelerin planlanması ve uygulanması, ameliyat sırasında cerrahlara geri bildirim sağlayarak cerrahların doğru karar vermesini ve komplikasyonların önlenmesini, ameliyattan sonra hasta takibini gerçekleştirerek cerrahların olası sorunları erken tespit etmelerine yardımcı olabilir. Yeni aletlerin, yeni tekniklerin veya yeni tedavilerin ilk olarak dijital ikizde denenmesi ile birlikte hasta için risk en aza indirilebilir ve klinik denemelere öncülük edilebilir (Abd Elaziz vd., 2024; Ahmed & Devoto, 2021)

Dijital ikizlerin kardiyolojik rahatsızlıklarda kullanılması; klinik kararları iyileştirmek için mekanik ve istatistiksel veriler sunması, tanıya yardımcı olma, tedavileri yönlendirme, prognoz değerlendirilmesi, kanıt oluşturmak için veri bütünlüğünün sağlanması, bulguların doğrulanmasına yönelik model oluşturulması, düzenleyici karar alma süreçlerini hızlandırmak için kritik araçlar olarak modellerin oluşturulması, tüm bu aşamaların sağlanması ile birlikte kardiyolojik hastalıkların tespitinde ve tedavisinde önemli katkılar sağlayacaktır (Corral-Acero vd., 2020; Sel vd., 2024). İlaç uygulamalarında ya da ilaç eksikliğinde hastalıklara yol açan bir karaciğer hasarı için dijital ikizlerin kullanıldığı bir çalışmada; adi diferansiyel denklemlere dayalı bir matematiksel çerçeve kullanılarak çeşitli karaciğer fonksiyonlarını, hastalıkları ve ilaçların

etkisini inceleyerek kazanılan bilgi ve anlayışı entegre ederek karaciğerin bir dijital ikizi geliştirilmiş ve ikizin normal karaciğer fonksiyonunu, hastalığın evrimini ve tedavinin etkisini yeniden üretmede etkili olduğu gösterilmiştir (Subramanian, 2020).

İnme tanılarında dijital ikizler; istatistiksel analiz, revize edilmiş beyin simetri indeksi, teta ve delta aktivitelerinin felçli hastaları ve sağlıklı bireyleri motor ve bilişsel durumlarda sınıflandırmak için ilgili özellikler olduğunu ortaya koymuş ve makine öğrenimi yaklaşımını kullanılarak, destek vektör makinesi ve felç ve kontrol grubunu sınıflandırmak için spesifik özellikte veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti üzerinden dijital ikiz bağlantısı kurulmuştur. Sonuç olarak, bu sağlık hizmeti için dijital ikiz çerçevesinin felç önleyici tedbirler ve felç sonrası tedavi için klinik karar almada yardımcı olabileceği üzerinde durulmuştur (Hussain vd., 2021). Olasılıksal sinir ağları kullanılarak multipl sklerozlu dijital ikizler üretilmesi üzerine yapılan çalışmada, gerçek hastalara ait bilgilerin aynı temel verilerle simüle edilerek dijital ikizlerin üretilmesi, hastalık ilerlemesinin bu ikizler üzerinden takip edilerek analizlere tabi tutulması ile üretilen dijital ikizlerin bir dizi ölçüt boyunca gerçek denek muadillerinden istatistiksel olarak ayırt edilemez olduğu ortaya konulmuştur (Walsh vd., 2020).

Yapılan bir çalışmada, dijital ikizlerin onkolojiye entegrasyonun büyük bir vaat taşıdığı üzerinde durulmuştur. Dijital ikizler sayesinde karar alma süreçlerinin iyileştirilmesi, geliştirilmiş tedavi planlaması ve terapiye gerçek zamanlı ayarlamalar yapma olanağı, klinik denemelerin optimize edilmesi, ilaç geliştirilmesi, radyoterapi ve kemoterapi uygulamalarının kişiselleştirilmesi noktasında birçok yeniliği beraberinde getirdiğine vurgu yapılmıştır (Giansanti & Morelli, 2025). Tümör tedavilerine yönelik dijital ikizler özelinde yapılan bir çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin entegre multimodal veriler ve dinamik modelleme yoluyla kişiselleştirilmiş tedavi planlarını en üst seviyede gerçekleştirerek tümör tedavisinde kullanılmasının önemi üzerinde durulmuştur (Shen vd., 2025).

Dijital ikizler vasıtasıyla, yoğun bakım ünitelerinden alınan elektronik sağlık kaydı verileri ile model oluşturmak için kullanılarak yinelemeli iyileştirme ve doğrulama üzerine, modelin hastane bilgi sistemine entegre edilmesi ile birlikte sistemin tam teşekküllü bir dijital ikizi olarak gerçek yaşam olaylarını simüle etme potansiyeli oluşturulmuştur. Böylece; tıbbi ekipman, esnek personel, iş akışı değişikliği ve hasta kabul, taburcu ve transfer kararları gibi yoğun bakım kaynaklarının gerçek zamanlı tahsisini araştırmak için ve sağlık hizmeti sunumu yeniliği için kullanılacak bir dijital ikiz modeli ortaya konulmuştur (Zhong vd., 2022).

Dijital ikizler kişiselleştirilmiş tedavinin yanı sıra, bireylerin günlük sağlık izlemlerindeki sağlık sunumuna da katkı sağlayacaktır. Sağlık bozukluklarını kesin olarak tahmin etme ve hafifletme önerileri sağlama yeteneği, kronik, bulaşıcı olmayan hastalıkların tespitini ve teşhisini kolaylaştıracaktır. Ancak tüm bunların yanı sıra, uygulamada karşılaşılan gizlilik sorunları, mahremiyet, veri deposunun güvenliği, kötü niyetli saldırı riski gibi birçok engellerle karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır (Zhang vd., 2024)

4. Vücut İçi Nanorobotlar ile Tedavi

Son yıllarda nanoteknoloji, özellikle nanomedikal alanında, elektroniklerin iletişim ve çevresel izleme uygulamalarında hızla yaygınlaşmasıyla dikkat çekici bir teknolojik eğilim olarak ön plana çıkmıştır. Günümüzde, bilim insanları tarafından başta insanların yaşam süresini etkileyen hastalıklar olmak üzere, tedavi seçeneklerinin sınırlı olduğu bilimsel darboğazlar üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Bu bağlamda, ilaç verme sistemleri, tanı ve tedavi için alternatif bir yaklaşım olarak tıp camiasında önemli bir yer edinmiştir (Aggarwal ve Kumar, 2022).

Nanorobotlar, mevcut makinelerle aynı işlevselliği sunabilen minyatür makineler olarak tanımlanmaktadır. Bu minyatür makinelerin uygulama alanları oldukça geniştir; tıp, endüstri ve enerji tasarrufu gibi çeşitli alanlarda nanomotorların geliştirilmesiyle önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle tıpta, nanorobotlar kısırlık sorunlarının azaltılmasında da etkili olabilmektedir. Bir motor görevi görerek spermilere bağlanmaları ve hareketliliklerini artırmaları, bu alandaki potansiyellerini göstermektedir. Nanorobotlar üzerine yapılan araştırmalarda, organik ve inorganik nanorobotlar şu ana kadar en çok incelenen türler olmuştur. Bu iki kategori, farklı yapısal özelliklere ve dolayısıyla farklı uygulama yeteneklerine sahiptir (Wang vd., 2020)). Nanorobotlar, mikroeletromekanik sistemlere benzer şekilde, bu sistemlerin minyatürleştirilmiş bir bölümünü temsil etmektedir. Bu alandaki araştırmalar, biyomedikal nanoteknolojinin tasarımı, mimarisi, üretimi, programlanması ve uygulanmasını kapsamaktadır. Robotik sistemlerin temel bir ön koşulu olan aktüasyon, yani hareket mekanizması, nanorobotik araştırmalarında kritik bir odak noktası olmaktadır (Acebes-Fernandez, 2020).

Nanorobotların organik insan hücreleri ve organları ile karşılaştırılabilir boyutlarda olması, onları sağlık hizmetlerinde ve mikroorganizmaların çevresel izlenmesinde geniş bir kullanım yelpazesine uygun hale getirmektedir. Hücrelere ulaşabilecek kadar küçük olmaları, hücre iyileşmesi gibi potansiyel uygulamaların önünü açmaktadır. Ayrıca, küçük sensör ve aktüatörlerin, güçlü bir şekilde birbirine bağlı, yükselen bir bilgi teknolojisi altyapısının temel bir bileşeni olduğu henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bu vizyon, kardiyovasküler

sistemde bulunarak enfeksiyonları çok düşük konsantrasyonlarda tespit edip yok eden yapay hücrelerin geliştirilmesini içermektedir. Bu tür programlanabilir sistemler, tıpta devrim niteliğinde sonuçlar doğurarak tedavi yaklaşımlarına yeni alternatifler sunabilir (Soto vd., 2020).

Geleneksel kanser tedavisinde kullanılan kemoterapötik ajanlar, vücutta non-spesifik olarak dağılarak hem malign hem de normal hücreler üzerinde toksik etkiler göstermekte, bu da uygulanabilir ilaç dozunu kısıtlamakta ve şiddetli yan etkilere yol açmaktadır. Bu eksikliğin üstesinden gelmek amacıyla moleküler odaklı tıbbi bakım, işbirlikçi bir yöntem olarak gelişmektedir. Nanoteknolojinin sağladığı olanaklarla, çeşitli ilaç hedefleme mekanizmaları kullanılarak kanser hücrelerinde ilaçların hücre içi birikimi artırılırken, normal hücrelerde istenmeyen ilaç toksisitesi riski en aza indirilebilmektedir (Sivasankar ve Durairaj, 2012). Bu durum, nanorobotların kanser tedavisinde daha etkili ve güvenli stratejiler geliştirmedeki potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Nanomekanikğin erişilebilir hale gelmesiyle birlikte, tıp tarihi boyunca hekimlerin ve şifacıların nihai hedefi olan hassas tedavi mümkün hale gelebilmektedir. Nanometre hassasiyetinde üretilen programlanabilir ve kontrol edilebilir nano ölçekli bileşenlere sahip mikro ölçekli robotlar, tıp doktorlarının hücresel ve moleküler düzeylerde doğrudan iyileştirme ve rehabilitasyon operasyonları gerçekleştirmesini sağlayabilecektir. Bu olanak, hastalıkların kök nedenlerine inilerek, geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan alanlarda tedavi imkanları sunacaktır (Aggarwal ve Kumar, 2022). 21. yüzyılın hekimleri, vücudun doğal terapötik kapasitelerini ve homeostatik sistemlerini etkin bir şekilde kullanmaya devam edecektir. Çünkü, diğer tüm koşullar eşit olduğunda en az müdahale eden tedaviler her zaman en iyisidir. Nanorobotlar bu ilkeyle uyumlu olarak, vücudun kendi kendini iyileştirme mekanizmalarını destekleyecek ve yönlendirecek şekilde tasarlanabilecektir. Bu yaklaşım, minimal invaziv tedavilere odaklanarak hasta iyileşmesini hızlandırmayı ve yan etkileri en aza indirmeyi hedeflemektedir.

5. Küresel Sağlık Sistemlerinde Teknolojik Trendler

Küresel çapta ortaya çıkan teknolojik ilerlemeler, sağlık alanındaki hizmet üretim ve sunum süreçlerini yeniden tanımlarken, sağlık kuruluşları için de tıbbi operasyonel sınırları genişletmektedir. Bu süreçte, teknolojik ve dijital bağlamda belirli koşulların önümüzdeki dönemde büyüme göstermesi beklenmektedir. Artan hasta sayıları ile başa çıkma gerekliliği, hastaneleri dijitalleşmeye yöneltmiştir. Bu dönüşümün bir sonucu olarak, sağlık teknolojisi pazarının 2025 yılında 880,56 milyar dolara ulaşacağı ve 2034 yılına kadar 3304,84 milyar dolarlık bir büyüme kaydedeceği öngörülmektedir. Bu tahminler

doğrultusunda, 2025-2034 yılları arasında %15,83'lük bir bileşik yıllık büyüme oranı beklenmektedir (Shuliak, 2025).

Büyük hasta geçmişi veri kümelerinin otomatik işlenmesinden uzaktan bakıma kadar, sağlık hizmetlerinde en son teknolojilerin uygulanması, sağlık kurum ve kuruluşlarının yapay zeka destekli araçlar aracılığıyla teşhisleri yönlendirmesine katkıda bulunmaktadır. Bu durum da nihayetinde hasta memnuniyetinin artmasını ve daha iyi karar alma süreçleri için veri yönetimini optimize etme imkanı ile birlikte sağlık bakım kalitesini en üst seviyeye çıkartabilir.

Sağlık sektöründeki yeni teknolojiler, sağlık kurumlarının modern zorlukların üstesinden gelmelerine yardımcı olmanın yanı sıra, sağlık hizmeti kullanıcıları arasında da önemli bir talep görmektedir. Deloitte'un raporuna göre, üst düzey yöneticilerin yaklaşık %90'ı 2025 yılında dijital teknolojilerin hem sağlık hizmeti sunucuları hem de sağlık hizmeti kullanıcıları tarafından daha hızlı benimsenmesini beklemektedir. Dijitalleşmeye yönelik artan bu talep, sağlık yöneticilerinin operasyonlarında teknolojik çözümlere yönelmesinin başlıca nedenlerinden biridir. Ayrıca, sağlık endüstrisinde faaliyet gösteren şirketlerin %70'i dijital araçlara ve teknoloji platformlarına yatırım yapmanın operasyonları için kritik olduğuna inanmaktadır (Deloitte, 2024).

Pandemi dönemi, teletıp ve Tıbbi Nesnelerin İnterneti (IoMT) gibi teknoloji trendlerinin küresel dijital sağlığı şekillendirmesinde belirleyici olmuştur. YZ ve makine öğrenimi, özellikle hasta ihtiyaçlarını karşılama ve sağlık kuruluşlarının yönetimi ile karar alma süreçlerinde analitik kapasiteyi güçlendirme konusunda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu gelişmeler ışığında, sağlık kurumlarının sağlık hizmetlerinde en son teknolojileri aktif olarak uygulamaya devam ettikleri ifade edilebilir.

Sağlık sektörü, global ölçekte ivme kazanan teknolojik gelişmeler ve dinamikleşen ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli bir evrim geçirmektedir. Bu dönüşüm, sağlık hizmetlerinin kalitesini optimize etme, erişilebilirliğini artırma ve hasta merkezli bakım yaklaşımlarını güçlendirme hedefleriyle çeşitli inovasyonları ve eğilimleri bünyesinde barındırmaktadır. Aşağıda, sağlık sektöründeki güncel uygulamalar ve yeni gelişmeler detaylandırılmıştır (AFC,2024):

- *Dijital Dönüşüm:* Sağlık hizmetlerinde dijital teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Elektronik sağlık kayıt sistemleri, teletıp uygulamaları ve yapay zeka destekli araçlar, sağlık hizmetlerinin etkinliğini ve erişilebilirliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.
- *Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi:* YZ ve makine öğrenimi, sağlık alanında teşhis, tedavi ve hasta bakım süreçlerini radikal bir şekilde

dönüştürmektedir. Yapay zeka algoritmaları, geniş ölçekli veri setlerini analiz ederek hastalıkları daha hızlı ve daha yüksek doğrulukla teşhis edebilmektedir. Ek olarak, tedavi planlarının kişiselleştirilmesi ve hasta takibinin optimize edilmesi konusunda önemli katkılar sağlamaktadır. Makine öğrenimi ise sağlık hizmetlerinde daha akıllı ve veri odaklı kararlar alınmasına zemin hazırlamaktadır.

- *Kişiselleştirilmiş Tıp:* Genetik ve biyobelirteç verilerinden faydalanılarak her birey için özelleştirilmiş tedavi protokolleri geliştirilmektedir. Kişiselleştirilmiş tıp, bireysel genetik yapıya, yaşam tarzına ve sağlık geçmişine dayalı olarak kişiye özgü sağlık hizmetleri sunarak tedavi etkinliğini maksimize etmektedir.
- *Teletıp ve Mobil Sağlık Uygulamaları:* Teletıp ve mobil sağlık uygulamaları, sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştıran ve bu hizmetlerin daha geniş bir kitleye ulaşmasını sağlayan anahtar araçlardır. Teletıp, hastaların uzaktan sağlık danışmanlığı ve tedavi hizmetlerine erişimini mümkün kılarken, mobil sağlık uygulamaları sağlık takibi, randevu yönetimi ve sağlık verilerinin izlenmesi konularında önemli destek sunmaktadır.
- *Veri Gizliliği ve Siber Güvenlik:* Veri gizliliği ve siber güvenlik, sağlık sektöründeki dijitalleşmenin beraberinde getirdiği önemli zorluklardır. Hastaların hassas sağlık verilerinin korunması, hasta güvenliğinin sağlanması ve siber tehditlere karşı direncin artırılması kritik bir öneme sahiptir. Sağlık kuruluşları, sıkı veri koruma ve siber güvenlik önlemleri uygulayarak hasta bilgilerinin bütünlüğünü ve gizliliğini temin etmekle yükümlüdür.
- *Sürdürülebilir Sağlık:* Sürdürülebilir sağlık, çevre dostu uygulamalar ve optimize edilmiş kaynak yönetimi ile sağlık hizmetlerinin çevresel ayak izini azaltmayı hedeflemektedir. Bu eğilim, sağlık sektöründe enerji verimliliğini artırma, atık yönetimini iyileştirme ve çevre dostu materyallerin kullanımını teşvik etme gibi uygulamaları içermektedir.
- *Gen Düzenleme (CRISPR) Teknolojisi:* Gen düzenleme teknolojisi, özellikle genetik hastalıkların tedavisinde ve bireysel sağlık sorunlarının çözümünde önemli bir potansiyel sunmaktadır. CRISPR-Cas9 sistemi, genetik materyal üzerinde hassas modifikasyonlar yaparak tedavi yaklaşımlarını dönüştürmektedir (Marley, 2025).
- *3D Yazıcı Teknolojileri:* 3D yazıcılar, organ biyo-baskısı, kişiselleştirilmiş protez üretimi ve farmasötik ürünlerin kişiye özel dozajlanmasında devrim niteliğinde bir rol oynamaktadır. Bu teknoloji, bireysel ihtiyaçlara uygun organ ve ilaç üretimini mümkün kılmaktadır.

- *Giyilebilir Teknolojiler ve Biyosensörler*: Akıllı saatler ve fitness araçları ve giyilebilir biyosensörler, kişisel sağlık takibini kolaylaştırmakta ve etkinleştirmektedir. Bu cihazlar, kalp atış hızı, uyku düzeni ve fiziksel aktivite gibi biyometrik verileri sürekli izleyerek bireysel sağlık durumunun analizine olanak tanımaktadır.
- *Sanal ve Artırılmış Gerçeklik (VR/AR)*: Sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, tıp eğitimi ve cerrahi uygulamalarda yeni boyutlar kazandırmaktadır. Bu teknolojiler, cerrahlara ve tıp öğrencilerine simüle edilmiş ortamlarda pratik yapma ve gerçek dünya senaryolarını deneyimleme imkânı sunarak eğitim ve uygulama becerilerini geliştirmektedir.
- *Yaşayan İlaçlar*: Bu konsept, insan mikrobiyomu ve probiyotiklerin sağlık üzerindeki etkilerini derinlemesine araştırmaktadır. Mikrobiyom, bağırsak sağlığı ve genel sistemik sağlık üzerinde kritik bir rol oynamaktadır. Probiyotikler, mikrobiyom dengesini modüle ederek çeşitli sağlık sorunlarının önlenmesinde ve tedavisinde potansiyel faydalar sunabilmektedir (Khristich ve Nazarov, 2025).
- *Kanser Tedavisinde İmmünoterapi*: İmmünoterapi, kanser tedavisinde devrim niteliğinde bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu tedavi yöntemi, hastanın kendi bağışıklık sistemini kanser hücrelerine karşı aktive ederek ve güçlendirerek kanserin daha etkili bir şekilde tedavi edilmesini sağlamaktadır. İmmünoterapiler, kanser tedavisinde kişiselleştirilmiş ve hedefe yönelik yaklaşımların önünü açmaktadır.
- *Mental Sağlık Uygulamaları*: Pandemi süreci sonrası mental sağlık, daha fazla dikkat ve destek gerektiren öncelikli bir alan haline gelmiştir. Mental sağlık uygulamaları, stres yönetimi, anksiyete ve depresyon gibi yaygın mental sağlık sorunlarına yönelik destek ve müdahale sağlamaktadır. Bu uygulamalar, bireylerin mental iyi oluşlarını iyileştirmelerine katkıda bulunmaktadır.

Sağlık sektöründeki bu kapsamlı trendler ve gelişmeler, gelecekte sağlık hizmetlerinin daha etkin, erişilebilir ve kişiselleştirilmiş bir yapıya kavuşmasını sağlayacaktır. Teknolojinin ve inovasyonların sağlık alanındaki rolü giderek artarken, bu değişiklikler sağlık hizmetlerinin genel kalitesini ve hasta deneyimini önemli ölçüde iyileştirecektir. Ayrıca, ekonomik olarak zaten büyük olan sağlık endüstrisinin ve bu alana bağlı sağlık ekonomisi hacminin ülke sağlık sistemlerinden bu alana ayrılacak kaynaklarla beraber daha da büyüyerek rekabet açısından stratejik bir alan olabileceği söylenebilir.

6. SONUÇ

Sağlık 4.0'da; hastalar, bakım verenler ve sağlık profesyonelleri de dahil olmak üzere insanlar, hem araştırma hem de uygulamada akıllı ve bağlantılı sağlık bakımının merkezinde yer almalıdır. Akıllı ve birbirine bağlı sağlık bakımı tasarlanmasında ve uygulanmasında insanların özelliklerinin, ihtiyaçlarının, yeteneklerinin ve kısıtlamalarının göz önünde bulundurulması en önemli detaylardan biri olarak görülmektedir (J. Li & Carayon, 2021). Metaverse, sanal bir dünya içerisinde avatarlarla yaşam bulan bir simülasyondur. Gerçek dünyanın yerini tutması beklenemez. Sağlık dünyasında, fiziksel temas, göz teması, yüz ifadeleri, jestler ve mimikler sağlık hizmeti sunumunda ve alımında önemli bir yer tutmaktadır. Metaverse ile sağlık sorunlarını önleme ve tedavi mümkün ancak, kaliteli ve standartlaştırılmış bir eğitim ile birlikte dünya veri tabanının oluşturulması ile sağlık bakım kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir araç olarak düşünülebilir. Tüm bu süreçler içinde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar olan mahremiyet, veri gizliliği ve etik değerlerin gözden kaçırılmaması gerekmektedir. Bu doğrultuda, dijitalleşme sürecinde bireylerin mahremiyetinin korunması ile ilgili yasal düzenlemelerle açık bir nokta kalmayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Metaverse, dijital ikizler, vücut içi nanorobotlar hasta bakım kalitesini yükseltmeye ve tıbbi konularda yer alan uzmanlık alanlarında klinik sonuçların iyileştirilmesinde ve hastalık yükünün azaltılmasında etkin rol oynamaktadır. Gelecek zaman dilimi içerisinde; bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulması, bireye yönelik hastalıkların doğru tahmini, sağlık senaryolarının hazırlanarak komplikasyonların minimize edilmesi ve en önemlisi tedavi sonuçlarının en üst seviye çıkarılabilmesi için bireyselleştirilmiş hasta izleme, takip ve iyileştirme simülasyonların hazırlanması çokta uzak gözüküyor. Dijital çağ sonrası için planlamaların yapılması hem sağlık sunucuları, hem sağlık profesyonelleri hem de sağlık hizmeti kullanıcıları için geleceğin en önemli yatırımı arasında yer almaktadır.

Kaynaklar

- Abd Elaziz, M., Al-qaness, M. A. A., Dahou, A., Al-Betar, M. A., Mohamed, M. M., El-Shinawi, M., Ali, A., & Ewees, A. A. (2024). Digital twins in healthcare: Applications, technologies, simulations, and future trends. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 14(6), 1–29. <https://doi.org/10.1002/widm.1559>
- Acebes-Fernández, V., Landeira-Viñuela, A., Juanes-Velasco, P., Hernández, A. P., Otaño-Perez, A., Manzano-Román, R., ... & Fuentes, M. (2020). Nanomedicine and onco-immunotherapy: from the bench to bedside to biomarkers. *Nanomaterials*, 10(7), 1274.
- Aggarwal M, Kumar S (September 20, 2022) The Use of Nanorobotics in the Treatment Therapy of Cancer and Its Future Aspects: A Review. *Cureus* 14(9): e29366. doi:10.7759/cureus.29366
- Ahmed, H., & Devoto, L. (2021). The Potential of a Digital Twin in Surgery. *Surgical Innovation*, 28(4), 509–510. <https://doi.org/10.1177/1553350620975896>
- Al-Jaroodi, J., Mohamed, N., & Abukhousa, E. (2020). Health 4.0: On the Way to Realizing the Healthcare of the Future. *IEEE Access*, 8, 211189–211210. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038858>
- All For Clinics. (2024). Sağlık Sektöründe Güncel Trendler ve Gelişmeler. <https://allforclinics.com/saglik-sektorunde-guncel-trendler-ve-gelistmeler/> Erişim Tarihi: 10.06.2025
- Alonso, R. G.(2022). Digital health and artificial intelligence: advancing healthcare provision in latin america. *IT Professional* 2022;24(2):62-68.
- Asıltürk Okutan Y.(2024). Bölüm 3- Sağlıkta dijitalleşme: Yapay zekanın sağlık turizmine yansımaları. Karaçar, E. (ed), Şat, R. (ed) (2025). Dijital Pazarlama Çalışmaları. 71-84. Gaziantep: Özgür Publications.
- Bansal, G., Rajgopal, K., Chamola, V., Xiong, Z., & Niyato, D. (2022). Healthcare in Metaverse: A Survey on Current Metaverse Applications in Healthcare. *IEEE Access*, 10(October), 119914–119946. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3219845>
- Corral-Acero, J., Margara, F., Marciniak, M., Rodero, C., Loncaric, F., Feng, Y., Gilbert, A., Fernandes, J. F., Bukhari, H. A., Wajdan, A., Martinez, M. V., Santos, M. S., Shamohammadi, M., Luo, H., Westphal, P., Leeson, P., DiAchille, P., Gurev, V., Mayr, M., ... Lamata, P. (2020). The “Digital Twin” to enable the vision of precision cardiology. *European Heart Journal*, 41(48), 4556–4564B. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa159>
- Deloitte. (2024). 2024 Küresel Sağlık Sektörü Görünümü. <https://www.deloitte.com/tr/tr/Industries/life-sciences-health-care/analysis/global-health-care-outlook.html> Erişim Tarihi: 10.06.2025.
- Garg, H., Sharma, B., Shekhar, S., & Agarwal, R. (2022). Spoofing detection system for e-health digital twin using EfficientNet Convolution Neural Network. *Multimedia Tools and Applications*, 81(19), 26873–26888. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11578-5>
- Giansanti, D., & Morelli, S. (2025). Exploring the Potential of Digital Twins in Cancer Treatment : A Narrative Review of Reviews. *Journal of Cinic Medicine*, 14(10), 3574. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2022235>
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White paper, 1(2014), 1-7.
- Marley, R. (2025). 2025’in en önemli tele sağlık trendleri. <https://healthcaretransformers.com/digital-health/current-trends/top-telehealth-trends-2025/> Erişim Tarihi: 10.06.2025
- Hussain, I., Hossain, M. A., & Park, S. J. (2021). A Healthcare Digital Twin for Diagnosis of Stroke. *Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Biomedical Engineering, Computer and Information Technology for Health, BECITHCON 2021*, 18–21. <https://doi.org/10.1109/BECITHCON54710.2021.9893641>
- Jayaraman, P. P., Forkan, A. R. M., Morshed, A., Haghighi, P. D., & Kang, Y. Bin. (2020). Healthcare 4.0: A review of frontiers in digital health. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(2), 1–23. <https://doi.org/10.1002/widm.1350>

- Jiang F. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology* 2017;2:230-243.
- Kan Yeung, A. W., Tosevska, A., Klager, E., Eibensteiner, F., Laxar, D., Stoyanov, J., Glisic, M., Zeiner, S., Kulnik, S. T., Crutzen, R., Kimberger, O., Kletecka-Pulker, M., Atanasov, A. G., & Willschke, H. (2021). Virtual and augmented reality applications in medicine: Analysis of the scientific literature. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2). <https://doi.org/10.2196/25499>
- Khrstich, S., & Nazarov, V. (2025). 2025'te En Önemli 17 Sağlık Teknolojisi Trendi. <https://tateeda.com/blog/healthcare-technology-trends>Erişim Tarihi: 10.06.2025.
- Lal, A., Li, G., Cubro, E., Chalmers, S., Li, H., Herasevich, V., Dong, Y., Pickering, B. W., Kilickaya, O., & Gajic, O. (2020). Development and Verification of a Digital Twin Patient Model to Predict Specific Treatment Response during the First 24 Hours of Sepsis. *Critical Care Explorations*, 2(11), E0249. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000249>
- Li, J., & Carayon, P. (2021). Health Care 4.0: A vision for smart and connected health care. *IJSE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 11(3), 171–180. <https://doi.org/10.1080/24725579.2021.1884627>
- Li, X., Lee, E. J., Lilja, S., Loscalzo, J., Schäfer, S., Smelik, M., Strobl, M. R., Sysoev, O., Wang, H., Zhang, H., Zhao, Y., Gawel, D. R., Bohle, B., & Benson, M. (2022). A dynamic single cell-based framework for digital twins to prioritize disease genes and drug targets. *Genome Medicine*, 14(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s13073-022-01048-4>
- Musamih, A., Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., Al-Hammadi, Y., Omar, M., & Ellahham, S. (2023). Metaverse in Healthcare: Applications, Challenges, and Future Directions. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 12(4), 33–46. <https://doi.org/10.1109/MCE.2022.3223522>
- Sel, K., Osman, D., Zare, F., Masoumi Shahrababak, S., Brattain, L., Hahn, J., Inan, O. T., Mukkamala, R., Palmer, J., Paydarfar, D., Pettigrew, R. I., Quyyumi, A. A., Telfer, B., & Jafari, R. (2024). Building Digital Twins for Cardiovascular Health: From Principles to Clinical Impact. *Journal of the American Heart Association*, 13(19), 1–22. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.031981>
- Shen, S., Qi, W., Liu, X., Zeng, J., Li, S., Zhu, X., Dong, C., Wang, B., Shi, Y., Yao, J., Wang, B., Jing, L., Cao, S., & Liang, G. (2025). From virtual to reality: innovative practices of digital twins in tumor therapy. *Journal of Translational Medicine*, 23(1), 348. <https://doi.org/10.1186/s12967-025-06371-z>
- Shuliak, M. (2025). Top Healthcare Technology Trends in 2025 to Elevate Your Medical Business. <https://acropolium.com/blog/top-healthcare-technology-trends/>. Erişim Tarihi: 10.06.2025.
- Sivasankar, M., & Durairaj, R. (2012). Brief review on nano robots in bio medical applications. *Adv Robot Autom*, 1(101), 2.
- Sony, M., Antony, J., & Tortorella, G. L. (2023). Critical Success Factors for Successful Implementation of Healthcare 4.0: A Literature Review and Future Research Agenda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4669. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054669>
- Soto, F., Wang, J., Ahmed, R., & Demirci, U. (2020). Medical micro/nanorobots in precision medicine. *Advanced science*, 7(21), 2002203.
- Subramanian, K. (2020). Digital Twin for Drug Discovery and Development—The Virtual Liver. *Journal of the Indian Institute of Science*, 100(4), 653–662. <https://doi.org/10.1007/s41745-020-00185-2>
- Vallée, A. (2023). Digital twin for healthcare systems. *Frontiers in Digital Health*, 5(September), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1253050>
- Walsh, J. R., Smith, A. M., Pouliot, Y., Li-Bland, D., Loukianov, A., & Fisher, C. K. (2020). Generating Digital Twins with Multiple Sclerosis Using Probabilistic Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:2002.02779*. <http://arxiv.org/abs/2002.02779>
- Wang, Y., Zhu, M., Chen, X., Liu, R., Ge, J., Song, Y., & Yu, G. (2024). The application of metaverse in healthcare. *Frontiers in Public Health*, 12(July), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1420367>

- Wang, W., Wu, Z., & He, Q. (2020). Swimming nanorobots for opening a cell membrane mechanically. *View*, 1(3), 20200005.
- Zhang, K., Zhou, H.-Y., Baptista-Hon, D. T., Gao, Y., Liu, X., Oermann, E., Xu, S., Jin, S., Zhang, J., Sun, Z., Yin, Y., Razmi, R. M., Loupy, A., Beck, S., Qu, J., & Wu, J. (2024). Concepts and applications of digital twins in healthcare and medicine. *Patterns*, 5(8), 101028. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2024.101028>
- Zhong, X., Babaie Sarijaloo, F., Prakash, A., Park, J., Huang, C., Barwise, A., Herasevich, V., Gajic, O., Pickering, B., & Dong, Y. (2022). A multidisciplinary approach to the development of digital twin models of critical care delivery in intensive care units. *International Journal of Production Research*, 60(13), 4197–4213.