



İLERİ SAĞLIK TEKNOLOJİLERİ I Akıllı Sağlık Uygulamaları ve Veri Analizi ile Sağlık Sorunlarını Tanımlamak



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.



1. GİRİŞ

Sağlık hem kişisel hem de toplumsal olarak büyük önem taşımaktadır. Toplumsal açıdan sağlık, refah ve esenliğin merkezinde yer almaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında sağlık hizmetleri, dünyanın en büyük sektörlerinden biridir. Kalite, erişim ve maliyet sorunları sürmekle birlikte modern sağlık hizmetleri hızla ilerlemekte, geçmişe oranla çok daha fazla hastalığa çare bulunmaktadır. Yeni teknolojiler, tedavi yöntemlerine benzersiz yenilikler getirmektedir. Geniş bant internet ve mobil iletişim teknolojileri, giyilebilir elektronik, nesnelerin interneti, bulut bilişim ve robotlar gibi yeni teknolojiler sayesinde sağlıkta büyük bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bu teknolojilerin sunduğu kabiliyetler, yapay zekâ ve öğrenen makineler sayesinde sağlık profesyonellerinin hastalıkları önleme, teşhis, tedavi ve tedavi sonrası hizmetlerde vazgeçilmez yardımcısı haline gelebilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ, sağlık teknolojisi araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin odağında yer almaktadır. Üniversiteler, sağlık kurumları ve sayıları her geçen gün artan sağlık teknolojisi şirketleri, yapay zekâ alanında milyarlarca dolarlık yatırımlar yapmaktadır. Sağlıkta yapay zekâ uygulamalarının sayısı da her geçen gün artmaktadır. Ancak yapay zekâ uygulamaları sağlıkta güvenilirlik, uygunluk, teşhis ve tedavide isabet derecesi ve kişisel bilgilerin mahremiyeti gibi konularda tartışmalar yaratmaktadır. Bu raporumuzda, dünyada sağlık alanındaki yapay zekâ ve robot uygulamalarına göz atılarak, ilgili tartışmalara değinilecektir.

2. 21'İNCİ YÜZYILIN SAĞLIK SORUNLARI VE KÜRESEL SAĞLIK SİSTEMİNİN GÜNCEL DURUMU

Yakın zamandaki bilimsel ve teknolojik ilerlemeler ve yenilikler gelişmiş ülkelerde hayat kalitesini belirgin biçimde iyileştirirken hayat kurtarmaktadır. Ancak bu ilerlemelerin yansımaları, gelişmekte ve az gelişmiş ülkelerde bulmak mümkün değildir. Dünya nüfusunun büyük bölümü 21'inci yüzyılın sağlık olanaklarından yoksundur. Önlenebilir hastalıklar can almayı sürdürmektedir. Kısmen küresel iklim değişikliği ve çevre kirliliğine, kısmen de kötü yaşam koşullarına bağlı olarak tarihte görülmemiş sağlık sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (World Health Organization-WHO) "Ten Threat to Global Health in 2019" raporuna göre dünyada 1,6 milyon insan kuraklık, açlık, çatışma ve zorunlu göç alanlarında yaşamakta, temel sağlık hizmetlerine erişememektedir. İshal ve sıtma gibi önlenebilir hastalıklar; HIV ve Ebola gibi tehlikeli salgınlar yaygın olarak görülmeye devam etmektedir. 2019'da 390 milyon kişinin sivrisineklerin yol açtığı Dengue hastalığına yakalanmasının beklendiği, dünya nüfusunun yüzde 40'ının bu hastalığın tehdidi altında olduğu belirtilmektedir. WHO'ya göre gelişmiş ülkeler de dahil tüm ülkelerde görülen sağlık sorunlarının başında, hava kirliliğine bağlı hastalıklar, obezite ve antibiyotik dirençli patojenler gelmektedir. Rapora göre Türkiye'nin de aralarında bulunduğu orta gelir seviyesinde ülkelerde ise başlıca sağlık sorunu bulaşıcı olmayan hastalıklardır. Dünyada ölümlerin yüzde 70'inden fazlasının nedeni diyabet, kanser ve

kalp hastalıklarıdır. Orta gelirli ülkelerde bu oran yüzde 85'in üzerine çıkmaktadır. Tütün ürünleri, alkol bağımlılığı ve fiziksel hareketsizlik erken ölümleri artırmaktadır. WHO ayrıca, iklim değişikliğine bağlı olarak 2030 ile 2050 yılları arasında kötü beslenme, sıtma, ishal ve sıcak çarpması gibi durumların ölüm sayısını 250 bin kadar artıracığını öngörmektedir^[1].

Küresel sağlık açısından önemli bir diğer faktör yaşlanan nüfustur. Tüm dünyada ortalama ömür uzamaktadır. 2018'de dünyada ortalama ömür süresi 73,5 yıl olarak hesaplanmıştır. 2022'de ortalama ömrün 74,4 yıla çıkması beklenmektedir. 2022 yılında 65 yaşın üstündeki dünya nüfusu 668 milyona çıkacaktır ve bu kesim küresel nüfusun yüzde 11,67'sini oluşturacaktır. Kişi başı milli gelirlerdeki artışın yanı sıra sağlık hizmetlerinin gelişmesine paralel olarak artan nüfus, sağlık sisteminin yükünü de artırmaktadır^[2]. Çünkü uzun ömürle birlikte tedavisi uzun süren, kronik hastalıklara yakalananların sayısı artmaktadır. Bu da sağlık hizmetlerinin maliyetini yükseltmektedir. Dünyada sağlık sistemi hastane odaklıdır. Hastaneler ise çok sayıda insanın kronik, karmaşık ve tedavisi uzun süren hastalıkları için tasarlanmamıştır^[3].

Bu sağlık sorunları kapsamlı önleme ve tedavi programları geliştirilmediği takdirde dünya nüfusunun büyük bölümünü etkilemeyi sürdürecektir. Bilim insanları ve mühendislerden bu sorunların çözümü için tıp teknolojisi geliştirmesi istenmektedir.

Buna karşılık dünyada sağlık sektörü maliyet baskısı altındadır. Dünyada sağlık harcamaları ülkelerin büyüme oranlarından daha hızlı artmaktadır. The Economist Intelligence Unit'in 2017 rakamlarına göre dünyada

sağlığa 7 trilyon 724 milyar dolar harcanmıştır. Bu harcamaların 3 trilyon 509 milyar doları Kuzey Amerika, 1 trilyon 745 milyar doları Avrupa, 1 trilyon 766 milyar doları ise Okyanusya kıtalarında yapılmıştır. Bu üç kıtadaki sağlık harcamaları küresel sağlık harcamalarının yüzde 91'ine eşittir. Rapora göre küresel sağlık harcamaları 2022 yılında 10 trilyon 59 milyar dolara ulaşacak; Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya'daki sağlık harcamalarının küresel sağlık harcamalarına oranı yüzde 88'e gerileyecektir^[2]. WHO'ya göre bu gerilemenin sebebi, düşük ve orta gelirli ülkelerdeki sağlık harcamalarının artış oranının yüzde 6 ile gelişmiş ülkelerdeki yüzde 4'lük artış oranının üzerinde olmasıdır. WHO "Public Spending on Health: A Closer Look at Global Trends" raporuna göre, dünya nüfusunun yüzde 80'i orta ve düşük gelirli ülkelerde yaşamaktadır. Buna karşılık sağlık harcamaları en yüksek 10 gelişmiş ülkede kişi başına yıllık sağlık harcaması 5.000 dolarken, en az gelişmiş 10 ülkede bu rakam kişi başına 30 dolara kadar düşmektedir^[4].

Dünyada sağlık harcamalarının artması sağlık hizmetlerinin mali baskısının azaldığı anlamına gelmemektedir. WHO'nun altını çizdiği gibi, düşük ve orta gelirli ülkelerde sağlık harcamalarındaki artışın itici gücü kamunun sağlık harcamalarındaki artıştır ve kamunun bütçeden sağlığa ayırdığı pay gittikçe azalmaktadır. WHO'nun "Public Spending on Health: A Closer Look at Global Trends" raporuna göre, düşük gelirli ülkelerde 2016'da sağlığın kamu bütçesinden aldığı pay yüzde 7'den yüzde 5'e düşmüştür. Orta ve yüksek gelirli ülkelerde ülke bütçesinde sağlığın payının artış hızı 2012'den bu yana nispeten yatay seyrededir^[4].





3. SAĞLIKTA YENİ TRENDLER

21'inci yüzyıl teknolojileri, pek çok alanda olduğu gibi, küresel ekonominin en büyük sektörlerinden biri olan sağlıkta da dönüşümlere yol açmaktadır. Küresel sağlık sistemini yukarıda özetlemeye çalıştığımız giderek karmaşıklaşan sorun yumağından bir nebze olsun kurtaracak teknolojik çözümler, sektör tarafından ilgiyle takip edilmekte, yeni çözümler sunan teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması için hayli yüksek miktarlarda yatırımda bulunmaktadır.

Teknoloji şirketlerinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin sağlık sektörlerinde farklı taleplere yanıt vermesi gerekmektedir. Ancak küresel sağlık sektörünün bilim insanları ve teknoloji şirketlerinden ortak beklentisi sadece yüksek kaliteli medikal teknoloji değil, makûl maliyetli, erişilebilir ve sürdürülebilir çözümler geliştirmeleridir.

Bu beklenti, daha çok, kamu kurumları, sigorta şirketleri ve sağlık sektörü için geçerlidir. Sağlık çalışanı ve bireysel hastalar tarafında ise farklı eğilimler söz konusudur. İletişim teknolojilerindeki hızlı değişimle birlikte hastalar, sağlık kurumlarından farklı beklentiler içine girmişlerdir. Hastalar, sağlık hizmetini alacakları kişi ve kurumları tercih hakkında daha fazla dikkat etmektedir. Sağlıklarına ilişkin veri ve süreçlere ilişkin daha fazla şeffaflık talep etmektedirler.

Sağlık hizmetlerinde talep yönündeki bu gelişmelerin sonucu olarak hasta güvenliği sağlık sisteminin en çok dikkat ettiği konular arasına girmiştir. İlaç kullanımı ve tıbbi araç kullanımındaki hatalar, hastane ortamının yarattığı salgın hastalıklar ve ameliyatta sağlık profesyonellerinin yol açtığı komplikasyonlar, hasta hakları

savunucuları ile sağlık kurumlarını sık sık karşı karşıya getirmektedir.

İnternet ve sosyal medyanın yükselişiyle tıbbi bilgilere erişmenin kolaylaşması ikinci önemli gelişmeye yol açmıştır. Hastalar bu kanalları tedaviler, prosedürler ve uygulayıcıları tartışmak için kullanmaktadır. Öte yandan sağlık hizmeti sunan kişi ve kurumlar da hizmetlerini tanıtmak için bu iletişim ortamlarına yönelmektedir. Özellikle bir sağlık krizi yaşandığında sosyal medya ve internet önemli bir iletişim ağı haline gelmektedir.

İletişim teknolojilerindeki gelişmeler, hastane merkezli sağlık hizmeti konseptinin de değişimine yol açmaktadır. Hastaneler hastaların evinde veya onların ulaşabileceği en yakın noktada hizmet veren "sağlık ağları" haline gelmektedir. Hastane odaklı sağlıktan, hasta odaklı sağlık anlayışına geçilmekte, kişiye özel tedaviler önem kazanmaktadır. Tanılama teknolojileri kişiye özel tedavi yöntemlerinin gelişmesine yol açmaktadır^[5].

Sağlık çalışanları açısından en önemli gelişmelerden biri ise, yeni teknolojilerle bilimsel araştırmaların geçtiğimiz 10 yılda patlama derecesinde artmasıdır. Örneğin sadece dermatoloji konusunda her yıl 11 binden fazla makale yayınlanmaktadır. 2013 yılında kalp hastalıklarına ilişkin verilerin büyüklüğü 4 trilyon GB boyutuna ulaşmıştır. 2020 yılında bu rakamın 10 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Üstelik bu olağanüstü büyüklükteki verinin yüzde 80'i yapılandırılmamış, yani bir veritabanı veya diğer veri katologlama işlemlerine tabi tutulmamıştır. Bu yeni bilgi ve verilerden haberdar olmak ve güncel kalmak herhangi bir insanın ufkunun ötesindedir^[3].

4. SAĞLIKTA TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM

Dünya karmaşık sağlık sorunlarına çözüm getirirken; herkesin rahatça erişebileceği, kişiselleştirilmiş, güvenilir ve hassas sağlık hizmetlerini düşük maliyetle sunmak nasıl mümkün olabilir? Bu soruya “sağlıkta yapay zekâ uygulamalarına daha fazla yer vererek” cevabını verenlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bazı uzmanlar, sağlıkta yapay zekâ uygulamalarına daha fazla başvurulmasının sağlık hizmeti sunanların düşünce yapısında köklü değişiklere yol açacağını ileri sürmektedir^[6].

Bir başka görüşe göre sağlıkta yapay zekâ, sağlığın dijitalleşmesinin bir sonraki zorunlu aşamasıdır. Çünkü tıpta bilişim teknolojilerinin gelişimi ürünlerden hizmet ve çözümlere doğru evrilmektedir. 2000’li yıllarda sağlıkta inovasyon, tarihsel ve kanıt üzerine kurulu tedaviler için gerekli medikal ürünlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. 2010’lu yıllarda, gerçek zamanlı ve sonuç odaklı tedaviyi sağlayacak tıbbi platformlar geliştirilmesi için çaba sarf edilmiştir. Gelecek 10 yılda ise, önceki yılların çözümlerinin yanı sıra önleyici sağlık hizmetleriyle yapay zekâ, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve robotlar kullanılarak sağlanan medikal çözümlere odaklanılacaktır. Yapay zekâli teknolojik ürün, platform ve çözümlerin daha önce tahayyül bile edilemeyen hassas tıp uygulamalarına imkân tanıyacağı ve belki de kişilerin hastalıklarını önceden tahmin edip önlemeyi başarabileceği ifade edilmektedir^[3].

Modern sağlık konseptinde köklü değişikliğe yol açacağı belirtilen yapay zekânın sadece bir algoritma

bütünü olarak algılanmadığının da altını çizmek gerekir. Accenture’ın tanımına göre sağlıkta yapay zekâ, “Makinelerin hissetmesi, anlaması harekete geçmesi ve öğrenmesini sağlayan; idari ve klinik sağlık hizmetlerini üstlenebilen çok sayıda teknolojinin bütünüdür^[7].”

Sağlıkta yapay zekâ çözümleri henüz emekleme aşamasındadır ancak hızla gelişme kaydetmektedir. Dünyanın belli başlı bütün büyük teknoloji şirketleri, yapay zekâ çalışmalarının odağına sağlıklı almış durumdadır. Sağlıkta yapay zekâ çalışmaları için kurulmuş çok sayıda yeni teknoloji şirketi (startup) de bulunmaktadır. Teknoloji platformu CB Insight’ın Şubat 2017’de bildirdiğine göre, sağlıkta yapay zekâ çözümleri geliştirmek üzere dünyada kurulan startup sayısı 106’dır. Bu şirketlerin 50’ye yakını 2015 sonrası kurulmuştur^[8]. Bu şirketlerin 2013’ten beri 576 yatırım fonu ve melek yatırımcıdan aldığı mali desteğin toplamı 4,3 milyar dolara ulaşmıştır^[9].

Türkiye’de de teknoloji kullanımı açısından en ileri seviyedeki sektörlerden biri sağlıkta. 2000’li yılların ortalarından bu yana sürdürülen Sağlıkta Dönüşüm Programı çerçevesinde, hastane otomasyonundan kamu sağlığının izlenmesine kadar pek çok alanda yapay zekâ uygulamaları kullanılmakta, çok sayıda özel ve kamuya ait hastanede cerrahi robotlar dahil olmak üzere ileri teknoloji çözümleri bulunmaktadır. Yerli sağlık teknoloji şirketleri de pazarda yer almaya başlamıştır. Ancak bu çabaların daha fazla desteklenmesi, son derece büyük ve sürekli büyüyen bir pazar olan sağlık teknolojisi pazarında Türk firmalarının da söz sahibi olmasını sağlayacaktır.





5. YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Yapay zekâ teknolojisi sağlık alanında yukarıda belirtildiği gibi idari ve klinik amaçlar için kullanılabilir. Bu bölümde bu iki amaç çerçevesinde yapay zekâ uygulamalarına göz atılacaktır.

5.1 Yapay Zekânın Sağlıkta İdari Amaçla Kullanımı

5.1.1 Genel Sağlık Yönetimi

Yapay zekâ uygulamaları ulusal ve bölgesel sağlık kurumlarının genel idari kararlarının tespiti ve yürütülmesinde kullanılmaktadır. Türkiye’de Sağlık Bakanlığı da yoğun olarak bu sistemlerden destek almaktadır. Microsoft, Oracle ve Turboard gibi teknoloji platformlarından destek alan Sağlık Bakanlığı, bağlı kurumlarındaki hasta ve işlem verilerini, sözkonusu bağlı kuruluşlar farklı bilişim sistemleri kullansa bile bir araya getirebilmekte ve tarihsel olarak kayıt altına alabilmektedir. Bakanlığın sahip olduğu yapay zekâlı çözümlerle demografi raporları, aile hekimliği performans raporları, muayene, hastanede yatış, ameliyat, tanı raporları, eNabız değerlendirme raporları, MHRS (Merkezi Hekim Randevu Sistemi) kullanım oranları, bağışıklama raporları, kadın üreme sağlığı raporları, acil servis hizmetleri, ilaç ve reçete sayıları, antibiyotik kullanımı, görüntüleme cihazları sayısı, cihaz başına düşen çekim sayısı gibi pek çok sağlık hizmetiyle ilgili verileri takip edebilmektedir. Böylelikle hastaneye başvurularda mükerrerlik önlenilebilmekte, antibiyotik kullanımı düzenlenebilmekte; aile planlaması, bebek ve çocukların aşıları takip edilebilmekte; acil serviste bekleme süreleri, ambulans ulaşım süreleri gibi pek çok konuda düzenleyici ve önleyici politikalar üretilebilmektedir^[10].

5.1.2 Dokümantasyon Yönetimi

Yapay zekâ uygulamaları, sağlık merkezlerinde bürokratik işlemlerin yarattığı yükü azaltma fırsatı vermektedir. Araştırmalara göre, hasta dosyalarının hazırlanması, reçetelerin yazılması, laboratuvar testlerinin talimatlarının verilmesi gibi hasta tedavisiyle ilgili olmayan işler mesailerin önemli bölümünü tüketmektedir. Hemşirelerin mesaisinin yüzde 51’i, doktor ve terapistlerin ise yüzde 16’sı bürokratik işlemlere harcanmaktadır. Yapay zekâ sistemleriyle bürokratik işlemleri azaltarak sadece ABD’de sağlık harcamalarında yıllık 18 milyar dolarlık tasarruf sağlanabileceği belirtilmektedir^[11].

Sağlıkta tedavi dışı idari işlerin azaltılması için dijitalleşme süreci olgunlaşma aşamasına gelmiştir. Elektronik Sağlık Kayıt Sistemleri (Electronic Health Record –EHR), sağlık personelinin düzenlenmesi, saklanması ve yeniden kullanılması son derece güç olan kâğıda dayalı sistemden kurtarmıştır. Ancak EHR’ler de zaman içinde sanal belge yığınları haline gelmiş ve sağlık çalışanları açısından yeni iş yükü getirmiştir. EHR geliştiricileri şimdi yapay zekâ kullanarak bu süreçleri daha basitleştirmeye çalışmaktadır. Örneğin doğal dil işleme (Natural Language Processing-NLP) araçlarıyla doktor ve hemşirelerin sesleri tanınabilmekte, kayıtları sesle dikte edilebilmektedir. Daha da ileri giderek hasta ile sağlık personeli arasındaki tüm iletişimin vücut kameralarıyla kayıt altına alınması da düşünülmektedir. Böylece, sağlık personeli hastaya ilişkin görüntülü verilere erişebilecek, bu görüntüler olası uyumsuzluklarda delil teşkil edebilecektir. Kayıt sistemlerinin Apple’ın Siri ve Amazon’ın Alexa’sı gibi sesli yayıncılara sahip olabileceği de belirtilmektedir. Bu tür akıllı kayıt sistemleriyle görevlerin tıbbi önceliklere göre sıralanması da mümkün olabilecektir^[12].

Ses tanımlı dokümantasyon araçlarının bazıları hayli gelişmiş durumdadır. ABD merkezli Nuance şirketinin geliştirdiği yapay zekâ 80’den fazla dilde doğal

ses tanıma çözümleri sunmaktadır. Şirketin geliştirdiği Dragon Medical Virtual Assistant adlı yapay zekâ yazılımı sağlık personeline gerçek zamanlı olarak belgeleme kılavuzluğu yapmaktadır^[13].

5.1.3 Hastane Kapasitesinin Verimli Kullanımı

Yapay zekâdan hastanelerde imkân ve kabiliyetlerin verimli kullanılması için de yararlanılmaktadır. Çok sayıda teknoloji firması, hastanelerin boş yatak kapasitesinin anlık olarak izlenmesi, böylece hastanelerin verimliliğinin artması için yazılım geliştirmiştir. Anlık izlemenin ötesinde çözümler de gündemdedir. Örneğin ABD'nin Boston kentindeki Beth Israel Deaconess Medical Center Hastanesinde, taburcu edilen hastaların yeniden hastaneye yatma olasılığı izlenmektedir^[11].

ABD'nin Baltimore kentindeki John Hopkins Hastanesi, GE Healthcare Camden Group ile işbirliğiyle hastane verimliliğini artırmak için bir hastane 'komuta merkezi' kurmuştur. Komuta merkezi hastanenin personel mesailerini ve fiziki olanaklarını anlık olarak takip ederek tahminleme yapmakta ve kapasitenin en verimli şekilde kullanılması için verilecek kararlara yardımcı olmaktadır^[14].

5.1.4 Hata, Usulsüzlük ve Yolsuzlukların Azaltılması

Süreçlerdeki hatalar, yolsuzluklar ve usulsüzlükler, sağlık merkezleri kadar sigorta kurumlarına pahalıya mal olabilmektedir. Halen bir sigorta talebinin usulsüz olup olmadığı bilgisayarlı ve manuel olarak yapılmaktadır. Bu usulsüzlükleri kolayca tespit etmek güçtür, zaman almaktadır ve bazen müdahale etmek için çok geç kalınmaktadır. Sağlık sigortaları, sigorta taleplerindeki anormallikleri tespit edebilmek için yapay zekâ destekli veri madenciliği tekniklerinden yararlanmaya başlamıştır. Bu uygulamaların ABD'de yılda 17 milyar dolar tasarruf getireceği tahmin edilmektedir^[11].

Yapay zekâ, hasta kayıtlarında tahrifata yol açan siber saldırıların tespit edilmesi ve önlenmesi için de kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda siber saldırılar sağlık sektörüne önemli zarar vermeye başlamıştır. Saldırıya uğrayan hastanelerin zararının hasta başına 380 dolara çıktığı belirtilmektedir. Yapay zekâ ile bu saldırıların önlenmesinin dünyada yılda 2 milyar dolar tasarruf getireceği belirtilmektedir^[11].

Yapay zekâ uygulamalarının ilaç kullanımı hatalarının azaltılmasında da faydalı olacağı belirtilmektedir. Yapılan araştırmalar, önlenemez tıbbi hataların yüzde 37'sini yanlış dozda ilaç tedavisinin oluşturduğunu göstermektedir. ABD'nin California eyaletinde yapılan bir araştırmada, yapay zekâ ile hastaların ihtiyacı olan ilaç miktarının hassas biçimde tespit edilebildiği görülmüştür. Bu teknik yaygınlaştığı takdirde, ilaç dozu aşımı ve eksikliğinin yol açtığı tıbbi hataların önlenilebileceği ve sağlık sistemlerinin yıllık 16 milyar dolar tasarruf edebileceği belirtilmektedir^[11].

İsrail ve ABD'de merkezleri bulunan Medaware şirketi yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojisi kullanarak, reçete hatalarını en aza indirme iddiasındadır. 2012'de

kurulan şirketin yapay zekâsının dünyanın dört bir yanındaki tıbbi kayıtlardaki örnek vakaları inceleyerek olası ilaç kullanım hatalarında sağlık personelinin uyararak önlem alınmasını sağladığı belirtilmektedir^[15].

Yapay zekâ, hastaların hastanelerden erken taburcu edilmesinin yol açacağı hataları ortadan kaldırmak için de kullanılmaktadır. Örneğin ABD'nin önde gelen sağlık gruplarından The Permanente Medical Group'un araştırma bölümü hastaneye kaldırılan 650 binden fazla hastanın verilerini inceleyerek taburcu edilen hastaların hangilerinin yeniden hastaneye kaldırılacağını, hatta ne kadarının yoğun bakım ünitelerine alınmak zorunda kalacağını tespit ettiğini duyurmuştur. Bu sayede yeniden hastaneye kaldırma maliyeti azaltıldığı gibi her yıl çok sayıda hastanın yaşamının kurtarıldığı belirtilmiştir^[16].

5.1.5 Uzaktan Önleyici ve Tamamlayıcı Sağlık Hizmetleri (Sanal Hemşire/Telesaglık)

Dünyada sağlık personelinin iş yükünü azaltırken hem koruyucu hem de tamamlayıcı sağlık hizmetlerini 7 gün 24 saat esasına göre verebilen yapay zekâlı uzaktan sağlık hizmetleri hızla yaygınlaşmaktadır. "Sanal hemşire" (Virtual Nursing Assistant) veya "Tele Sağlık" (Telehealth) adı verilen bu uygulamaların küresel pazarının 2025 yılında 19.5 milyar dolara yükseleceği ifade edilmektedir^[17].

Sanal hemşire uygulamaları, hastaların sorularına yanıt verebilmekte, hastaları en etkin tedaviye yönlendirmekte, tedavi sonrası hastaları takip edebilmektedir. Böylece sağlık personeli ile hasta arasında kesintisiz iletişim sağlanırken, sağlık merkezleri verimli biçimde kullanılabilen, hatalı ilaç kullanımı ve gereksiz tedavilerin önüne geçilebilmektedir. Örneğin Türkiye'de Compark adlı firmanın geliştirdiği "Kimoss TeleSağlık", önleyici ve tamamlayıcı sağlık hizmetlerinde kullanılabilir^[18]. Sanal hemşire uygulamaları, yeni teknolojilerle birlikte daha ileri bir deneyim sunmaya başlamıştır. Örneğin ABD'de geliştirilen Care Angels adı verilen bir uygulama, yapay zekâsıyla sesli olarak hastaya sağlık önerileri verebilmektedir^[19]. ABD'nin San Francisco kentindeki California Üniversitesi Tıp Merkezi ve İngiltere sağlık sistemi NHS'nin kullandığı, Sensely firması tarafından geliştirilen "Molly" adındaki sanal hemşire, sanal bir yüz (Avatar) ile hastaları yönlendirmektedir^[11].

Uzaktan sağlık hizmetlerinin, sağlık sistemlerine sağladığı tasarrufun yıllık yüzde 20 seviyesine ulaşabileceği ifade edilmektedir^[11]. Compark'a göre sanal hemşireler özellikle kronik hastaların evde bakımında yüzde 60'lara varan oranda tasarruf sağlayabilmektedir^[18].

5.1.6 Maliyet ve Kalite Yönetimi

Yüksek maliyetler ve risklerle karşı karşıya bulunan sağlık kurumlarında yapay zekâ kullanımı artmaktadır. Geliştirilen algoritmalar, sağlık merkezlerinin takibi güç maliyetlerini anlık olarak izlemekte, kişiye özel hassas tıp uygulamaları hakkında tavsiyeler verebilmekte ve böylece kurumların kalite imajını güçlendirmektedir. Bunlardan biri olan ABD'nin California Eyaleti'ndeki Silikon Vadisi merkezli Lumiata, geliştirdiği yapay zekâ



ile sağlık kuruluşlarında olası risk ve maliyetleri önceden hesaplayabildiğini; kişiye özel düşük maliyetli tedavi çözümleri ve tavsiyeleriyle hasta memnuniyetini ve sağlık hizmetinin kalitesini maliyetleri artırmadan yükselttiğini belirtmektedir^[20].

5.2 Yapay Zekânın Klinik Amaçlarla Kullanımı

Yapay zekâ idari fonksiyonları izleyerek sağlık yönetimine yararlı olduğu gibi, hastalık önlemeden tedavi sonrası bakıma kadar bütün klinik süreçlerde sağlık profesyonellerinin hastaların tedavisinde en iyi sonuçları alabilmesine de katkı sağlamaktadır.

5.2.1 Kamu Sağlığı Yönetimi/Önleyici Sağlık Hizmetleri (Population Health Management)

Yapay zekâ uygulamaları, önleyici ve koruyucu sağlık hizmetlerini yaygınlaştırma potansiyeline sahiptir. Yapay zekâ ve sağlık amaçlı nesnelerin interneti (Internet of Medical Things -IoMT) bireysel sağlık uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Mobil sağlık uygulamalarının (Mobil Health – mHealth) sayısının 318 bini aştığı, her gün 200 yeni uygulamanın daha ortaya çıktığı belirlenmiştir^[21]. Küresel mHealth uygulaması pazarının 2018 yılında 28 milyar doların üzerine çıktığı ve 2023'te pazar büyüklüğünün 102 milyar dolara ulaşmasının beklendiği belirtilmektedir^[22]. mHealth alanında bugün dünyada çok sayıda oyuncu bulunmaktadır. Apple ile Nike, IBM ile Under

Armor arasında olduğu gibi spor malzemeleri üreticileriyle teknoloji şirketlerinin anlaşma yapma yolunu tercih ettiği dikkat çekmektedir. Bu ürünler sadece kullanıcıların temel sağlık verileri ve etkinliklerini izlemekle kalmayıp kişiye özel sağlıklı yaşam önerileri verme iddiasındadır.

Daha ileri bir örnek olan PwC'nin Bodylogical adını verdiği yapay zekânın ise, "dijital ikizlerini" çıkararak, kişilerin gelecekteki sağlık durumunu önceden tahmin ettiği ve olası kronik hastalıklarına karşı önlem almalarını sağladığı belirtilmektedir^[23].

Ancak bu uygulamaların ne kadar bilimsel ve sağlığa uygun olduğuna ilişkin kuşklar giderilmemiştir. Avustralya'nın Bond Üniversitesi uzmanlarının Mayıs 2018'de yayınladıkları rapora göre, incelenen 23 sağlık uygulamasının yarısının bile sağlığa pozitif katkısı olmadığı, büyük bölümünün yeterli bilimsel kaliteye ulaşmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Akıl sağlığı, diyabet ve obezite sorunları için geliştirildiği ileri sürülen bu uygulamaların hedeflenen sonuçlara ulaşmada belirgin katkısının bulunmadığı tespit edilmiştir^[24].

Yine de bu uygulamaların bir kısmıyla elde edilen verilerle koruyucu sağlık hizmeti sunulabilmektedir. Şubat 2018'de California Üniversitesi (San Francisco) tarafından yayınlanan bir makalede bireysel sağlık uygulama ve cihazlarının elde ettiği verilerden sadece nabız verilerini kullanarak kişilerin diyabet riskinin yüzde 85 oranında isabetle tahmin edebildiği bildirilmiştir^[25].



Yapay zekânın önleyici sağlık alanında en büyük etkisi, halk sağlığı yönetiminin maliyetini azaltmak olacaktır. Kitlemel sağlık verilerinin toplanması ve bunların analiz edilerek olası genel sağlık sorunlarının tespit edilerek önlem alınması, sağlık sistemleri üzerindeki yükü azaltacağı gibi genel refahı da artıracaktır. İnsani toplulukların karmaşık ve dinamik yapısı sağlığa ilişkin öngörülebilir modellerin çıkarılmasını imkânsız kılmaktadır. Bu modellerin ve olası anomalilerin belirlenmesi için sağlığa ilişkin büyük verinin toplanması ve bunların makine öğrenmesi teknolojileriyle analiz edilmesi gerekmektedir. Bu algoritmaların geliştirilmesi için analistlerin sağlık veri setlerini doğru yorumlaması gerekmektedir. Ancak doğru sorular sorulmadığı için onlarca sağlık modeli ve eğilimi ortaya çıkarılamamaktadır. Öğrenen makineler ise insan müdahalesi olmadan genel eğilimleri ortaya çıkarabilmektedir. Makine öğrenmesi kabiliyetine sahip yapay zekâ algoritmaları; hasta kayıtları, mali veriler, genel sağlık kayıtları, nesnelerin interneti cihazlarının sağladığı ölçümler ve diğer ilgili kaynaklardan elde edilen bilgileri hazmederek, benzersiz özellik kombinasyonları gösteren hasta gruplarını otomatik olarak keşfedebilmektedir. Halk sağlığından elde edilen modeller, koruyucu ve önleyici sağlık hizmetleri sunan sağlık kurumlarına yardımcı olabilecektir. Böylece müdahalede, gecikmeden kaynaklanacak sorunlar engellenecek, kurumların idari ve tedavi masraflarında önemli ölçüde tasarruf sağlanacaktır^[16].

Kamu sağlığının izlenmesi ve yönetimi için de yapay zekâ çözümleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlardan biri, ABD merkezli şirket Weltok'un geliştirdiği CaféWell Health Optimization Platformu'dur. Bu platform sağlık merkezleri, sağlık uygulamaları ve sağlık sistemi yöneticilerini bir araya getirme iddiasındadır. Bu platformun

ana amacı, karar alıcılar ile bireyleri bir araya getirmek, kamu sağlığı tehditlerini izlemek ve bireylerin sağlıklı yaşam pratiklerini desteklemektir^[26]. Şirket, sistemin ABD'de 20 milyon kişiye ulaştığını belirtmektedir^[27].

Yapay zekâ uygulamalarının salgın hastalık ve antibiyotik direncine karşı modellerin geliştirilmesine de yardımcı olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Örneğin, 2017 yılında *Jama Internal Medicine* tarafından yayınlanan "Using Spatial and Temporal Mapping to Identify Nosocomial Disease Transmission of Clostridium Difficile" başlıklı makalede^[28] uzmanlar, yapay zekâ kullanılarak bilinen bütün antibiyotiklere dirençli bir bakteri olan "Clostridium Difficile"nin yol açtığı ölümcül hastalığın hastanelerde yayılma modelini ortaya çıkarmış ve yayılmanın durdurulması için önlem önerebilmişlerdir. California Üniversitesi (San Francisco) bilim insanları, 43.000'den fazla 'Clostridium Difficile' hastasının elektronik sağlık kayıtlarının yanı sıra bu hastaların hastane içinde üç yıllık hareket verilerini izlemiş ve haritalandırmışlardır. Bilim insanları, aynı mekânı, özellikle bilgisayarlı tarama odalarını kullanan hastaların 24 saat içinde hastalığı aynı mekânı kullanan diğer insanlara bulaştırdığını tespit etmişlerdir. Bilim insanları tarama odalarının hijyen kurallarını sıkılaştırarak hastalığın bulaşma oranını önemli ölçüde düşürebilmişlerdir^[29].

ABD'nin Chicago kentinde kurulan CareScore adındaki teknoloji şirketi, hem bireylerin sağlık durumlarının izlenmesi, hem de sağlık kuruluşlarıyla sigorta şirketinin risklerini azaltılması amacıyla bir yapay zekâ geliştirmiştir. "Zeus adı" verilen bu yapay zekâ, bireylerin sadece klinik verilerini değil, sosyoekonomik durumları, demografik ve davranışsal verilerini de analiz ederek bir sağlık profili çıkarmaktadır. Bu profil bireylerin hastalık risklerini belirleyip onlara bildirirken, sağlık kurumları ve sigorta

şirketlerini de tedbir almaları konusunda uyarmaktadır. Yeni bir hastalık riski çıktığında bireylere cep telefonu mesajı gönderilip harekete geçmesi istenmektedir. Sigorta şirketleri ve sağlık merkezlerine ise hastanın aldığı randevulara gelip gelmeyeceği, hastanın ölüm riski ve ilaç alışkanlıkları gibi veriler de geçilmektedir^[30].

5.2.2 Erken Tanı ve Acil Müdahale

Yapay zekâ kanser gibi hastalıkların daha isabetli oranlarla erken tanısı için de kullanılmaktadır. Örneğin ABD’de yapay zekânın mamogram test sonuçlarının yorumlarında kullanılmasıyla yüzde 99 isabet oranına ulaşılmıştır. Ayrıca yapay zekâ, kanseri doktorlardan 30 kat daha hızlı olarak tespit edebilmiştir. Böylece biyopsi gerekliliği de önemli ölçüde azalmıştır^[31].

Çinli teknoloji devi Baidu’nun yapay zekâ çözümleri geliştiren birimi Baidu Research, Haziran 2018’de geliştirdiği algoritmanın meme kanseri metastazını tespit için sağlık çalışanlarına göre daha yüksek isabet oranı yakaladığını duyurmuştur. Çin ve ABD’de üç laboratuvarı bulunan Baidu Research’ün açıklamasına göre geliştirilen algoritma, patoloğların meme kanseri tümörü çevresine ilişkin görüntüleri incelemesini taklit etmekte ancak daha detaylı inceleme yapabildiği için daha isabetli sonuçlara varabilmektedir. Nitekim algoritmanın isabet oranı yüzde 80,74 seviyesine ulaşırken, patoloğların isabet oranı yüzde 72,4’te kalmıştır^[32].

Kalp hastalıklarının erken tanısı için de benzer bir teknoloji geliştirilmiştir. ABD merkezli startup Bay Labs, sağlık profesyonellerinin tanı ve tedavi sürecinde elektrokardiyogram verilerinin çok hızlı değerlendirilebilmesi için yapay zekâlı bir sistem geliştirmiştir. Sistem ilk olarak 2016 yılında Kenyalı okul çocuklarının romatizmalı kalp hastalığının (RHD) erken tanısına yardımcı olmak üzere kullanılmıştır. Bu sistemle, radyoloji uzmanları 1200 çocuğu dört günde taramış ve 48 çocuğa RHD tanısı konulmasına yardımcı olmuştur^[33].

Erken tanı, dünyanın teknoloji devlerinin de gündemine girmiştir. Microsoft firması, kanserli hücreler tespit edilir edilmez, onlarla moleküler düzeyde mücadeleyle başlatmak üzere programlanmış bir bilgisayar geliştireceğini açıklamıştır. Microsoft Research uzmanları, “Kanserli hücreleri bilgisayar programı gibi kendilerini yok edecek şekilde programlayabileceklerine inandıklarını” belirtmektedir. Microsoft’un kanser çalışmalarının doktorların kanserin oluşma ve yayılma dinamiklerini daha iyi anlayıp kişiye özel tedaviler geliştirmelerine yardımcı olacağı da kaydedilmektedir^[34]. Microsoft ayrıca, 2016 yılından beri, kişilerin doktorlara başvurmadan önce, internet arama motorlarında arattığı sağlık ve erken semptomlara ilişkin sorularından yola çıkarak erken kanser tespiti yapabilecek bir yapay zekâ üzerinde çalışmaktadır^[35].

IBM Watson’ın desteklediği Pathway Genomics’in ise basit bir kan testiyle belirli kanser türlerinin erken tespiti için çalıştığı belirtilmektedir. IBM’in derin öğrenme ve yapay zekâ algoritmalarını kullanan Pathway’in “CancerIntercept Detect” adı verilen kanser testi, daha önce kanser tanısı konmamış ancak yüksek riskli kişilerin

kan örneklerini alarak kansere işaret edebilecek 70’ten fazla geni inceleyip sonuçları 10 gün içinde verebildiğini bildirmiştir^[36].

Teknoloji firmaları, basit görüntüleme ve testlerle, hastalıkları ilerlemiş semptomlar vermeden teşhis edebilecek yapay zekâyâ dayalı yöntem ve cihazlar da geliştirmeye başlamıştır. Çinli teknoloji firması Airdoc, retina görüntülerine bakarak çok sayıda hastalığı erken teşhis edebilen bir cihaz geliştirdiğini duyurmuştur. Her iki gözün retina görüntülerini “bir göz kırpması” süresinde fotoğraflayıp şirketin bulut sistemine gönderen cihaz aynı hızda aralarında diyabet, hipertansiyon ve çeşitli göz hastalıklarının bulunduğu 30 hastalığı tespit edilebilmektedir. Şirketin hedefi 200’den fazla hastalığın erken tanısını koyabilmektir. Halen 200 merkezde erken tanı hizmeti veren Airdoc bu sayıyı gelecek üç yılda 1200’ün üzerine çıkarma hazırlıkları yapmaktadır^[37].

Akıllı cep telefonlarının dünyada yaygınlaşmasıyla, bunlardan alınan görüntüler kullanılarak uzaktan erken tanı ve tanı yapılabilmesini sağlayan teknolojik çözümlerin sayısı her geçen gün artmaktadır. İngiltere’de uzmanlar, selfie çekimlerinden 90’dan fazla rahatsızlığı ve anormaliyi tespit eden bir algoritma geliştirmiştir. Göz sorunları, deri lezyonları, yaralar, enfeksiyonlar, ilaçlar ve diğer ilgili sağlık verilerine ilişkin fotoğraflar özellikle sağlık personeli ve tesisi sıkıntısı çekilen bölgelerde uzaktan teşhis olanaklarını artırmakta ve süreçleri kısaltmaktadır^[38].

Yapay zekâ acil ilk yardımda da devreye girmiştir. Danimarkalı teknoloji firması Corti.ai, acil yardım hattına gelen çağrıları analiz edip yardım isteyen kişinin kalp krizi geçirip geçirmediğini tespit eden bir uygulama geliştirdiğini duyurmuştur. Yapay zekânın algoritması kişinin konuşması, ses tonu ve arka plan seslerini analiz ederek kişinin kalp krizi geçirdiğini tespit ederse bunu tıbbi yardım ekiplerine acil olarak bildirmektedir^[39]. Yapılan testlerde, Corti.ai’nin yapay zekâsının kalp krizini isabetli tespit oranının yüzde 93 olduğu, ilk yardım ekiplerinin isabet oranının ise yüzde 73’te kaldığı belirtilmektedir^[19].

5.2.3 Tanılama

Karmaşık sağlık hizmetlerinde dakikaların, hatta saniyelerin önemi büyüktür. Yapay zekâ araçları görüntü ve verileri yüksek hızda analiz ederek sağlık hizmeti sunanlara belirgin kolaylıklar sunabilmektedir. Yapay zekâ yardımıyla, kullanıcıların eline, araştırmalar, yayınlar ve ilgili çalışmaların en uygunları zamanında analiz edilerek sunulabilmektedir. Sağlık profesyonelleri bu bilgileri hasta dosyaları ile karşılaştırıp en uygun tanılamaya ulaşabilmektedir.

5.2.3.1 Görüntüleme Analiz Araçları

Sağlık profesyonellerine tanı koymada yardımcı yapay zekâlı uygulamaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle tarama ve görüntüleme sonuçlarının yorumlanmasına yardımcı çözümlerin son dönemde hızla arttığı dikkat çekmektedir. Tahminlere göre ABD’de her yıl ortalama 450 milyon ultrason, röntgen, bigisayarlı tomografi veya MR taraması yapılmaktadır. Ancak tarama teknolojisindeki gelişmelere rağmen yorum

hatalarından dolayı hastaların beşte birine yanlış tanı konulmaktadır. Taramalara bağlı tanı hatalarının sağlık sistemlerini milyarlarca dolar zarara uğrattığı ve çok sayıda hastanın ölenebilir nedenlerle yaşamını kaybettiği belirtilmektedir^[40].

Derin öğrenme teknolojisindeki ilerlemelerle bu tarama sonuçlarının hatasız yorumlanması için çözümler geliştirilmektedir. Hatta görüntüleme ve tanılamaya yardımcı çözüm geliştirmek üzere kurulan startup sayısı diğer alanlara göre oldukça fazladır. Araştırma şirketi CB Insight'a göre, bu alanda 2012'den beri 24 şirket kurulmuştur. Bu şirketlerin 19'unun kuruluş tarihi 2015 sonrasındır^[8].

Bunlardan biri olan merkezi ABD'nin San Francisco kentinde bulunan Enlitic firması, derin öğrenme teknolojileri sayesinde özellikle radyografik görüntülerde veri toplama ve bu verileri analiz etme, görüntü tanıma gücünü kullanmaktadır. Enlitic, geliştirdiği yapay zekânın, tıbbi görüntüleri birkaç milisaniyede yorumlayabildiğini ileri sürmektedir. Gelişmiş algoritması sayesinde Enlitic, çıplak gözle fark edilmesi güç anomaliler ve kırıkları fark edebilmektedir. Enlitic'in, akciğer kanserini bir grup radyologdan yüzde 50 daha fazla isabetle tespit edebildiği belirtilmektedir. Şirket 2020 yılına kadar dört ana tarama tekniğinden alınan sonuçlarla insan vücudunun yüzde 95'nin modellemesini çıkarmayı, birinci ve ikinci derece anomalileri daha isabetli olarak tespit ederek radyologlara yardımcı olmayı hedeflemektedir^[41]. Tarama sonuçlarının gelişmiş algoritmalarla incelenip tanı konulmasının her yıl sağlık sistemine 3 milyar dolar tasarruf sağlayabileceği belirtilmektedir^[11].

Görüntüleme yapay zekâ teknolojisini artık bulut destekli servislerden çevrimiçi edinmek de mümkündür. Bunun en sıra dışı örneklerinden biri Arterys. General Electric (GE) Sağlık şirketi tarafından da desteklenen Arterys, internet üzerinden tarama görüntülerinin saklanması ve analiz edilmesi hizmeti vermektedir. Şirketin açıklamalarına göre tarama ve analiz işlemleri, bulut teknolojisinin yanı sıra gelişmiş yapay zekâ algoritması kullanan Arterys ile birkaç dakikaya düşmektedir^[42].

Yakın gelecekte, doktorların yapay zekâ algoritmaları sayesinde anlık görüntü yorumu alabileceği, böylece örneğin kanser ameliyatı yapan bir cerrahın, tümörün temizlenip temizlenmediğini operasyona ara vermeden öğrenebileceği belirtilmektedir. Bu konuda bir çalışma ABD'nin Massachusetts Institute of Technology (MIT) Üniversitesinde yapılmıştır. Üniversitenin uzmanları üç boyutlu tarama sonuçlarını 1000 kat daha hızlı analiz eden bir algoritma geliştirdiklerini duyurmuşlardır. Halen üç boyutlu tarama sonucunu analiz etmek doktorların iki saatini almaktadır. Bu da MIT'nin hızlı grafik işlemcili bilgisayarları ve gelişmiş algoritması sayesinde, sonucu neredeyse anlık olarak alabileceği anlamına gelmektedir^[43].

5.2.3.2 Literatür Takibi İle Tanılamaya Yardımcı Araçlar

Sağlık profesyonellerinin tanılama yapması için test sonuçlarını isabetli biçimde yorumlamalarının yanı sıra güncel bilimsel araştırmalardan ve benzeri vakalara ilişkin verilerden haberdar olması da gerekmektedir. Ancak

daha önce belirtildiği üzere sağlık alanında üretilen veri, bilgi ve araştırma raporlarının miktarı, bunların izlenmesini imkânsız hale getirmiş durumdadır. Tahminlere göre günümüzde sağlık verilerinin yüzde 80'i katologlanmamıştır ve bu yüzden görünür değildir^[3].

Teknoloji şirketleri sağlık profesyonelleri üzerindeki ağır bilişsel yükü hafifletmek için de harekete geçmiştir. Örneğin IBM firması sağlık profesyonellerine tanılamada yardımcı olabilecek "yapay sinir ağı" geliştirmiştir. Bilişsel yeteneklere sahip IBM Watson for Health, tüm dünyadaki sağlık araştırmalarını, vaka çalışmaları sonuçlarını, tespit edilen semptomları takip edip depoladığı gibi anlamlı sonuçlar çıkarabilmektedir. Sistem doğal ses işleme teknolojisi sayesinde doktorlarla sesli iletişim kurabilmekte ve olası teşhis ve tedavi yöntemleri konusunda sözlü tavsiye verebilmektedir. Böylece Watson Health, sağlık kurumlarına hem büyük boyutlarda tıbbi bilgi sunmakta hem de sağlık profesyonellerine yüksek oranda isabetli tanılama kabiliyeti sağlamaktadır. Watson Health'in ulaştığı sonuçlar kanıtlar üzerine kurulu olduğu için hızlı analizi kolaylaştırmakta ve olası teşhis hatalarının önüne geçmektedir^[44].

5.2.3.3 Test Sonuçları Takibi ve Erken Müdahale

Sağlık profesyonellerinin, hastaların test ve tarama sonuçlarını bir an önce alarak olası komplikasyonlara karşı müdahalede bulunmaları büyük önem taşımakta olup, bu konuda yapay zekâ çözümler üzerinde çalışılmaktadır. Örneğin, bir süre önce Google tarafından satın alınan İngiltere merkezli yapay zekâ çözümleri şirketi DeepMind Health tarafından geliştirilen "Streams" uygulaması bu amacı taşımaktadır. Streams, tahlil sonuçlarını gözden geçirmekte ve bir hastanın sağlığı kötüleştiğinde bunu ilgili sağlık profesyonellerine bir akıllı cep telefonu uygulaması aracılığıyla anında bildirmektedir. İngiltere'de uygulamayı deneyen Royal Free Hastanesi hemşireleri, Streams sayesinde mesailerinden iki saat tasarruf ettiklerini ve bu zamanı ihtiyacı bulunan hastaların bakımları için kullanabildiklerini belirtmişlerdir^[45].

5.2.4. Tedavi

Yapay zekâ uygulamaları klinik alanda, tedavi ve hastalık yönetiminde de yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Yapay zekâ ile hastaya kişiselleştirilmiş, bütüncül ve hassas tedavi sunulabilmektedir. Doktorlar hastalarının tedavi süreçlerini daha iyi koordine edebilmekte, tedavi hatalarını en aza indirebilmektedirler. Aşağıda yapay zekânın tedavi süreçlerinde kullanımına ilişkin örnekler sıralanacaktır.

5.2.4.1 Yapay Zekâ Destekli Robotik Ameliyat

Robotlar tıpta 30 yıldan fazla süredir kullanılmaktadır. 1980'lerde üroloji ameliyatlarında dünyanın ilk ameliyat robotu olan PUMA kullanılmıştır^[46]. Bugün ameliyatlarda çok sayıda robot kullanılmaktadır. Bunların en yaygını "Da Vinci" robotudur. Intuitive Surgical, tarafından geliştirilen ve 2000 yılında resmi onay alan Da Vinci robotu, bugün dünyada 66 ülkede 800'den fazla ameliyathanede kullanılmaktadır. Şirketin verdiği rakamlara göre, Dünya'da 6.000'den fazla Da Vinci robotu ile bir milyonun üzerinde

ameliyat yapılmış, 40 binden fazla cerraha robot hakkında eğitim verilmiştir^[47]. Türkiye’de 32 hastanede bu robotlarla ameliyatlara gerçekleştirilmektedir^[48]. Son yıllarda rakip ameliyathane robot sistemleri geliştirilse de Da Vinci’nin pazar payı 2018 yılı itibarıyla yüzde 79,8’dir ve şirket 4 milyar doların üzerinde satış gelirine ulaşmıştır^[49].

Ameliyat robotları geleneksel laproskopik ameliyat yöntemlerine göre bir dizi avantaj sağlamaktadır. Cerrahlar, bu robotlar sayesinde anatomik ayrıntıları daha yakından, üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü olarak görebilmektedir. Cerrahlar, robotun hassas kolları sayesinde elin ulaşamadığı bölgelere rahatlıkla erişilebilmektedir. Ameliyat için küçük yaralar açıldığı ve daha az kan kaybedildiği için hasta daha çabuk iyileşmekte ve taburcu edilebilmektedir. Bu yöntemle ameliyat sonrası komplikasyonlar da daha az görülmektedir^[50]. Yapılan araştırmalar robotlu cerrahinin hastaların hastanede kalış süresini yüzde 21 oranında azalttığı ve sadece ABD sağlık sistemine 40 milyar dolar tasarruf sağladığını göstermiştir^[19].

ABD’de yapay zekâ destekli robot cerrahisi uygulamasının bulunduğu dokuz hastanede 379 ortopedi hastası üzerinde yapılan bir araştırmada, cerrahların geleneksel yöntemlerle yaptığı ameliyatlardaki komplikasyon oranının, robotlu ameliyatlara göre beş kat daha fazla olduğu belirlenmiştir^[11].

Ameliyat robotları genellikle, üroloji, genel cerrahi ve kanser ameliyatlarında kullanılmaktadır. Ancak bu robotların diğer hastalıkların tedavisinde de kullanımı artmaktadır. İngiltere’de bir ameliyat robotu göz ameliyatında

kullanılmıştır^[51]. Kalp ameliyatları için geliştirilen minik HeartLander robotu göğüs kemiğinin altından küçük bir kesikle girerek, cerraha en az kesik ve hatayla, atan kalp çevresinde operasyon yapma imkânı vermektedir^[52]. Yapay zekâ yardımlı robotların, ameliyatlarda örneğin ultrason çekerek cerrahlara tümörün durumu konusunda anlık bilgiyi verebildiği belirtilmektedir. Robotlar mikro cerrahi alanında cerrahlara milimetrik alanlarda hareket kabiliyeti kazandırmaktadır^[53].

Ameliyathane robotlarının sayısının ve kabiliyetlerinin artması, gelecekte tam otonom robot cerrahların ameliyathanelerde insan cerrahların yerini alabileceği yönündeki öngörülerin dile getirilmesine neden olmuştur. Ancak yapay zekâ yardımlı robot cerrahi henüz emekleme aşamasında bir teknolojidir ve ameliyatı robotlar değil insan cerrahlar gerçekleştirmektedir. Gelecekte de bu durumun değişeceği kuşkuludur.

5.2.4.2 Patoloji Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapay zekâ, patoloji sonuçlarının analizinde de kullanılmaktadır. Devasa veritabanlarına ulaşabilen yapay zekâlar, dünyanın herhangi bir ülkesinde benzeri görülen semptomları ve bunların analiz sonuçlarını tarayarak doktorların tedavinin seyrine ilişkin kararlarına yardımcı olmaktadır. Böylece tedaviler kişiye özel hale gelmektedir^[54].

5.2.4.3 İlaç Tedavisi Takibi ve İlaç Geliştirme

İlaç tedavilerinde hastanın uygun dozda ve miktarda ilacı zamanında almasının önemi büyüktür. Yapay zekâ, çok



sayıda hastanın ilaç kullanımının anlık olarak izlenmesi ve anomalilerin tespitinde kullanılmaktadır. Bu amaçla cep telefonu uygulamaları da geliştirilmiştir. AiCure adlı uygulama, tedavisi uzun süren veya kronik hastaların ilaç kullanımını takip etmekte ve onların ilaçlarını zamanında almasını sağlamaktadır. Uygulama yüz tanıma teknolojisiyle hastayı yüzünden tanımakta, hastanın almaya hazırlandığı ilacın doğru olup olmadığını teyit edebilmektedir. Uygulama hastanın hizmet aldığı sağlık merkezi ve ilaç üreticileri ile de veri alışverişi yapmakta, bu verilerle klinik testler de yapabilmektedir^[55].

Yapay zekâ moleküler düzeyde büyük veri işleyerek ilaç geliştirme çalışmalarına da yardımcı olmaktadır. Bunlardan biri olan Atomwise, 2016 yılında milyarlarca veriyi işleyerek, Ebola virüsüne karşı bir ilaç önerisi geliştirerek dikkatleri üzerine çekmiştir^[56].

5.2.4.4 Kişiyi Özel Tedavi

Bağışıklık sistemi hastalıklarını, bulaşıcı hastalıkları ve kanseri genetik, çevre ve yaşam tarzı farklılıklarından ötürü geleneksel yöntemlerle tedavi etmek gün geçtikçe güçleşmektedir. Bu nedenle tıpta kişiyi özel tedavi giderek daha fazla kabul gören bir yaklaşımdır. Ancak kişiyi özel tedavilerin geliştirilmesi için yapay zekâyı ihtiyaç vardır. Sağlık kuruluşları ve teknoloji şirketleri bu yöntemleri geliştirmeye yardımcı yapay zekâlar geliştirmiştir. Örneğin ABD'nin Virginia Tech Laboratuvarları ile Biotherapeutics adındaki biyo teknoloji firması, kişiyi özel tedavi geliştirilmesini hızlandırmak için yapay zekâ tekniklerine başvurmuştur. Gerçek vaka verilerinden yola çıkan yapay zekâ algoritmaları, kendi sanal hasta

popülasyonlarını yaratmakta, bu popülasyonların hastalık modellemesi üzerinden kişiye özel tedavi yöntemini belirlemektedir^[57].

Yine ABD'nin Cleveland Clinic hastanesi IBM ile işbirliğine giderek kişiyi özel tedavi yöntemlerini belirlemektedir. IBM'in Watson sistemi büyük veri incelemesiyle doktorlara en etkili tedavi yöntemi konusunda yardımcı olmaktadır^[14].

5.2.5 Tedavi Sonrası Klinik Karar Desteği

Yapay zekânın tedavi sonrasında kritik klinik kararların alınmasında da kullanılabileceği belirtilmektedir. Klinik Karar Destek (Clinical Decision Support -CDS) araçları, devasa boyutlardaki dijital veriyi analiz ederek, tedavide bir sonraki aşama konusunda önerilerde bulunur, sağlık personelinin gözünden kaçabilecek bilgileri ve olası sorunları haber verir.

Yapay zekâlı klinik karar destek çözümleri, doktorlara tedavi sonrası komplikasyonlar ve tedavinin sürdürülüp sürdürülmemesi gibi önemli kararların alınmasında da yardımcı olabilmektedir. Yapay zekâ, oldukça karmaşık veri setlerini analiz ederek örneğin felç veya sepsis gibi ciddi komplikasyonları oluşmadan haber verebilir. Makine öğrenmesi teknikleri ile kalp krizinin ardından komaya giren ve hayati endişesi bulunan hastaların tedavisinin sürdürülüp sürdürülemeyeceği kararının alınmasına da yardımcı olabilecektir^[12].

Bu amaçlara ulaşmak için girişimler başlamıştır. ABD'nin Alabama eyaletindeki Huntsville Hastanesinde yapılan bir klinik deneyde, hastaların dijital dosya bilgileri ve klinik karar destek algoritmaları kullanılarak tedavi





sonrası sepsis yaşayabilecek hastalar önceden belirlenebilmiş ve ölüm oranları yüzde 53 düşürülebilmıştır^[58].

IBM Watson, onkologlar için en iyi kanser tedavi yaklaşımını belirlemeleri ve kararlarını gözden geçirmeleri için “The Care Trio” adı verilen bir sistem geliştirmiştir. Sistem üç ayakta oluşmaktadır. “CareEdit” aracı farklı kanser türlerine ilişkin en iyi tedavi yöntemlerine ilişkin klinik kılavuzluk sağlamaktadır. “CareGuide” ise CareEdit’in sunduğu bilgileri kullanarak bireysel hasta için doğru tedavinin seçilmesinde doktorlara yardımcı olmaktadır. “CareView” ise klinik karar verildikten sonra sonuçları değerlendirmekte ve verilen öneriler dışında tedavi yöntemi alan hastaları belirleyip karşılaştırma olanağı sağlamaktadır. The Care Trio, ilk olarak İtalya’da büyük bir onkoloji hastanesinde denenmeye başlanmıştır. IBM Watson, Care Trio ile kanserli hastaların hayatta kalma oranının artacağına ve tedavi masraflarının azacağına inanmaktadır^[6].

Ginger.io tarafından geliştirilen bir uygulama ise psikiyatrik tedavi gören hastalara, tedavi sonrası yardımcı olduğu gibi, hastanın ruh halini takip ve analiz ederek psikiyatrların yeni stratejiler geliştirmesine yardımcı olmaktadır. Şirket uygulama sayesinde hastaların gerektiğinde destek alabildiğini ve semptomlarda yüzde 70 iyileşme sağladığını ileri sürmektedir^[59].

5.2.6 Ömrünün Son Evresindeki Hastaya Bakım

Bütün dünyada ortalama ömür uzamaktadır. Ortalama ömür uzadıkça bunama, kalp yetmezliği ve kireçlenme gibi hastalıkların görülme oranı artmaktadır. Ayrıca yaşamının bu evresindeki insanların büyük bölümü yalnızlıkla karşı karşıyadır. Günümüzün robot teknolojisi ömrünün sonundaki hastalara bakım hizmetlerinde köklü bir dönüşüm vadetmektedir. Robotlar bu evredeki insanların kimseye bağlı kalmadan daha uzun süre yaşamalarını sağladıkları gibi, hastaneye yatırılma gerekliliklerini azaltmaktadır.

Yapay zekânın gelişmesiyle birlikte bu robotlar, hastanın temel verilerini takip ve ilaç almalarına yardım etmek dışında da görevler üstlenmeye başlamıştır. Örneğin Fransa menşeli startup Kompai Robotics’in Kompai robotları, yapay zekâsı sayesinde konuşabilmekte ve konuşmaları anlamakta; kullanıcıların randevularını, hatırlama alışveriş ihtiyaçlarını takip edip hatırlatabilmektedir. Kompai, hastanın ilaçlarını takip etmekte, düşme gibi acil durumlarda hastanın yakınlarını ve sağlık kuruluşlarını alarma geçirebilmektedir. Kompai, hastayı yakınlarıyla görüntülü olarak görüştürebilmekte, gezintilerinde kendisine dayanarak yürümelerine yardımcı olabilmektedir^[60]. Kompai gibi yapay zekâyâ sahip eşlikçi robotların sayısının 12’ye ulaştığı belirtilmektedir^[61].

6. SAĞLIK ARAŞTIRMALARINDA YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ uygulamaları tıp araştırmaları ve sağlık eğitiminde de çok sayıda fayda sağlamaktadır. Örneğin yapay zekâ sayesinde ilaç geliştirme süreleri kısalmıştır. ABD’nin California Biyomedikal Araştırmalar Derneğinin verdiği bilgiye göre, yeni bir ilacın laboratuvarından çıkıp hastayla buluşması ortalama 12 yıl almaktadır. İlaç araştırmalarında insan üzerine deneme safhasına ulaşabilen ilaç oranı 5.000’de 5’tir (% 0.1). Ancak bu beş ilacın sadece bir tanesi son onayları alıp tüketicinin kullanımına sunulabilmektedir^[62]. Örneğin, Afrika’da 2014’te patlak veren Ebola salgınına karşı 2015’te bir deneysel ilacın denemelerine başlanabildiği^[63].

DARPA Savunma Bilimleri Ofisi Program Müdürü Anne Fischer, yapay zekâ sayesinde bu tip tedavilerin çok daha hızla geliştirilebileceğini savunuyor: “Gelişmekte olan bir hastalığa karşı bir ya da iki yıl yerine günler içinde bir tedavi bulabildiğimiz bir dünyayı düşünün” diyor; “Yapay zekâ ve otomasyonun kimyaya etkin

bir şekilde uygulanmasıyla mümkün olabilecek dünya budur. Bu moleküler bir dünya.

Akademik kuruluşlar, sağlık kurumları ve ilaç şirketleri araştırmalarında yapay zekâ kullanımına büyük önem vermektedir. Sağlık araştırmalarında yapay zekâ çalışmalarının maliyetinden ötürü açık platformlar ön plana çıkmaya başlamıştır. ABD’de Incilico Medicine adlı bir şirket 2016 yılında Pharma.AI adında bir yapay zekâ platformunu ilaç geliştiricilerin kullanımına sunmuştur. Bu platform özellikle, Parkinson, Alzheimer ve yaşlanmaya bağlı sağlık sorunlarına karşı ilaç geliştirilmesi sürecinin ksaltılmasını amaçlamaktadır^[64].

İlaç üreticisi Pfizer ile IBM Watson, ilaç üretiminde işbirliğine gitmiştir. Anlaşmaya göre IBM Watson, yapay sinir ağlarını kullanarak 30 milyondan fazla bilimsel çalışma ve laboratuvar sonucuna başvurarak test hipotezlerinin doğruluğunu analiz edebilecektir^[16].

Hastalıklara hızla çare bulunması savunma sanayinin de gündemine girmiştir. Mart 2019’da ABD İleri Araştırma Projeleri Ajansı’nın (DARPA), moleküler kimya ve yapay zekâyı birleştirerek, hastalıklara hızla ilaç ve tedavi yöntemi bulabilmek üzere bir program başlattığı bildirilmiştir^[63].

7. YAPAY ZEKÂNIN SAĞLIKTA KULLANIMINA İLİŞKİN ENDİŞELER

Yapay zekânın sağlık alanında kullanımı gün geçtikçe artarken sağlık profesyonelleri bu gelişimden çok sayıda nedenden ötürü kaygı duymaktadır. Sağlıkta yapay zekâ kullanımının etik, güvenilirlik, doğruluk derecesi ve mahremiyetin korunması gibi konulardaki eksikleri henüz giderilmemiştir^[65].

Yapay zekânın sağlık alanındaki sorunlarının başında, yapay zekânın onu geliştirenlerin subjektif yargılarını yansıtmaya olasıları gelmektedir. Örneğin radyologlara tarama verilerini analiz etmesinde yardımcı olması amacıyla geliştirilecek bir algoritmanın dayanacağı temel verilerin, ülkenin belli bir bölümünden veya toplumun belli kesimlerinden elde edilen görüntülere dayanması ihtimali bulunmaktadır. Benzer şekilde akıllı algoritmaların tahminleme ve önceden haber verme kabiliyetleri önceki verilere dayalı olacağından örneğin ilaçların yan etkilerinin öngörülmesi veya tedavi direnci araştırmalarında bu algoritmalar faydasız hale gelecektir. Öte yandan algoritmalar bir hata yaptığında kimin sorumlu tutulacağı gibi etik sorunların da cevabı bulunmamıştır^[66].

Bu kaygıların giderilmesi için yapay zekânın mikro (sağlık kuruluşları) ve makro (genel sağlık sistemi) seviyelerde nasıl kullanılacağına dair etik standartların oluşturulması, insanın ne olursa olsun öncelikli olacağı ilkesinin benimsenmesi gereklidir. Tıbbi personelin yapay zekânın temel çalışma prensipleri hakkında bilgi sahibi olması, gerektiğinde hastanın iyileşmesi amacıyla müdahale edebilmesi ve yapay zekâ ile işbirliği geliştirebilmesi

gereklidir. Yapay zekâ geliştiren şirketlerden de yapay zekânın sağlık alanında kullanımının potansiyel riskleri hakkında halkı bilgilendirmesi istenmelidir.

8. SAĞLIKTA YAPAY ZEKÂ YATIRIMLARI VE SEÇİLİ ÜLKELERDEKİ GİRİŞİMLERİ

Sonuçları ağır olabilecek risklere ve etik sorunlara rağmen devletler, sağlık kurumları ve özel sektörün tıbbi amaçlı yapay zekâ çalışmalarına yatırımları hızla artmaktadır. Araştırma şirketi MarketsandMarkets’in Aralık 2018’de yayınladığı “Artificial Intelligence in Healthcare Market” başlıklı rapora göre, 2018’de sağlık sektörüne yönelik yapay zekâ çözümlerinin pazar büyüklüğü 2.1 milyar dolara ulaşmıştır. Raporda, 2025 yılında bu pazarın büyüklüğünün her yıl yüzde 50’nin üzerinde büyüyerek 36.1 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir^[67].

Google, Microsoft, Amazon, IBM, Apple ve diğer teknoloji devleri sağlık pastasından daha fazla pay alabilmek amacıyla yapay zekâ birimlerine yatırımlarını sürdürmektedir^[65]. MarketsandMarkets’in raporuna göre Google, IBM ve Microsoft sağlıkta yapay zekâ pazarında en büyük payı almaktadır ve bu durum 2025’e kadar devam etme eğilimindedir^[67].

Ülkelerin sağlık otoriteleri de yapay zekâ alanında strateji belirleme, yatırım ve girişimleri destekleme çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. İngiltere hükümeti, Temmuz 2018’de, hastalıklara ivedi biçimde çare bulunması amacıyla Dijital İnovasyon Merkezleri kurulması kararı almış ve yatırımlara 37.5 milyon sterlin ayırmıştır. En az üç adet kurulacağı belirtilen merkezler yerel ve bölgesel sağlık verisine ulaşabilecek, ulusal sağlık sistemi (NHS), akademik kurum ve özel sektör araştırmacıları yeni ilaç ve cihazların geliştirilmesi için bu büyük veriden yararlanabilecektir^[68].

Çin yönetimi, 2017 yılında yayınladığı 13’üncü 5 Yıllık Ulusal Bilim ve Teknoloji İnovasyon Planında, hassas tıp teknolojilerinin geliştirilmesinin önemini vurgulamış ve bu amaçla biyomedikal büyük verilerin toplanacağı ulusal bir platform kurulacağını belirtmiştir^[2]. Yapay zekâ uygulamalarının ülkede özellikle kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sağlık hizmetleri farkını kapatacağı ifade edilmektedir^[69].

Japonya’da Aralık 2018’de, doktor açığını kapatmak ve hassas tıp uygulamalarını yaygınlaştırmak amacıyla 100 milyon dolar yatırımla yapay zekâyı dayalı 10 hastane kurulacağı bildirilmiştir. Hastanelerin 2022 yılına kadar hizmete alınması planlanmaktadır^[70].

Fransa’da Özel Hastaneler Birliği, Eylül 2018’de sağlıkta yapay zekânın yaygınlaştırılması için proje başlattığını duyurmuştur. Proje, hastane algoritmalarının uyumu, verilerin uygunluğu ve güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra sektörde yapay zekâ kullanımının etik standartlarını belirlemeyi hedeflemektedir^[71].



9. SONUÇ

Dünya ekonomisinin taşıyıcı ayaklarından biri olan küresel sağlık sektörü, giderek karmaşıklaşan sağlık sorunlarına çözüm arayışını yoğunlaştırırken; altyapı, maliyet ve insan kaynağı sorunlarıyla başa çıkmaya çalışmaktadır. Bilim ve teknolojiye gelişmeler, hastalıklara daha hızlı ve etkin müdahale edilebilmesini sağlamaktadır.

Nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, geniş bant kablosuz bağlantılar ve gelişmiş algoritmalar gibi gelişen teknolojiler, sağlık profesyonellerinin, önleyici sağlık hizmeti verebilmesini, hızlı ve isabetli teşhiste bulunabilmesini, etkin tedavi uygulayabilmesini ve tedavi sonrası hizmetleri verimli biçimde sürdürmesini sağlamaktadır.

Bu verimlilik artışında sağlık profesyonellerinin en önemli yardımcılardan biri yapay zekâ uygulamalarıdır. Yapay zekâ çözümleri sağlık alanını yeniden şekillendirmeye başlamıştır. Giderek daha karmaşık hale gelen yapay zekâ insanların yaptığı her işi daha verimli

hale getirmekle kalmayıp görevlerini de çok daha çabuk gerçekleştirmektedir. Yapay zekânın sağıktaki potansiyeli devasa boyutlardadır ve bu nedenle devletler kadar teknoloji kuruluşlarının da odağındadır. Yapay zekâ faydaları yanında kamu sağığına yaklaşımı da değiştirecek niteliklere sahiptir. Ancak yapay zekânın insanlar tarafından geliştiriliyor olmasının yarattığı güvenlik ve etik kaygıların giderilmesi gerekmektedir. Bunun yolu sağııkta yapay zekâ uygulamalarına ilişkin küresel etik kurallarının geliştirilmesinde uluslararası işbirliğinin sağlanması olabilir. Dünyada sağlık sorunları gelişen teknolojilerin sunduğu çözümler ve verim artışına rağmen karmaşıklaşarak sürerken, yapay zekâ çözümlerinden vazgeçmek anlamlı olmayacaktır. Bu nedenle gelecek kuşakların sağlık ve esenliğı için bu teknolojiler üzerindeki kuşkuları ortadan kaldıracak ortak akla ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- [1] World Health Organization, (2019), "Ten threats to global health in 2019", <https://www.who.int/emergencies/ten-threats-to-global-health-in-2019>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [2] Deloitte, (2019), "2019 Global health care outlook Shaping the future", <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Life-Sciences-Health-Care/gx-lshc-hc-outlook-2019.pdf>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [3] PricewaterhouseCoopers, (2017), "What doctor? Why AI and robotics will define New Health", (Haziran 2017), <https://www.pwc.com/it/it/assets/document/ai-robotics-new-health.pdf>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [4] World Health Organization, (2018), "Public Spending on Health: A Closer Look at Global Trends", <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276728/WHO-HIS-HGF-HF-WorkingPaper-18.3-eng.pdf?ua=1>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [5] CGI, "Healthcare Challenges and Trends The Patient at the Heart of Care", <https://www.cgi.com/sites/default/files/white-papers/cgi-health-challenges-white-paper.pdf>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [6] Marr, Bernard; (2016), "How Machine Learning, Big Data And AI Are Changing Healthcare Forever", *Forbes*, (23 Eylül 2016), <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/09/23/how-machine-learning-big-data-and-ai-are-changing-healthcare-forever/#5d27f5b51a1c>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [7] Accenture, (2017), "ARTIFICIAL INTELLIGENCE: Healthcare's New Nervous System", https://www.accenture.com/t20171215T032059Z_w_us-en/acnmedia/PDF-49/Accenture-Health-Artificial-Intelligence.pdf#zoom=50. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [8] CB Insights, (2017), "From Virtual Nurses To Drug Discovery: 106 Artificial Intelligence Startups In Healthcare", (3 Şubat 2017), <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-startups-healthcare/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [9] Wiggers, Kyle; (2018), "CB Insights: AI health care startups have raised \$4.3 billion since 2013", *Venture Beat*, (13 Eylül 2018), <https://venturebeat.com/2018/09/13/cb-insights-ai-health-care-startups-have-raised-4-3-billion-since-2013/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [10] Aydın, Şahin; Birinci, Şuayip; Sıddıkoğlu, Duygu; (2018), "Sağlık alanında karar destek sistemleri modeli ve iş zekâsı çözümleri", *Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Platformu*, (22 Haziran 2018), <http://www.sdplatform.com/Dergi/1084/Saglik-alaninda-karar-destek-sistemleri-modeli-ve-is-zekasi-cozumleri.aspx>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [11] Kalis, Brian; Collier, Matt; Fu, Richard; (2018), "10 Promising AI Applications in Health Care", *Harvard Business Review*, (10 Mayıs 2018), <https://hbr.org/2018/05/10-promising-ai-applications-in-health-care>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [12] Bresnick, Jennifer; (2018), "Top 12 Ways Artificial Intelligence Will Impact Healthcare", *Health IT Analytics*, (30 Nisan 2018), <https://healthitanalytics.com/news/top-12-ways-artificial-intelligence-will-impact-healthcare>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [13] Nuance, "Voice-enabled virtual assistants for healthcare", <https://www.nuance.com/healthcare/artificial-intelligence/virtual-assistants.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [14] Zaidi, Deena; (2018), "The 3 most valuable applications of AI in health care", *Venture Beat*, (22 Nisan 2018), <https://venturebeat.com/2018/04/22/the-3-most-valuable-applications-of-ai-in-health-care/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [15] MedAware, <http://www.medaware.com/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [16] Dickson, Ben; (2018), "AI could help reduce the administrative costs of health care", *Venture Beat*, (8 Nisan 2018), <https://venturebeat.com/2018/04/08/ai-could-help-reduce-the-administrative-costs-of-health-care/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [17] Market Research, (2018), "Global Telehealth Market to Reach US\$ 19.5 Bn by 2025; Improving Services and Increase in Applications of Telehealth to Boost the Market: Transparency Market Research", (Mart 2018), <https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/telehealth-market.htm>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [18] Compark, <http://www.compark.com.tr/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [19] Marr, Bernard; (2018), "How Is AI Used In Healthcare - 5 Powerful Real-World Examples That Show The Latest Advances", *Forbes*, (27 Temmuz 2018), <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/07/27/how-is-ai-used-in-healthcare-5-powerful-real-world-examples-that-show-the-latest-advances/#62837def5dfb>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [20] Lumiata, <https://www.lumiata.com/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [21] IQVia, (2017), "The Growing Value of Digital Health", (7 Kasım 2017), <https://www.iqvia.com/institute/reports/the-growing-value-of-digital-health>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [22] Research and Markets, (2017), "Mobile Health (mHealth) App Market - Industry Trends, Opportunities and Forecasts to 2023", (Kasım 2017), https://www.researchandmarkets.com/research/pv554v/28_32_billion?w=5. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [23] PricewaterhouseCoopers, "Bodylogical® gives more power to consumers to do more with their health", <https://www.pwc.com/us/en/industries/health-industries/library/doublejump/bodylogical-precision.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [24] Young, Leslie; (2018), "There are thousands of health and fitness apps, and not much evidence they work: study", *Global News*, (18 Mayıs 2018), <https://globalnews.ca/news/4215969/do-fitness-apps-work/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [25] Wicklung, Eric; (2018), "mHealth Wearables, AI Used to Detect Diabetes in One's Heart Rate", *mHealth Intelligence*, (7 Şubat 2018), <https://mhealthintelligence.com/news/mhealth-wearables-ai-used-to-detect-diabetes-in-ones-heart-rate>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [26] Welltok, <https://www.welltok.com/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [27] Salber, Patricia; (2014), "What is Welltok? A Conversation with Michelle Snyder", *The Doctor Weighs in*, (14 Temmuz 2014), <https://thedoctorweighsin.com/welltok/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [28] Murray, Sara G.; Yim, Joanne W. L.; Croci, Rhiannon; (2017), "Using Spatial and Temporal Mapping to Identify Nosocomial Disease Transmission of Clostridium difficile", *Jama Network*, (Aralık 2017), <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2659323>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [29] Bresnick, Jennifer; (2017), "EHR Analytics Track C. Diff Patients to Flag Infection Trends", *Health IT Analytics*, (24 Ekim 2017), <https://healthitanalytics.com/news/ehr-analytics-track-c-diff-patients-to-flag-infection-trends>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [30] Mannes, John; (2016), "CareSkore gets \$4.3M to bring machine learning to preventive care", *Tech Crunch*, <https://techcrunch.com/2016/08/10/careskore-gets-4-3m-to-bring-machine-learning-to-preventive-care/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [31] Macdonald, Fiona; (2016), "AI Can Analyse Mammogram Results 30 Times Faster Than Doctors, And With 99% Accuracy", *Science Alert*, (19 Eylül 2016), <https://www.sciencealert.com/ai-analyses-mammograms-30-times-faster-and-20-more-accurately-than-doctors>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [32] Johnson, Khari; (2018), "Baidu Researcher's breast cancer detection algorithm outperforms human pathologists", *Venture Beat*, (18 Haziran 2018), <https://venturebeat.com/2018/06/18/baidu-researchers-breast-cancer-detection-algorithm-outperforms-human-pathologists/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [33] us13.campaign, "Welcome to Import AI, a newsletter about artificial intelligence.", <https://us13.campaign-archive.com/?u=67bd06787e84d73db24fb0aa5&id=5e309998a6>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [34] Linn, Allison; "How Microsoft computer scientists and researchers are working to 'solve' cancer", *Microsoft*, <https://news.microsoft>.

- com/stories/computingcancer/. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [35] Markoff, John; (2016), "Microsoft Finds Cancer Clues in Search Queries", *New York Times*, (7 Temmuz 2016), <https://www.nytimes.com/2016/06/08/technology/online-searches-can-identify-cancer-victims-study-finds.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [36] Pathway Genomics, (2018), "Standard Process Partners with Pathway OME To Offer Genetics and AI Services – A Breakthrough in Personalized Wellness", (20 Eylül 2018), <https://www.pathway.com/press-releases/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [37] Spencer, Geoff; (2018), "AI and preventative healthcare: Diagnosis in the blink of an eye", *Microsoft Asia News Center*, (17 Eylül 2018), <https://news.microsoft.com/apac/features/ai-and-preventative-healthcare-diagnosis-in-the-blink-of-an-eye/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [38] Webster, William; (2018), "Smartphones and Selfies sourcing AI Healthcare Diagnostics", *Avoncourt*, (30 Kasım 2018), <http://avoncourt.de/smartphones-and-selfies-sourcing-ai-healthcare-diagnostics/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [39] Lock, Stan; (2018), "Danish startup Corti uses AI to save people from cardiac arrest", *Business Insider Nordic*, (30 Nisan 2018), <https://nordic.businessinsider.com/danish-speech-recognition-ai-corti-saves-lives-by-detecting-cardiac-arrest-in-real-time-/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [40] *AI Med*, (2018), "Enlitic study shows radiologists 21% faster working with AI", (27 Eylül 2018), <https://ai-med.io/enlitic-study-radiologists-ai/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [41] *Digital Initiative*, (2017), "Beat Cancer with Enlitic: A Winner in Medical Diagnostics", 2 Şubat 2017), <https://digit.hbs.org/submission/beat-cancer-with-enlitic-a-winner-in-medical-diagnostics/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [42] *Imaging Technology News*, (2017), "Arterys Receives FDA Clearance for Arterys MICA Web-Based Medical Imaging Analytics Platform", (26 Kasım 2017), <https://www.itnonline.com/content/arterys-receives-fda-clearance-arterys-mica-web-based-medical-imaging-analytics-platform>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [43] Fingas, Jon; (2018), "Speedy AI image analysis could help doctors during surgery", *Engadget*, (19 Haziran 2018), <https://www.engadget.com/2018/06/19/mit-ai-medical-image-analysis/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [44] *IBM Watson Health*, "Welcome to the cognitive era of health" <http://www-07.ibm.com/hk/watson/health/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [45] *DeepMind Health*, "Streams is joining Google" <https://deepmind.com/blog/scaling-streams-google/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [46] *Robotic Oncology*, "History and the future of Robotic Surgery", <https://www.roboticoncology.com/history-of-robotic-surgery/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [47] *Intuitive*, <https://www.intuitive.com/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [48] daVinci.Cerrahisi, "Robotik Cerrahi Yapan Hastaneler", <https://www.davincicerrahisi.com/robotik-cerrahi-yapan-hastaneler/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [49] *ECN Mag*, (2018), "Global Surgical Robots Market Analysis", (7 Mart 2018), <https://www.ecnmag.com/industry-brief/2018/07/global-surgical-robots-market-analysis>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [50] *UC Health*, "Robotic Surgery Programme", <https://uhealth.com/services/robotic-surgery/patient-information/benefits/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [51] Houser, Kristin; (2018), "A Robot Just Operated On A Human Eye for the First Time", *Futurism*, (18 Haziran 2018), <https://futurism.com/robot-assisted-eye-surgery-trial>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [52] *Carnegie Mellon University*, (2016), "HeartLander", <https://www.ricmu.edu/project/heartlander/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [53] Britt, Phil; (2018), "How AI-Assisted Surgery Is Improving Surgical Outcomes", *Robotics Business Review*, (19 Haziran 2018), <https://www.roboticsbusinessreview.com/health-medical/ai-assisted-surgery-improves-patient-outcomes/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [54] Thomas, Brian; (2018) "Why Artificial Intelligence is Important in Healthcare", *Straight Talk*, (19 Nisan 2018), <https://straighttalk.hcltech.com/why-artificial-intelligence-is-important-in-healthcare>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [55] Comstock, Jonah; (2016), "AiCure raises \$12M for smartphone camera-powered medication adherence tracking", *Mobil Health News*, (12 Ocak 2016), <https://www.mobihealthnews.com/content/aicure-raises-12m-smartphone-camera-powered-medication-adherence-tracking>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [56] *Atomwise*, <https://www.atomwise.com/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [57] *Nutritional Immunology & Molecular Medicine*, "Artificial Intelligence: The Next Revolution in Healthcare and Precision Medicine", <https://nimml.org/news/detail/artificial-intelligence-the-next-revolution-in-healthcare-and-precision-med>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [58] Murphy, Kyle; (2016), "Clinical Decision Support Decreases Sepsis Mortality in AL", *EHR Intelligence*, (25 Mayıs 2016), <https://ehrintelligence.com/news/clinical-decision-support-decreases-sepsis-mortality-in-al>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [59] *Ginger*, <https://www.ginger.io/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [60] *Kompai Robotics*, <http://roboticsolutions.com/robot-kompai/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [61] *The Medical Futurist*, (2018), "The Top 12 Social Companion Robots", (31 Temmuz 2018), <https://medicalfuturist.com/the-top-12-social-companion-robots>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [62] *PricewaterhouseCoopers*, "No longer science fiction, AI and robotics are transforming healthcare", <https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health-transforming-healthcare.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [63] Seffers, George I.; (2019), "DARPA Pursuing AI to Accelerate Disease Cures", *Afcea*, (7 Mart 2019), <https://www.afcea.org/content/darpa-pursuing-ai-accelerate-disease-cures>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [64] *Pharmaceutical Artificial Intelligence*, <http://www.pharma.ai/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [65] Bresnick, Jennifer; (2018), "Artificial Intelligence, Big Data Basics Lead Top 10 Stories of 2018", *Health IT Analytics*, (12 Aralık 2018), <https://healthitanalytics.com/news/artificial-intelligence-big-data-basics-lead-top-10-stories-of-2018>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [66] *Medical Futurist*, (2017), "There Is No Precision Medicine Without Artificial Intelligence", (19 Ekim 2017), <https://medicalfuturist.com/no-precision-medicine-without-artificial-intelligence>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [67] *Markets And Markets*, "Artificial Intelligence in Healthcare Market worth \$36.1 billion by 2025", <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/artificial-intelligence-healthcare.asp>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [68] *Health Data Research UK*, (2018), "£37.5m investment in Digital Innovation Hubs to tackle Britain's biggest health challenges" (16 Temmuz 2018), <https://www.hdrk.ac.uk/news/37-5m-investment-in-digital-innovation-hubs-to-tackle-britains-biggest-health-challenges/>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [69] Musaddique, Shafi; (2019), "A.I. will equalize health care in China, NovaVision CEO says" *CNBC*, (23 Ocak 2019), <https://www.cnbc.com/2018/11/28/artificial-intelligence-will-equalize-health-care-in-china-ceo-says.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [70] *Healthcare Asia Magazine*, (2018), "Japan to build 10 AI-based hospitals by 2022", (12 Aralık 2018), <https://healthcareasiamagazine.com/healthcare/news/japan-build-10-ai-based-hospitals-2022>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [71] Moreaux, Raphael; (2018), "La FHF crée une mission sur l'intelligence artificielle en santé", *Tec Hospital*, (11 Eylül 2018), <https://www.techopital.com/la-fhf-cree-une-mission-sur-l-intelligence-artificielle-en-sante-NS-3749.html>. (Erişim Tarihi: 26 Nisan 2019)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

