

DERLEME / REVIEW

COVID-19 Pandemisi ile Mücadelede XR, AI, IoT ve 5G Uygulamaları

XR, AI, IoT, and 5G Applications in Fight Against the COVID-19

Pandemic

Anı Hande METE¹, Buse Fidan TÜRKÖN², Faruk YILMAZ³, Özgür İNCE³¹Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Yönetimi Bölümü, Sağlık Ekonomisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye²Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Yönetimi Bölümü, Hastane İşletmeciliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye³Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Yönetimi Bölümü, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Geliş tarihi/Received: 17.05.2022

Kabul tarihi/Accepted: 01.11.2022

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Anı Hande METE, Arş. Gör.

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Sağlık Bilimleri
Fakültesi Büyükkçekmece Yerleşkesi Alkent 2000
Mah. Yiğittürk Cad. No:5/9/1 Büyükkçekmece/
İstanbul, Türkiye

E-posta: anihande.mete@iuc.edu.tr

ORCID: 0000-0002-4077-2895

Buse Fidan TÜRKÖN, Arş. Gör.

ORCID: 0000-0002-6978-6377

Faruk YILMAZ, Arş. Gör.

ORCID: 0000-0001-7398-8302

Özgür İNCE, Doktora Öğrencisi

ORCID: 0000-0002-6875-9115

Öz

Koronavirüs hastalığı pandemisinin yıkıcı etkisiyle mücadelede hükümetler, sınırlama ve kapanma politikaları uygulamak durumunda kalmıştır. Bu uygulamalar pek çok sektörde faaliyetlerin aksamasına sebep olurken, sağlık hizmetleri sektöründe aksine talep artışına yol açarak bulaşıcılığın kontrolünü sağlayacak şekilde kapasite üzerinde faaliyet gösterilmesini gerekli kılmıştır. Bu kapsamda pandemi ile etkin bir şekilde mücadele edebilmek için geliştirilmiş gerçeklik, yapay zekâ, nesnelere interneti ve 5G gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımında artış görülmüştür. Bu derlemede pandemi sürecinde ilgili yenilikçi teknolojilerin kullanım alanlarının ve örnek uygulamalarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu teknolojiler, COVID-19'a yönelik sağlık hizmetlerinin sunumu, teşhis ve tedavi yöntemlerinin uygulanması, tıp eğitimi, halk sağlığı ve sağlığın geliştirilmesi gibi pek çok alanda sağlık işletmeleri, sağlık çalışanları, hastalar ve bir bütün olarak sağlık sistemleri için çeşitli faydalar sağlamıştır. Bu faydalar sağlık işletmeleri için müşteri hizmetleri ve kalitenin geliştirilmesi, kaynak tasarrufu ve rekabet üstünlüğünün sağlanması; hastalar açısından sağlığın korunması ve geliştirilmesi, hasta güvenliğinin ve maliyet tasarrufunun sağlanması; sağlık çalışanları için daha güvenli bir çalışma ortamının sağlanması; sağlık sistemlerine ise etkin kapasite kullanımı, sağlık hizmetleri arz ve talep dengesinin sağlanması, sağlık insan gücü eğitimi, halk sağlığının geliştirilmesi, veri güvenilirliği ve izlenebilirliğinin sağlanması olarak özetlenebilir. Sağlık hizmeti süreçlerinde pandemi gibi kriz durumlarında hükümetlerin yenilikçi teknolojileri kaçınılmaz olarak kullanması gerekmektedir. Bu doğrultuda sağlık hizmetlerinde ortaya çıkan ihtiyaçları karşılayabilmek için bu teknolojilerin hem insan gücü yetiştirme hem de mevcut altyapıya yönelik politikaların geliştirilmesinde kullanımı önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, yapay zekâ, nesnelere interneti, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik.

Abstract

To struggle the devastating impact of the Coronavirus disease pandemic, governments have had to implement containment and closure policies. While these practices caused the disruption of activities in many sectors, on the contrary, they led to an increase in demand for healthcare, making it necessary to operate above the capacity to make control of contagious. In this context, there has been an increase in the use of innovative technologies such as extended reality, artificial intelligence, internet of things, and 5G in order to effectively fight against the pandemic. In this review, it is aimed to reveal the fields of usage and model implementation of related innovative technologies during the pandemic process. These technologies have provided various benefits for health facilities, health workers, patients, and health systems, in many areas such as the delivery of health care for COVID-19, application of diagnosis and treatment methods, medical education, public health, and health promotion. These benefits can be summarized as improving customer service and quality, saving resources and providing competitive advantages for health facilities; protecting and promoting health, ensuring patient safety and cost savings for patients; providing a safe working environment for health care workers; providing effective capacity utilization and balance between supply and demand for healthcare, health care worker training, improving public health, propounding data reliability and traceability for healthcare systems. In crisis situations such as like a pandemics in healthcare processes, governments must inevitably use innovative technologies. In this context, it is important to consider these technologies while developing policies for both workforce training and existing infrastructure in healthcare.

Keywords: COVID-19, artificial intelligence, internet of things, virtual reality, augmented reality.

1. Giriş

Koronavirüs Hastalığı (COVID-19), 2019 Aralık'ta Çin'in Hubei eyaletinin Wuhan kentinde bildirilen zatürre vakalarıyla ortaya çıkmıştır. Hastalığın bir ay gibi kısa bir sürede 114 ülkede yayılım göstermesi, 11 Mart'ta Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından pandemi ilan edilmesine sebep olmuştur (1). DSÖ'nün yayınlamış olduğu rapora göre 4 Mayıs 2020'de dünyada 3 milyon 435 bin 894 vaka ve 239 bin 604 ölüm; 4 Mayıs 2022 itibarıyla ise 511 milyon 252 bin 681 vaka ve 6 milyon 238 bin 149 ölüm bildirilmiştir (2). COVID-19 pandemisinin yıkıcı etkisi, hükümetlerin sınırlama ve kapanma politikaları çerçevesinde karantina uygulamalarını ve günlük yaşamda sosyal mesafeyi teşvik edecek geniş çaplı önlemleri devreye almasına yol açmıştır. Bu uygulamalar pek çok sektörde faaliyetlerin kısıtlanması hatta durdurulmasına sebep olurken, sağlık hizmetleri sektöründe aksine talep artışına yol açarak hastanelerin kapasitelerinin üzerinde faaliyet göstermesini gerekli kılmıştır. Bu durum pandemi ile mücadelede sağlık hizmetleri kaynaklarının tahsis ve teknik verimliliğin sağlanması, sağlık hizmetlerinin nüfusun tüm kesimleri için erişilebilir olması, mevcut bulaş risklerinin minimize edilmesi amacıyla sağlık insan gücü ihtiyacını ikame edecek uzaktan sağlık hizmet ve süreçlerinin geliştirilebilmesi için genişletilmiş gerçeklik (Extended Reality-XR) yapay zekâ (Artificial Intelligence-AI) nesnelere interneti (Internet of Things-IoT) ve 5G gibi yenilikçi teknolojilerin sağlık hizmetlerinde kullanımını artırmıştır. Pandeminin bulaşıcı doğası gereği bu teknolojiler özellikle COVID-19'a yönelik sağlık hizmetlerinin sunumu, teşhis ve tedavi yöntemlerinin uygulanması, tıp eğitimi, halk sağlığı ve sağlığın geliştirilmesi gibi pek çok yaygın kullanım alanı bulmuştur. İzleyen bölümde ilk olarak bu yenilikçi teknolojiler kısaca açıklanmış ardından COVID-19'a yönelik çeşitli uygulama örneklerine yer verilmiştir.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Genişletilmiş Gerçeklik (XR)

Sanal gerçeklik (VR), bir kullanıcının kulaklıklar ve sensörler gibi elektronik cihazlar kullanarak simüle edilmiş olan üç boyutlu bir ortamla etkileşime girmesine imkân sağlayan insan-bilgisayar ara yüzünün yeni bir şeklidir. Bu hali ile sanal gerçeklik, kullanıcıların içinde bulunduğu üç boyutlu (3D) dünyayı algılayabildiği, hareket edebildiği ve etkileşim kurabildiği insan-bilgisayar ortamları olarak tanımlanmaktadır (3). Artırılmış gerçeklik (AR) ise VR ile benzer bir kavramdır. Ancak AR, gerçekliği saf dışı bırakmak yerine bilgisayar tarafından oluşturulan içeriği gerçek dünya deneyimine eklemektedir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılar gerçek ve sanal dünyayı birlikte deneyimleyebilmektedir (4).

Karma gerçeklik (MR), fiziksel varlıkların ve dijital nesnelere gerçek zamanlı olarak bir arada bulunabileceği ve etkileşime girebileceği gerçek dünya ve sanal/dijital dünyanın kombinasyonudur. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin avantajlarını birleştiren MR, yeni bir çevresel görselleştirme imkânı ile akıllı sağlık hizmetlerinde son zamanlarda popülerleşen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (5). Genişletilmiş Gerçeklik (XR) ise sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklikler tarafından desteklenen tüm gerçeklik yelpazesini kapsayan bir şemsiye terimdir (6). Bu nedenle XR, kullanıcıların simülasyonu algılama biçimlerini geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda simülasyonun gerçekliğini genişleterek

benzersiz bir varlık hissi sunar, böylece gerçek ve simüle edilmiş ortamları ayırt edilemez hale gelir (7).

ABI araştırma şirketi, sağlık sektöründe VR uygulamalarının 2017'de 8,9 milyon \$'dan 2022 yılında 285 milyon \$'a ulaşacağını tahmin etmiştir (8). Aynı şirketin AR ve MR cihazları için yaptığı son araştırmada ise sağlık pazarındaki toplam gelirin 2018'de 116 milyon \$'dan 2023'te 10.578 milyar \$'a ulaşacağı öngörülmüştür (9). Yapılan araştırmalar sonuçlarına ve gözlenen trende göre pek çok şirketin sağlık sektöründe AR-VR teknolojilerini benimseyerek yatırım yapacağı açıktır.

Pandemiye sebep olan bulaşıcı hastalıklar halk sağlığı sorunlarının yanı sıra ekonomik ve sosyal sorunlara da neden olmaktadır. Birçok ülke COVID-19 salgını sırasında sorunların çözümü için hastaların tedavi edilmesi, kontrol ve takibinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak sanal yöntemleri sağlık sistemine entegre etmek zorunda kalmıştır (10,11). Bununla birlikte virüsün yapısının ve yayılma şeklinin araştırılması, aşı/ilaç ve tedavi yöntemlerinin bulunması, tıp öğrencilerinin eğitimi, halk sağlığının korunması amacıyla halkın bilinçlendirilmesi, sosyal temasın azaltılması ve sağlık çalışanlarının daha güvenli bir ortamda hizmet sunabilmesi amacıyla uygulamaların geliştirilmesinde yeni teknolojiler olan VR, AR, MR ve XR uygulamalarına başvurulmuştur. İlgili teknolojilerin pandemi ile mücadeledeki uygulama örnekleri, üçüncü bölümde ele alınmıştır.

2.2. Yapay Zekâ (AI)

Zekâ kavramının makinelerle yüklenmesi, makinelerin insan düşünce ve öğrenme modellerini taklit etmesi, bir başka deyişle insan zekâsını simüle eden ileri teknoloji ürün veya araçların geliştirilebildiği akıllı yazılımlar yapay zekâ olarak adlandırılmaktadır (12). Makine öğrenmesi, bilgisayarlara ve makinelerle deneyimlerden öğrenerek problem çözme yeteneğinin aktarılma süreci, daha basit bir tanımla veriden üretilen yazılım şeklinde ifade edilebilir (13, 14). Makine öğrenmesiyle derin öğrenme teknikleri kullanılarak görüntü tanıma, konuşmayı metne dönüştürme, sınıflandırma, eşleştirme ve filtreleme gibi işlevler yerine getirilmektedir (15). Yapay zekâ teknolojilerinin COVID-19'a karşı mücadelesini virüsün teşhisi için laboratuvar sonuçları ve radyolojik görüntülerden hekimlere sunduğu karar destek sistemlerinden, tedavi aşamasında kullanılacak ilaç-etkileşim çalışmalarına, temaslı takibinden sosyal izolasyon ve filyasyon çalışmalarına, gösterge izleminden kapasite planlama ve analiz sistemlerine kadar geniş bir alanda görmek mümkündür.

Yapay zekânın çeşitli alanlarda görülerek özümsemesinin bir sonucu da beraberinde getireceği ekonomik etkilerdir. Yapay zekâ teknolojisinin global anlamda ekonomik katkılarını inceleyen bir araştırmaya göre 2030 yılında toplam 15,8 trilyon \$'lık kazanım getireceği öngörülmüştür. Buna göre Çin, 7 trilyon \$ ile GSYİH'nin %26,1'si, Kuzey Amerika ise 3,7 trilyon \$ ile GSYİH'nin %14,5'i kadar kazanım elde ederek global ekonomik etkinin toplamda %70'ini oluşturacaktır. Diğer bölgelerden Kuzey Avrupa'nın 1,8 trilyon \$ ile GSYİH'nin %9,9'u, Güney Avrupa'nın 0,7 trilyon \$ ile GSYİH'nin %11,5'i, gelişmekte olan Asya, 0,9 trilyon \$ ile GSYİH'nin %10,4'ü, Afrika, Okyanusya ve diğer Asya pazarlarının 1,2 trilyon \$ ile GSYİH'nin %5,6'sı, Latin Amerika'nın 0,5 trilyon \$ ile GSYİH'nin %5,4'ü kadar ekonomik katkı elde edeceği tahmin edilmektedir (16).

Sağlık sektörü pazarında 2014'te 600 milyon \$'dan 2022'de 6,6 milyar dolara ulaşan yapay zekâ, yaklaşık olarak yıllık %40 oranında büyüme gerçekleştirmektedir. Sağlıkta yapay zekâ uygulamalarının getirdiği yeni kazanımların yanı sıra birtakım harcamaları ve işlem maliyetlerini azaltacağı göz önünde bulundurulduğunda 2026 yılına kadar sadece ABD sağlık ekonomisi için yıllık 150 milyar \$'dan fazla tasarruf sağlaması beklenmektedir (17).

2.3. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Korte ve ark. (18) IoT'yi "çeşitli nesnelere internete bağlayan küresel bir ekosistem" şeklinde tanımlamaktadır. IoT, çeşitli sensörleri kullanarak nesnelerin birbirleriyle iletişim kurmasına olanak tanımaktadır. İnternetle de insan müdahalesi olmadan veri üretmekte veya değiştirmektedir. IoT teknolojisinde yaşanan gelişmeler, giyilebilir sensörlerin, taşınabilir cihazların ve tıbbi cihazların geliştirilmesinde tetikleyici rol oynamaktadır (19). IoT teknolojisi ulaşım, lojistik, tedarik zinciri, endüstri ve sağlık alanları gibi farklı pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (20). Sağlık hizmetleri IoT teknolojisi için en çekici alanlardan biri olarak tanımlanmaktadır. IoT teknolojisi sağlık durumunun uzaktan kontrol edilmesi, kronik hastalık yönetimi, yaşlı bakımı ve fitness programları gibi uygulamaların geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında IoT teknolojisinden, sağlık hizmetlerinde maliyetleri düşürmesi, yaşam kalitesini artırması ve kullanıcı deneyimini zenginleştirilmesi gibi pek çok beklenti bulunmaktadır (21).

IoT, sağlık hizmetlerinde yıkıcı teknolojilerden biri olarak yenilikler yaratabilecek potansiyele sahiptir. COVID-19 döneminde olduğu gibi IoT karmaşık vakaları dijital olarak ele alabilmeye ve bu vakaların daha kolay kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla başta hekimler ve hastalar olmak üzere sağlık profesyonelleri ve diğer paydaşlar için iyi bir destek sistemi işlevi görenek tıp alanındaki zorlu bazı görevleri üstlenmektedir (22). IoT, COVID-19 döneminde hastalığın teşhisi ve karantina süreci olmak üzere iki farklı süreçte kullanılabilir. Bulaşıcılığı yüksek olan COVID-19'un teşhisi oldukça önemlidir. IoT teknoloji ile hastalardan elde edilen bilgiler teşhis sürecini hızlandırmaktadır. Karantina sürecinde ise izole edilen hastanın uzaktan gerçek zamanlı takip edilmesi IoT teknolojisi ile mümkün olmaktadır (23). IoT sayesinde yüksek risk taşıyan bireyler gerçek zamanlı olarak kolaylıkla takip edilebilmektedir. Ayrıca, herhangi bir insan etkisi olmadan bireylerin verileri toplanabilmekte ve izlenebilmektedir (24).

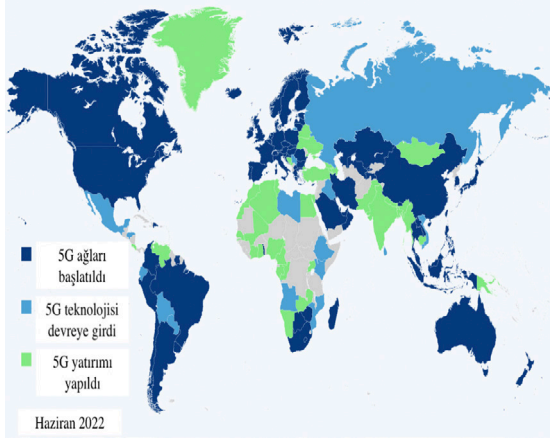
ABD'de giyilebilir teknoloji kullanan yetişkin bireylerin, 2017 yılında nüfusun %18,1'ini oluşturduğu görülürken bir araştırma şirketinin tahminlerine göre 2022 yılında bu rakamın, nüfusun %25,3'üne ulaşması beklenmektedir (25). Tıbbi nesnelerin internetinin (IoMT) global pazar büyüklüğünün ise COVID-19'un etkisiyle 2017-2019 dönemindeki yıllık ortalama büyümeye kıyasla 2020'de %71,3 oranında artış göstererek 41,17 milyar \$'a ulaştığı kaydedilmiştir (26). Hindistan'da yapılan bir çalışmaya göre tıbbi cihazların %48'inin IoT üzerinden bağlandığı ve bu oranın %68'e ulaşmasının beklendiği belirtilmiştir. McKinsey araştırmasında IoT teknolojisinin sağlık sektöründe diğerlerine kıyasla daha hızlı büyüyeceğini öngörmüştür (27). IoMT'nin küresel ekonomiye 2025'e kadar 1,6 trilyon \$ tutarında katkı sağlayacağı aynı çalışmada belirtilmiştir. Yapılan araştırmalar ışığında öyle ki IoMT pazarının, 2028 yılına kadar 187,60 milyar \$'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (28).

2.4. 5G

Otomatik sistemler arasında iletişim kurulması, hesaplama ağırlıklı görevlerin uzaktan yürütülmesi ve büyük veri tabanlarına erişilmesi gibi görevlerin yerine getirilebilmesi için yaygın ağ erişimine ihtiyaç duyulmaktadır (29). Gerekli olan bu ağ erişimini karşılamada küresel olarak mobil ağları destekleyen beşinci nesil kablosuz iletişim teknolojisi olan 5G önemli bir görev üstlenmiştir. Bunun nedeni ise 5G'nin diğer alternatiflere göre yüksek hız, düşük gecikme süresi, geniş bant aralığı, uçtan uca ağlar, yer-uydu bağı (uplink), kullanılabilirlik ve güvenilirlik gibi performans ölçütlerine sahip olmasıdır (30). 5G ağının özelliklerini geliştirmiş mobil şebeke özelliği (enhanced Mobile Broadband-eMBB), ultra güvenilir ve düşük gecikmeli iletişim özelliği (Ultra Reliable Low Latency Communications-URLLC) ve büyük makine tipi iletişim özelliği (massive Machine Type Communications-mMTC) olmak üzere üç başlıkta özetlemek mümkündür. Bunlardan eMBB özelliği, yüksek hareketliliğin olduğu durumlarda bile daha yüksek veri hızlarını ve geniş bantı desteklemekte; URLLC özelliği, uzaktan ameliyat veya otonom araçlar gibi uygulamalar için gerekli olan düşük gecikme süresi, yüksek kullanılabilirlik ve güvenilirliği sağlamakta; mMTC ise, dar bant IoT cihazları gibi çok sayıda düşük güçlü geniş alan ağı teknolojisi için hücresel kapsama alanı sağlamaktadır (31). Bu özellikleri sayesinde XR, IoT ve AI gibi diğer eşlik eden teknolojilerle birlikte 5G teknolojisi sağlık sektöründe devrim yaratma potansiyeline sahiptir (32). 5G akıllı sağlık sistemi teletıp, teleşahitlik, telecerrahi ve uzaktan hasta takibi gibi çeşitli tıbbi hizmetlerin sunulmasına olanak tanımıştır (33).

5G pazarının 2021'deki büyüklüğü 48,2 milyar \$ olup 2030 yılında sağlayacağı tahmini gelirin 2.208,2 milyar \$'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2022'den 2030'a pazarın %56,7 oranında büyüme kat edeceği diğer pazar tahminleri arasında yerini almaktadır. 5G pazarının büyümesinde etkili olan faktörler, yüksek hızlı bağlantıya ilişkin artan talep ve IoT cihazlarının benimsenmesi olarak sıralanmaktadır. Bölgesel olarak Çin, Japonya ve Güney Kore'deki ağ altyapısından dolayı Asya Pasifik bölgesinin 2021'de %40 oranında bir payla pazara hâkim olacağı tahmin edilmiştir (34). Haziran 2022 tarihli bir raporda 5G mobil abone sayısının küresel olarak 2022 yılında 1 milyarı aşması ve 2027 yılında ise tüm mobil aboneliklerin %48'ine karşılık gelecek şekilde 4,4 milyar aboneye ulaşması tahmin edilmiştir (35). GSA'nın Haziran 2022 raporunda ise Mayıs 2022 sonu itibarıyla denemeler, lisansların alınması, planlama, ağ dağıtımı ve lansmanları dahil olmak üzere 150 ülke ve bölgede 493 operatörün 5G'ye yatırım yaptığı belirlenmiştir. Bunlardan 85 ülke ve bölgede toplam 214 operatör bir veya daha fazla 3GPP uyumlu 5G hizmeti başlatmış ve 80 ülke ve bölgede ise 205 operatör 5G mobil hizmetlerini başlatmıştır. Şekil 1'de 5G'ye yatırım yapan, 5G teknolojisini devreye alan ve 5G ağlarını başlatan ülkeler verilmiştir (36).

Şekil 1'de verilen haritada Amerika ve Avrupa'nın genel olarak 5G uygulamalarına başladığı ve daha ileride olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Asya kıtasında da pek çok ülkede 5G yatırımlarının olduğu görülmektedir. Özellikle 5G ağını ilk kuran ülke olan Güney Kore ve pek çok yeni uygulamanın merkezinde olan Çin ve Filipinlerde yaygın olduğu görülmektedir. Türkiye ise 5G yatırımının yapıldığı ülkeler arasında yer almıştır.



Şekil 1. 5G Teknolojisini Kullanan Ülkeler

Kaynak: GSA (Global Mobile Suppliers Association) [Internet]. 5G Market Snapshot; 2022 June [cited 2022 Sep 10]. Available from: <https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-june-2022/>.

Sağlık sektöründe 5G'nin 2021'de 215 milyon \$ olan pazar büyüklüğünün, 2026 yılına kadar 3.667 milyon \$'a ulaşması beklenmektedir. COVID-19'un getirdiği pek çok kısıtlama, temassız iletişimi ve uzaktan alınan hizmetleri cazip hale getirmiştir. 2020 Mayıs'da Çin-Japonya Dostluk Hastanesi, 5G dijital iç mekân ağlarını ilk kullanan ve 5G teletıp hizmetlerinin araştırılması ve uygulanması için zemin hazırlayan ilk hastane olmuştur (37). Bu gelişmeler genişletilmiş gerçeklik, yapay zekâ ve IoT gibi teknolojilere yüksek hızlı cevap verebilme ve kesintisiz ağ yetisi sağlayan 5G ağ teknolojisinin, pandemi döneminde önemini kanıtladığını göstermektedir.

Literatürde sağlık sektöründe kullanılan teknolojiler, genellikle ayrı ayrı ele alınmış olup bu çalışmada bir sistemin etkileşim halinde olan alt unsurları olarak değerlendirilmiş ve bir arada derlenmiştir. Bununla birlikte COVID-19 pandemisi ile mücadelede ilgili teknolojilerin kullanım alanları ve pazar büyüklükleri çeşitli kaynaklardan örneklerle desteklenerek önemi vurgulanmıştır. Bu bağlamda alan yazındaki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

3. COVID-19 ile Mücadelede XR (VR, AR ve MR), AI, IoT ve 5G Uygulama Örnekleri

3.1. Genişletilmiş Gerçeklik (XR) Uygulama Örnekleri

COVID-19 salgını sırasında yaşanan sağlık sorunlarının yanı sıra ekonomik ve sosyal sorunların çözümü için birçok ülke sağlık sistemine geleneksel yöntemlere alternatif olarak hızlı bir şekilde sanal yöntemleri entegre etmek zorunda kalmıştır. Bu entegrasyonla birlikte sorunlardan korunmak ve salgının etkisini hafifletmek amacıyla yeni teknolojiler olan sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), karma gerçeklik (MR) ve genişletilmiş gerçeklik (XR) teknolojilerinden yararlanılmıştır (10, 11).

XR teknolojileri, COVID-19 salgınında sağlık çalışanlarının virüsün bulaş yollarını ve bulaşma hızını daha iyi anlamalarına yardımcı olmak ve bu yolla klinik çalışmaların verimliliğini ve etkinliğini artırmak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmıştır. Ayrıca sağlık çalışanlarını desteklemek, sosyal mesafeyi korumak ve kritik kanıta dayalı tedaviler için XR tabanlı uygulamalar bulunmaktadır. Örneğin, COVID-

19'un getirdiği psikolojik sıkıntılar için telemental sağlık uygulamaları geliştirilmiştir. Bu uygulama kapsamında XR sanal ziyaretleri ve terapileri öncelikli olarak sağlık çalışanlarının stres ve tükenmişliğinin azaltılmasında umut verici bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır (38, 39). Sağlık çalışanlarının yanı sıra XR tabanlı tele sağlık uygulaması, sosyal izolasyonla mücadele etmek ve sağlığın geliştirilmesinde etkili olan sosyal ilişkileri uzaktan da olsa sürdürmek amacıyla insanları sanal alanlarda birbirine bağlamıştır (40).

XR telemental sağlık uygulamalarına benzer şekilde İtalya'da sağlık hizmeti uygulayıcılarına psikolojik destek için COVID-19 krizi MIND-VR projesi ile sanal gerçeklik uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama, COVID-19 hastaları ile temasta olan sağlık personelinde strese bağlı psikopatolojik semptomların ve travma sonrası stres bozukluğunun önlenmesi ve tedavisi için VR kullanımına dayalı gelişmiş bir çözüm olarak kullanılmıştır. Böylelikle sağlık işletmelerinde personel memnuniyeti ve performansında artış ile sağlık hizmetlerinin sürekliliği amaçlanmıştır (41). Ayrıca yüz yüze etkileşimler yasak olduğu için VR, palyatif bakımda etkili bir teknoloji olarak kullanılmıştır. Örneğin; VR, fiziksel dünyanın bir simülasyonunu sağlayarak COVID-19 hastalarının kiraz çiçeği mevsiminde Japonya'yı ziyaret etmek gibi deneyimler yaşamalarını sağlamış ve hastalara psikolojik destek sağlanmasında rol oynamıştır. Hastaların en sevdikleri yeri seçmelerine olanak tanıyan bu uygulama özellikle sağlık durumları ağır olan hastaların son zamanlarını iyi geçirmesine ve ailelerinin hastaları ile iletişime geçmesine imkân sağlamıştır. Bu sayede sunulan sağlık hizmetleri ile hasta memnuniyeti artış göstermiştir (42). Benzer bir şekilde salgınla mücadelede karantina kapsamında yer alan omurilik hasarı olan hastalarının VR teknolojisi sayesinde anonim olan VR avatarları ile grup şarkılarına katılmaları ve sosyal olarak kısıtlanmamış hissetmeleri sağlanmıştır (43). Ayrıca VR tabanlı mobil uygulamalar, birçok tıbbi sorunun çözülmesine yardımcı olan enfeksiyon hastalıklarının tedavisi ve ağrı yönetimi için kronik ağrıları olan COVID-19 hastalarının rahatlama elde etmesi amacıyla kullanılmıştır (44).

İnsan davranışlarını simüle edebilme özelliği ile VR, COVID-19 pandemisi sırasında salgınla mücadele ve salgını anlama konusunda yardımcı olmuştur. Bu özelliği ile tahmini enfeksiyon yayılımının görsel uyarısının sağlanması konusunda kullanılabilen VR, Londra Üniversitesi'nde Goldsmiths liderliğindeki bir araştırma grubu tarafından COVID-19'un etkileşimli bir VR görselleştirmesini sağlayabilmek ve yapısını daha iyi öğrenmek için kullanılmıştır (45). Ayrıca VR simülasyon sistemleri, üniversitelerde eğitim hedeflerinin gerçekleştirilmesi amacıyla travma ve acil tıp alanında yerinde tıbbi eğitim için uygun alternatifler sunmuştur. Böylelikle sosyal temasın azaltılmasının yanı sıra sağlık ekipmanlarının daha az tüketilmesini sağlayarak sağlık işletmeleri açısından kaynakların verimli kullanılmasına yardımcı olmuştur (46). COVID-19 sırasında mezun olmaya hazırlanan bir medikal-cerrahi öğrenci grubu üzerinde yapılan araştırmada klinik değerlendirmelerin %77'si, tedavi seçeneklerinin %81'i ve teşhislerin %94'ü için VR eğitimini gerçekçi olduğu ve kullanımının yararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (47).

VR uygulamaları COVID-19 salgını sırasında sağlık işletmelerinde iş akış süreçlerine entegre edilmiş ve sağlık

personelinin uzaktan ekip iletişimini geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu sayede sağlık çalışanlarının çalışma koşullarına ve performansına olumlu katkı sağlamıştır (48). Ayrıca COVID-19 pozitif hastalara ait verilerin doğrudan sağlık sistemine gönderilmesi, güçlü bir görselleştirme ile hikâye anlatımı sayesinde eğitim sektöründe kullanılması ve yüksek çözünürlüklü sesli ve görüntülü iletişim sağlamak için kullanılması pandemi sırasında hayatı kolaylaştırmıştır. Örneğin; Çin'de COVID-19 salgınının en yoğun olduğu sırada, göreve yeni başlayan doktorlar tarafından "izolasyon alanlarında" takılan RealWear kulaklıklar, "daha güvenli" alanlarda kıdemli uzmanlar (danışmanlar) ile gerçek zamanlı görüntülü iletişim sağlamıştır. RealWear, doktorlara sağladığı kullanım kolaylığı sayesinde bunu yaparken eller serbest sistemi aracılığıyla hastayı kontrol edebilme ve onunla konuşabilme imkânı sağlamıştır. Bir diğer AR uygulaması ise hasta bilgilerini hastaneye girerken otomatik olarak kaydederek hemşirelere triyaj desteği sağlamasıdır. Bu sayede sağlık işletmelerinde zaman tasarrufu sağlanmış, süreç otomatikleştirilerek olası hatalar minimize edilmiş ve hemşirelerin iş yükü azaltılmıştır (49). Ayrıca COVID-19 salgını sırasında parasal bağışların salgınla mücadelede nasıl yardımcı olabileceğini göstermek için tasarlanmış olan Snap'in AR lensi, insanlara telefonlarına indirilen bir uygulama ile bağış yaparak nasıl faydalı bir rol oynayabileceklerinin öğretilmesinde kullanılmıştır. Toplanan bağışlarla hastaların ihtiyaç duydukları bakımı alması, sağlık çalışanları için tıbbi ekipmanların ve ihtiyacı olan herkes için aşının sağlanması, tedavilerin araştırılması ve geliştirilmesini hızlandırmayı amaçlayan uygulama DSÖ ile iş birliği içinde çalışmaktadır. DSÖ'nün pandemiye karşı bağışların rolü hakkındaki mesajlarını vurgulayan uygulama, kullanıcıların DSÖ'nün COVID-19 Müdahale Fonu sayfasına ulaşabilecekleri bir bağlantı linki sağlamaktadır (50).

VR ve AR, molekülleri görselleştirerek ilaç türevlerini tanımlanmasını sağlayabilmekte ve bu sayede bilim insanlarının yeni ilaçları keşfetmesine geleneksel yaklaşımlardan daha önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu yönü ile VR ve AR teknolojileri, COVID-19 salgını sırasında bilim insanlarına ilaç keşfinde yardımcı olmuştur (10). Ayrıca cerrahi vakaların ele alınması için üstün kaliteli eğitim vermeyi amaçlayan sanal gerçeklik kültürünün uygulamalı olarak kullanılması salgın sırasında tıbbi hataların azaltılması ve gerçek hayatta gerçekleştirilen cerrahi prosedürlerin daha kısa zamanda ve daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Bu sayede sosyal teması aza indirebilmenin yanı sıra sağlık işletmeleri açısından cerrahi uygulamalar için maliyetlerin azaltılması ve kaynak kullanımında verimliliğin artırılması amaçlanmıştır (44). Aynı şekilde AR çözümleri, cerrahi işlemlerde birden fazla cerrahi ekibin katılımının gerekli olduğu operasyonlarda uzaktan uzmanlık sağlamak ve COVID-19 hastalarının tedavisi için bir enfeksiyon kontrol stratejisi olarak ele alınmıştır (51).

Karma Gerçeklik (MR), Çin'in Wuhan Union Hastanesi'nde salgının şiddeti, tıbbi malzeme sıkıntısı, hastalığın teşhis ve tedavisi sırasındaki zorlukların üstesinden gelmede önemli bir rol üstlenmiştir. Doktorların hastalara temas etmeden akciğerlerin bilgisayarlı tomografisi (BT) üzerinden pulmoner lezyonlarını MR tabanlı HoloLens aracılığıyla üç boyutlu bir şekilde görebilmesine ve tartışıp analiz edilmesine imkân sağlanmıştır. Normal ve hastalıklı dokular için farklı renk görselleştirmesi sağlayan bu uygulamada

hastadan gelen bulgulara göre yeşil, patolojik lezyon anlamına gelirken diğer renkler farklı loblar anlamına gelmektedir. Uygulama sayesinde COVID-19 döneminde gözlem, ölçüm ve hastalık düzeyi değerlendirmesinin temassız olarak gerçekleştirilmesine ve sağlık çalışanları için temastan bulaşma olasılığını önlenmesine imkân sağlamıştır (11). Ayrıca COVID-19 pandemisi sırasında HoloLens2 karma gerçeklik başlığının kullanımı konulu pilot proje ile uzaktan bakımın sağlanmasını desteklemek amacıyla hastanelere HoloLens2 MR cihazı dağıtılmış ve sonuçları gözlenmiştir. Gözlem sonucunda cihaz kullanımı ile COVID-19 hastaları ile teması %51,5 ve sağlık ekipmanlarının tüketimini %83 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir. Bu sayede sağlık personelinin üzerindeki yükün hafifletilmesi ve iş akışlarının iyileştirilmesi sağlanmıştır (38).

3.2. Yapay Zekâ (AI) Uygulama Örnekleri

AI tabanlı klinik karar destek sistemleri, büyük miktarda veriyi işleyerek tıbbi bir sonucun olasılığını veya bir hastalık riskinin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle insan hatasını minimize ederek teşhis ve tedavinin iyileştirilmesinde yarar sağlayabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında AI tabanlı klinik karar destek sistemleri, COVID-19 pandemisi süresince tahminlere dayalı olarak değişen klinik ihtiyaçlara uyum sağlama konusunda sağlık çalışanlarına yol göstermiş ve daha erken müdahaleyi hedefleyerek hastalığın hem teşhis hem de tedavisinde klinik etkinliği artırmıştır (52). Örneğin, DSÖ, SARS-CoV-2 virüsünün teşhisi için polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) testini önermiştir (2). Viral hastalıkların teşhisinde yaygın bir şekilde kullanılan PCR testinden elde edilen veriler, uzman hekim tarafından analiz edilerek laboratuvar bilgi yönetim sistemine aktarılmaktadır. Yapay zekâ ile geliştirilen yerli biyoinformatik programı CAtenA Smart PCR, uzman hekimin veri analizi görevini üstlenerek veri dosyalarını hekimden önce değerlendirip hekimin onayına sunmakta ve onaylanan test sonuçlarını sisteme aktarmaktadır. Uğur ve Taşdelen (53)'ün çalışmasına göre CAtenA, negatif sonuçlarla %100; pozitif sonuçlarla %97,7 oranında uyumluluk göstermektedir. Bu doğrultuda yapay zekâ çalışmalarının PCR testlerinin yüksek doğrulukta hızlı yanıt verebilmesi hususunda da kullanılabildiği ifade edilebilmektedir.

COVID-19'lu vakaların radyolojik görüntülerden tespiti için gerçekleştirilmiş çeşitli yapay zekâ çalışmaları bulunmaktadır. Makine öğrenme algoritmalarından destek vektör makinesi (SVM) kullanılarak 1500 adet akciğer grafisi üzerinden COVID-19 teşhisi için yapılan çalışmada %99,8 test başarı oranı elde edilmiştir (54). 3905 radyolojik görüntünün kullanıldığı evrimsel sinir ağı (CNN) derin öğrenme yöntemiyle yapılan çalışmada COVID-19'lu hastalara ait görüntüler %99,18 doğruluk oranı ile teşhis edilmiştir (55). Çin'deki iki hastaneden toplanan 88 COVID-19'lu, 100 bakteriyel zatürelle ve 86 sağlıklı bireye ait akciğer bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüsü üzerinden derin öğrenme tabanlı geliştirilen BT tanı sistemi, %93 başarıyla COVID-19'lu hastaları diğerlerinden ayırt edebilmiştir. Ayrıca tanı sistemi, görüntüler üzerinden buzlu cam opaklığı gibi çeşitli lezyonları yakalayarak hekimlere tanıya yardımcı olabilmektedir (56).

Beck ve ark. (57) tarafından yapılan bir çalışmada derin öğrenme tabanlı ilaç-hedef etkileşimi modeli kullanılarak

SARS-CoV-2 virüsüne karşı en iyi kimyasal bileşiğin insan immün yetmezlik virüsünün (HIV) tedavisinde kullanılan bir antiretroviral ilaç olan Atazanavir olduğu kanıtlanmıştır. Benzer şekilde Stebbing ve ark. (58), bir yapay zekâ girişimi olan Benevolent AI ile birlikte romatoid artrit ve miyelofibroz tedavisinde kullanılan Baricitinib'i COVID-19'lu kişilerde görülebilen yüksek sitokin düzeylerinin sonuçlarına karşı etkili olabileceğini açıklamıştır. Ancak ilaç üretim fazlalarının daha çok deneysel araştırma, zaman ve maliyet gerektirdiğinden ötürü salgınla mücadele aşamasında uygulamaya geçirilememiştir.

Pandemi sürecinde teşhis, tedavi ve kişisel koruma faaliyetlerinin yanı sıra bulaşıcılığın önlenmesi için temaslı takibi ve karantina uygulamaları da ülkelerin kriz yönetiminde kilit rol oynamaktadır. Dijital temas takip sistemi, kişisel telefonlardan veya diğer cihazlardan bluetooth, küresel konumlandırma sistemi (GPS), iletişim ve mobil izleme verileri gibi çeşitli teknolojiler kullanılarak elde edilen verilerin makine öğrenmesi ve yapay zekâ aracılığıyla analiz edilerek henüz temas yaşamamış virüse karşı savunmasız kişilerin korunması amacıyla tasarlanmıştır. Avustralya, COVIDSafe; Fransa, StopCOVID; İtalya, İmmuni; Meksika, COVIDRadar; Suudi Arabistan, Corona Map; İsviçre, Swiss COVID; Birleşik Krallık, NHS COVID-19 App ve Türkiye, Hayat Eve Siğar (HES) uygulamaları gibi toplamda 36 ülkenin dijital temas takip sistemini etkin bir şekilde kullandıkları bilinmektedir (59).

Halk sağlığı yönetimi alanında yapay zekâ kullanarak geliştirilen Filyasyon ve İzolasyon Takip Sistemi (FİTAS) ile filyasyon çalışmalarının sonuçları doğrultusunda harita üzerinden bölgelerdeki vaka durumları belirtilerek kişilerin kendilerini riskli bölgelerden koruması, böylece vaka artış hızının kontrol altına alınması amaçlanmıştır (60). Ayrıca İngiltere, ABD, Çin ve İsrail gibi ülkelerde halk sağlığını tehdit edebilecek kalabalık sosyal ve kamusal alanlarda termal kameralarla ateş ölçümü, maske kullanımları hatta sosyal mesafe takibinde de yapay zekâ teknolojilerinden yararlanılmaktadır (61).

Yerel ve ulusal yönetimlerin kriz anında gerekli politikaları geliştirebilmeleri ve zamanında hayata geçirebilmeleri için birtakım verilere, sayısal kanıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereklilik üzerine pandemi döneminde dünya genelinde ve ülkelerdeki gerçek ve beklenen vaka, yoğun bakıma ihtiyacı olan hasta ve ölüm sayılarının takibi için oluşturulan gösterge tabloları arasında MIT Technology Review'un değerlendirmesine göre en iyileri UpCode, NextStrain ve Johns Hopkins' CSSE şeklinde sıralanmaktadır (62). COVID-19 pandemisinin dünya çapında yarattığı sağlık hizmetlerine olan talep artışı, sağlık sistemlerine büyük bir baskı oluşturmuştur. Özellikle hastalığı ağır geçiren ve yoğun bakımda tedavi görmesi gereken hastalar için mevcut yoğun bakım ünitelerinin sayıca yetersiz kalması, karar vericileri büyük bir tehditle karşı karşıya bırakmıştır (63). Bu noktada hastalık yönetimi açısından AI, pulmoner tutulumu erken evrelerde saptayarak yoğun takip yapılmasına, belirtilerin izlenmesine olanak tanımaktadır. Sağlık işletmelerinde COVID-19 ile mücadelede AI uygulamalarının kullanılması ile, hastanede kalış süresinin ve yoğun bakım ünitesine kabul sayılarının azaltılması sağlanmıştır. Bu açıdan bakıldığında AI uygulamaları hem hastalar ve sağlık işletmeleri açısından mikro ölçekte hem de ülkelerin sağlık sistemleri ve dünya genelinde

makro ölçekte sağlık hizmeti maliyetlerinin azaltılmasını sağlamıştır (64). Ayrıca çalışan, malzeme ve ekipman gibi hastane kaynak planlamasında, hastaneler arasındaki hasta yükünün dengelenmesinde ve ulusal talep tahminlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere Birleşik Krallık'ta makine öğrenimi tabanlı COVID-19 Kapasite Planlama ve Analiz Sistemi (CPAS) geliştirilmiştir (63). Bu sayede tahmini kaynak kullanımını ve ihtiyacı öngörmek, sağlık hizmeti maliyetlerinin azaltılmasına ve sağlık işletmelerinde finansal sürdürülebilirliğe katkı sağlamıştır.

3.3. Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulama Örnekleri

Pandemi döneminde virüsün erken teşhisi ve hastaların takibi, yayılımın önlenmesi için kritik bir öneme sahiptir. Bu amaçla da çeşitli firmalar ürünlerini piyasaya sürmüştür. FDA (U.S. Food and Drug Administration) tarafından onaylanan ve 510(k) izni alan Philips Biosensor BX100 adlı kablosuz giyilebilir biyosensör piyasaya sürülmüştür. Bu biyosensör, COVID-19 teşhisi almış veya şüpheli durumdaki hastaların sağlık durumlarının izlenebilmesine olanak tanımaktadır. Geliştirilen biyosensör, klinisyenlerin risk tespitine yardımcı olarak hastalığa yönelik erken müdahale ve bakımın iyileştirilmesine imkân vermektedir (65). Hollanda'da OLVG Hastanesinde ilk kurulumu yapılan biyosensör ile hastalık durumu, solunum hızı, kalp atışı, aktivite seviyesi ve duruşu gibi çeşitli bilgiler algılanmakta ve iletilmektedir (66).

Sosyal mesafe virüsün yayılmasını önlemek için alınan tedbirlerden biridir. Salgın devam ederken iş hayatının ve üretimin devam etmesi gerekmektedir. Ancak çalışma ortamlarında sosyal mesafeyi ayarlamak işletmeler için zor olabilmektedir. Triax tarafından geliştirilen Proximity Trace IoT cihazı işletmelerin sosyal mesafe kuralını uygulayabilmelerini, denetleyebilmelerini ve izleyebilmelerine imkân tanımaktadır. Geliştirilen bu sistemde TraceTag adı verilen cihaz kasklara yapıştırılmakta veya vücuda takılabilmektedir. Yakınlık ve temas takibi ile sosyal mesafenin korunması için geliştirilen sistem çalışanlara görsel ve sesli uyarı göndermektedir. Ayrıca, pozitif çıkan bir test sonucuna göre temaslı olan çalışanların ortaya çıkarılmasına yardımcı olabilmektedir (67).

COVID-19'un en yaygın semptomlarından biri olan ateşin takibinde kullanılan klasik ateş ölçer termometreler akıllı hale getirilerek ateş ölçümünün gerçek zamanlı olması IoT teknolojileri ile sağlanabilmektedir. Kinsa adlı akıllı termometre ateş ve hastalığın haritalanmasında kullanılmaktadır (68). Kinsa akıllı termometre, yaş, ateş ve semptom bilgilerine göre bireylere kişiselleştirilmiş rehberlik yapmaktadır (69).

Herhangi bir semptom göstermeyen COVID-19 hastalarının teşhisi oldukça güç olmaktadır. Kumar ve ark. (70) çalışmalarında IoT ile birlikte asemptomatik hastaların tespiti ve izlemi için yeni bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen sistem oksimetre sensörlerini kullanan IoT tabanlı algılama üzerine kurulmuştur. Asemptomatik COVID-19 hastalarının tespit ve izlemi geliştirilen sistem sayesinde sağlık profesyonelleri asimptomatik hastaları tespit edebilmektedir. Ayrıca, önerilen sistem karantina döneminde hastaların sağlık durumlarının takip edilmesine de olanak tanımaktadır.

COVID-19 hastalarının takibi ve hastalığın yayılımının önlenmesi birincil öncelik olarak kabul edilmektedir.

Bulaş riskini azaltmak için ise hastalıkların yoğunluğunu gösteren risk haritaları yayınlanmaya başlamıştır. Misra ve ark. (71) çalışmalarında COVID-19'un yaygın olduğu kırmızı noktalara seyahati en aza indirebilecek S-Nav adında bir navigasyon sistemi önermiştir. Bulut ve sis bilişimin birleşimi IoT tabanlı mimariye sahip sistem kullanıcılara kırmızı olarak ifade edilen COVID-19 yoğun bölgelerden uzak bir seyahat önerisi sunmaktadır. Uzak geçişin mümkün olmadığı durumlarda ise yoğunluğun fazla olduğu bölgelerden geçiş minimum seviyede tutulmaktadır. Önerilen sistemde kırmızı/turuncu bölgelerden geçişin yaklaşık %2 ile sınırlandırıldığı ve yeşil bölgelerden geçişin ise %100'e yakınlaştırıldığı vurgulanmıştır.

Vedaei ve ark. (72) çalışmalarında, pandemi döneminde sağlık ve sosyal mesafe takibinde COVID-SAFE adını verdikleri IoT tabanlı bir sistem önermişlerdir. Sistem, IoT, mobil uygulama ve makine öğrenmesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Sistemde giyilebilir bir IoT, sağlık parametrelerinin (solunum hızı, kanda oksijen miktarı, vücut ısısı, öksürük hızı gibi) toplamak için kullanılmaktadır. IoT ile toplanan veriler sis bilişim tabanlı sunucuda tutulmakta ve mobil uygulama ile kullanıcılara sunulmaktadır. Mobil uygulama, kullanıcılara sosyal mesafenin korunmasına yönelik uyarılar göndermektedir. Makine öğrenmesi ise bireylerin sağlık durumlarının ve çevresel risklerin izlenmesini ve gerçek zamanlı olarak enfeksiyon yayma riskini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Önerilen çerçeve ile virüs riskinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

Pek çok ülke pandemi ile mücadelede IoT teknolojisini yenilikçi teknoloji olarak kullanmıştır. Örneğin, Almanya, aşı dağıtımını izlemek için IoT teknolojisinden yararlanmıştır (73). Smartwatch uygulaması dayine COVID-19 ile mücadelede Almanya'da kullanılan IoT tabanlı uygulamalardan biridir (74). Kanada'da Visionstate tarafından üretilen Wanda QuickTouch ise IoT düğmesi olarak hastanelerde temizlik uyarı sistemi olarak kullanılmıştır (23). Hastanelerde hasta ile sağlık profesyonellerinin temasını minimuma indirmek, virüsün yayılmasını engellemek açısından önemlidir. Letonya'da kullanılan kablosuz vücut ısısı sensörü olan Aranet tıbbi termometre ile bu sorun ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Singapur'da kullanılan ve ABM tarafından üretilen Tele-Ventilator isimli ventilatör dünyanın IoT tabanlı ilk ventilatörü olarak tanımlanmaktadır. Tele-Ventilator sayesinde sağlık profesyonelleri istedikleri yerden ve istedikleri zaman ventilatör ayarlarını değiştirebilmekte veya ventilatör sonuçlarını izleyebilmektedir (74).

3.4. 5G Uygulama Örnekleri

5G teknolojisinin ticari olarak kullanılması 2019 yılında Çin'de başlamıştır. Aynı dönemde COVID-19 pandemisinin ortaya çıkması 5G teknolojisinin özellikle salgın önleme ve kontrolünde kullanılmasına yol açmıştır. Sichuan Üniversitesi Batı Çin Hastanesi, China Telecom'un desteğiyle, COVID-19 için 5G+ tele-danışma sistemini başlatmıştır. Kunming Tıp Üniversitesi'ne bağlı bir hastane ise, 5G tabanlı "ücretsiz COVID-19 teşhis ve tedavi için çevrimiçi platform" uygulamasını başlatmıştır. Wuhan Union Hastanesi ve Wuhan Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'ne bağlı Tianyou Hastanesi, China Mobile ve CloudMinds tarafından başlatılan 5G bulut tabanlı akıllı robotları uzaktan hemşirelik, vücut ısısı ölçümü, dezenfeksiyon, temizlik ve ilaç teslimi gibi işleri üstlenmek üzere devreye almıştır (75). Böylelikle süreçlerin otomatikleşmesi sağlık personelinin

üzerindeki yükü hafifletmiş, sağlık işletmeleri için kaynak tasarrufu ve iş akışlarının iyileşmesini sağlamıştır.

Teletıp uygulamaları kapsamında kesintisiz ve yüksek kaliteli video konferansların gerçekleştirilmesi ve kullanıcı deneyimini artıracak sanal ve artırılmış gerçeklik (VR/AR) uygulamaları 5G ağı ile mümkündür (32). COVID-19 döneminde eğitim sektöründe uygulanan sınırlamalarla birlikte teletıp uygulamaları yanında özellikle tıp ve sağlık bilimleri eğitiminde yaygın olarak Microsoft Teams, Zoom, Google Meet gibi uygulamalar ile VR ve AR uygulamaları kullanılmıştır. Bu uygulamalar 5G ağının gelişmiş mobil şebeke özelliği ile (enhanced Mobile Broadband-eMBB) sorunsuz olarak yürütülmektedir (76).

COVID-19 erken teşhisi salgın kontrolü için kritik öneme sahiptir. Pandemi ile mücadelede 5G ağı tarafından desteklenen robotyardımlı tele-ultrason ile farklı şehirlerden hastalığın teşhisine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Uzaktan akciğer ultrasonu, kısa ekokardiyografi, kan miktarı değerlendirmeleri ve konsültasyonun gerçekleştirilmesi süreçleri 5G ağı ile mümkün olmuştur. Yapılan çalışmalar hastaların kardiyopulmoner muayeneleri ve akciğer ve çevre doku lezyonları başarılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonucunda COVID-19'un erken teşhisinde 5G tabanlı tele-ultrason protokolünün uygulanabilirliği gösterilmiştir (77).

COVID-19 pandemisi ile sağlık hizmetlerinde tele-cerrahi işlemleri yaygınlaşmıştır. Tele-cerrahi hastaneye giden ambulanslar, afet bölgeleri veya sağlık tesislerinin yetersiz olduğu gelişmekte olan ülkeler gibi pek çok durumda daha hızlı müdahale sağlayarak hayat kurtarabilir. Uzaktan cerrahi işlemin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi gecikme sürelerinin birkaç mili saniyeyi aşmaması ile mümkündür. Bu da 5G ağının ultra güvenilir ve düşük gecikmeli iletişim (Ultra Reliable Low Latency Communications-URLLC) özelliği ile sağlanmaktadır (32).

COVID-19 tedavisinde artan kişisel koruyucu ekipman, ventilatör ve ilaç taleplerini karşılık vermede nakliye kısıtlamalarının yol açtığı engellerin aşılmasında İnsansız hava araçları (İHA) tabanlı otomatik dağıtım mekanizmalarından faydalanılarak son tüketiciye ulaştırılması sağlanmıştır. Ürünlerin nihai varış noktasına teslimatı, 5G ağı tarafından yönlendirilen görüş hattı ötesi (Beyond Line-Of-Sight/BLOS) veri haberleşme sistemi olan İHA'lar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda 5G teknolojisi COVID-19 ile mücadelede özellikle tedarik zinciri yönetimindeki kullanım alanı ile insan etkileşimini ve çabasını minimize edecek süreçlerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır (78).

İHA'lar COVID-19 ile mücadelede tedarik zincirinde kullanımının yanı sıra özellikle tam kapanma dönemlerinde halk sağlığı tedbirlerinin uygulanmasını sağlamada önemli rol üstlenmiştir. Bu kapsamda drone teknolojileri izleme faaliyetlerinde geniş ölçüde kullanılmıştır. İHA ile şehrin her köşesinin gerçek zamanlı canlı video ve görüntüleri sağlanabilmektedir. Tüm bu süreçlerde İHA'ların gerçek zamanlı video ve görüntüyü izleme istasyonuna gönderebilmesi için gerekli olan yüksek hızlı veri bağlantısı 5G teknolojisine sahip olduğu özellikler ile karşılanmıştır (76).

COVID pozitif vakaların temaslı takibinin genel olarak

insan gücü katılımı ile manuel olarak gerçekleştirilmesi temaslı izlemenin etkinliğini azaltmaktadır. Bu kapsamda Bluetooth Düşük Enerji (BLE) tabanlı kişi izleme uygulamaları, kimliği periyodik olarak bildiren BLE giyilebilir cihazları ile yakınlardaki diğer uyumlu cihazların kimliği, zaman damgası ve GPS konum verileri gibi önemli bilgilerin saklanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda sensörler, giyilebilir cihazlar ve robotlar gibi heterojen IoT cihazlarının bağlantısı 5G'nin çok sayıda cihazın birbiriyle bağlantısını sağlayan büyük makine tipi iletişim (massive Machine Type Communications-mMTC) özelliği ile mümkün olmaktadır. Bu sayede doğrudan 5G ağına bağlı IoT cihazları, kendi kendine izolasyonun uyumluluğunu etkin şekilde izlemede kullanabilmektedir. BLE teknolojisi ile düşük güçlü giyilebilir cihazlardan aktarılan duyuşsal veriler 5G ağı üzerinden buluta güncellenebilmekte ve yetkili kişilerce hastanın davranışı izlenebilmektedir (78).

Bu çalışmada ülkelerin COVID-19 pandemisi ile mücadele sürecinde VR/AR/MR, yapay zekâ, IoT ve 5G gibi yenilikçi teknolojileri kullanım alanları farklı örnek uygulamalarla ortaya konulmuştur.



Şekil 2. COVID-19 ile Mücadelede Kullanılan VR/AR/MR, Yapay Zekâ ve IoT Uygulama Örnekleri

Bu teknolojilerle ilgili çalışmada verilen uygulama örneklerinin coğrafi dağılımı Şekil 2'de özet halinde sunulmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Sağlık hizmetleri sektöründe yenilikçi teknolojilerin kullanımı COVID-19 pandemisinin küresel etkisi nedeniyle hız kazanmıştır. Bu kapsamda XR, IoT, AI ve 5G gibi teknolojiler sağlık hizmetleri sektöründe yaygın kullanım alanı bulmuş ve sahip oldukları özelliklerle sağlık işletmeleri, sağlık çalışanları, hastalar ve bir bütün olarak sağlık sistemleri için pek çok faydayı beraberinde getirmiştir. COVID-19 pandemisi sırasında sağlık işletmelerinde yenilikçi teknolojilerin kullanımı, hastalıkların teşhis ve tedavi süreçlerinde gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Bu gelişmeler sunulan hizmetin kalitesini olumlu etkilemiş ve hasta memnuniyetinde artış sağlamıştır. Bununla birlikte kullanılan teknolojiler hem personel yönetiminde hem

de iş akış süreçlerinde sağladığı iyileştirmeler ile çalışan memnuniyetinin ve performansının artmasına olumlu katkı sağlamıştır.

Sağlık hizmetleri için en kritik konulardan biri hastalara yanlış teşhis koyma riskidir. Sağlık işletmeleri açısından bu teşhis hataları ve beraberinde getirdiği gereksiz tedaviler, maliyeti artıran ve etkililiği azaltan bir unsur olarak görülmektedir. Özellikle dünya genelinde varlığını sürdüren bir pandemi söz konusu olduğunda yanlış teşhisin insan hayatı üzerinde yarattığı doğrudan etkinin yanı sıra ülkelerin sağlık sistemlerine dolaylı etkileri ile ağır yükler yol açması söz konusu olabilmektedir. Yenilikçi teknolojilerin teşhis ve tedavilerde sağladığı avantajlar, kısıtlı olan kaynakların daha verimli kullanımı ile maliyetlerin düşürülmesine ve sağlık işletmelerinin finansal sürdürülebilirliğine olumlu katkı sağlamıştır. Tüm bu faydalar göz önüne alındığında sağlık işletmelerinin COVID-19 pandemisi ile mücadelede bu teknolojilerden yararlanması ve hizmet sunumuna bu teknolojileri entegre etmesi onları rekabet üstünlüğü elde etme konusunda avantajlı bir konuma getirmiştir.

Hastalar açısından ise uzaktan hastalık takibi ve yönetimi ile sosyal temasın azaltılması yoluyla hasta güvenliğinin sağlanması, sağlığın korunması ve geliştirilmesi ve fiziki olarak sağlık hizmeti kullanımının neden olacağı çeşitli maliyetlerden tasarruf edilmesine olanak sağlamıştır.

Aynı zamanda sosyal temasın azaltılması sağlık çalışanlarının daha güvenli bir ortamda çalışmasına da olanak sağlarken salgının getirdiğini stres ve tükenmişliğin azaltılmasına da yardımcı olmuştur. Bütün olarak sağlık sistemlerine sağladığı faydalar ise kapasitenin etkin kullanımı, sağlık hizmetleri arz ve talep dengesinin sağlanması, kaynak tasarrufu, sağlık insan gücü eğitimi, halk sağlığının geliştirilmesi, veri güvenilirliği ve izlenebilirliğinin sağlanması olarak özetlenebilir (34, 78-80).

Çalışmada COVID-19 pandemisi ile mücadelede dünya genelinde kullanılan çeşitli yenilikçi teknoloji uygulamaları ve bu uygulamaların paydaşlara sağladığı faydalar ele

alınmıştır. Bu uygulamalar ve faydaları çerçevesinde aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

- COVID-19 gibi pandemi durumlarında halk sağlığını korumak ve geliştirmek üzere hükümetlerin aldığı ilaç ve ilaç dışı müdahale önlemlerinin başarı ile uygulanabilmesi için özellikle genişletilmiş gerçeklik, yapay zekâ, nesnelere interneti ve 5G teknolojileri sahada yaygın olarak kullanılmalıdır.

- Sağlık hizmetlerinin emek yoğun bir üretime dayanması ve özellikle COVID-19 gibi pandemi durumlarında hizmet talebinin artması ile ortaya çıkan kapasite yetersizliği ve verimlilik sorunlarına çözüm bulmak için uzaktan hemşirelik, vücut ısısı ölçümü, dezenfeksiyon, temizlik ve ilaç teslimi gibi işleri üstlenmek üzere akıllı robotların, çeşitli sensörler, giyilebilir cihazlar ve IoT cihazlarının kullanılması fayda sağlayacaktır. Bu, aynı zamanda tanı, teşhis, tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde hastalarla olan teması azaltarak hem sağlık çalışanları hem de hastalar açısından enfeksiyon riskini minimize etmeye yardımcı olacaktır.

- Pandemi süreçlerinde özellikle tanı işlemlerinde yenilikçi teknolojileri entegre edecek süreçler geliştirilmelidir. Bu kapsamda hastane başvurularında öncelikle giyilebilir cihazlarla çeşitli sağlık verilerinin toplanması ve bunu izleyen süreçte makine öğrenmesi teknikleri ile her başvuru için risk değerlendirmesi yapılması gibi izleyen standart prosedürler ortaya konulmalıdır. Bununla birlikte hastane içi ve hastane dışı mobil uygulamalar ile talimatlara uygun ve riskleri minimize edecek bir yönlendirme sağlanmalıdır.

- Çalışan ve hasta memnuniyetini artırmaya ve pandemi ile olumsuz etkilenen ruh sağlığını geliştirmeye yönelik genişletilmiş gerçeklik uygulamaları geliştirilmelidir. Bu uygulamalar ekip ruhunu geliştirecek ve özellikle çalışanlar açısından motivasyon sağlayacaktır. Hastalar açısından ise iyileşme sürecinde psikolojik destek sağlanması için ve özellikle terminal dönemde olan hastaların son dönemlerini daha iyi geçirebilmesi ve ağrıların hafifletilmesi için uygulanabilir.

- Sağladığı faydalar sebebiyle yenilikçi teknolojilerin devam eden COVID-19 vakalarında ve diğer bulaşıcı hastalıkların kontrol ve yönetiminde hayati bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle hükümetler hem sağlık insan gücü yetiştirme hem de mevcut altyapıya yönelik politikaları, ilgili teknolojilerin paydaşı olan tüm aktörlerin katılacağı çalıştaylar ve toplantılar düzenleyerek belirlemelidir.

- Sağlık alanında yenilikçi teknolojilerin kullanımını yaygınlaştırabilmek için öncelikle teknoloji kaynaklarına yatırım yapılması gerekmektedir. Ancak bu kaynaklara yatırım yapılmasının yanında, bu teknolojileri kullanacak sağlık personelinin eğitimi de önemlidir. Bu kapsamda sağlık çalışanlarının bu yenilikçi teknolojileri sahada rahatlıkla kullanabilmesi ve süreçlere oryantasyon sağlayabilmesi için sağlık meslek programlarının eğitim müfredatlarına bu teknolojilerle ilgili derslerin eklenmesi gereklidir. Mevcut sağlık çalışanlarının uyum sağlayabilmesi için ise bu teknolojilerin kullanımını içeren hizmet içi eğitimlerin yaygınlaştırılması elzemdir.

- Türkiye'de yerli teknolojinin en önemli kullanım alanlarından biri sağlık sektörüdür. Bu alandaki teknoloji

uygulamalarının genişletilebilmesi için sağlık personeli, mühendisler ve yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesinde yer alan uzmanlardan müteşekkil ekipler oluşturulmalı ve alandaki ihtiyaçları tespit etmek üzere araştırmalar yapılmalıdır. Mevcut gelişmeler ve sahada tespit edilen ihtiyaçlar çerçevesinde bu ekipler multidisipliner çalışmalar ile en uygun çözümleri ortaya koymalıdır. Bu alanda yerli teknolojik çözümlerin geliştirilmesi sağlık kaynaklarının sürdürülebilirliği ve sağlık verilerinin gizlilik ve güvenliği bakımından oldukça önemlidir.

- Son olarak araştırmacıların bu alandaki mevcut boşluğu doldurabilmesi için XR, AI, IoT ve 5G gibi yeni teknolojiler ile bunun ötesinde 6G gibi ağ teknolojilerini anlamak ve uygulamak üzere yapacakları araştırmaların planlanması, uygulanması, koordinasyonu ve denetlenmesi aşamalarında gerekli olan finansmanı sağlayabilecekleri teşvik programları hazırlanmalıdır.

5. Alana Katkı

Bu derleme, pandemi ile mücadelede sağlık hizmetleri kaynaklarının tahsis ve teknik verimliliğin sağlanması, sağlık hizmetlerinin nüfusun tüm kesimleri için erişilebilir olması, mevcut bulaş risklerinin minimize edilmesi ve sağlık insan gücü ihtiyacını ikame edecek uzaktan sağlık hizmet ve süreçlerinin geliştirilebilmesini sağlamada XR, AI, IoT ve 5G gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımını örnek uygulamalarla ortaya koymuştur. Bu teknolojilerin sağlığın korunması ve geliştirilmesi, eğitim ve araştırma, tanı, teşhis, tedavi ve rehabilitasyon ve yönetim süreçlerinde kullanımının; müşteri hizmetleri ve kalitenin geliştirilmesi, kaynak tasarrufu ve rekabet üstünlüğünün, hasta güvenliği ve maliyet tasarrufunun, sağlık çalışanları için daha güvenli bir çalışma ortamının, etkin kapasite kullanımının, sağlık hizmetleri arz ve talep dengesinin sağlanması gibi pek çok katkıyı beraberinde getireceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Bu makalede herhangi bir nakdi/aynı yardım alınmamıştır. Herhangi bir kişi ve/veya kurum ile ilgili çıkar çatışması yoktur.

Yazarlık Katkısı

Fikir/Kavram: FY; **Tasarım:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Denetleme:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Kaynak ve Fon Sağlama:** Yok; **Malzemeler:** Yok; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Analiz/Yorum:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Literatür Taraması:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Makale Yazımı:** AHM, BFT, FY, Öİ; **Eleştirel İnceleme:** AHM, BFT, FY, Öİ.

Kaynaklar

1. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. COVID-19 (SARS-CoV-2 Enfeksiyonu) Genel Bilgiler, Epidemiyoloji ve Tanı. Ankara; 2020. Available from: <https://covid19.saglik.gov.tr/Eklenti/39551/0/covid-19re-hberigenelbilgilerpidemiyolojivetanipdf.pdf>

2. WHO. COVID-19 Weekly Epidemiological Update Issue Edition 90. 2022 May 4 [cited 2022 May 10]. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/353976/nCoV-weekly-sitrep4May22-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

3. Wibawanto W, Nugrahani R, Mustikawan A. Reconstructing Majapahit Kingdom in virtual reality. Bandung Creative Movement 2016 [Internet]. 2016 Nov [cited 2022 Apr 17]; 3(1):420-7. Available from: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/bcm/article/view/5835/5817>

4. Mann S, Furness T, Yuan Y, Iorio J, Wang Z. All reality: virtual, augmented, mixed (x), mediated (xy), and multimediated reality. *ArXiv Preprint ArXiv* [Internet]. 2018 Apr 20 [cited 2022 Apr 15]; arXiv:1804.08386v1. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1804.08386.pdf>
5. Tepper OM, Rudy HL, Lefkowitz A, Weimer KA, Marks SM, Stern CS, et al. Mixed reality with holoLens: where virtual reality meets augmented reality in the operating room. *Plast Reconstr Surg* [Internet]. 2017 Nov [cited 2022 Apr];140(5):1066-70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29068946/> DOI: 10.1097/PRS.0000000000003802
6. Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst* [Internet]. 1994 Dec [cited 2022 Apr 18];77(12):1321-29. Available from: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JB-Milgram_IEICE_1994.pdf
7. Suh A, Prophet J. The state of immersive technology research: a literature analysis. *Comput Human Behav* [Internet]. 2018 Sep [cited 2022 Apr]; 86:77-90. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563218301857> DOI:10.1016/j.chb.2018.04.019.
8. ABI Research [Internet]. Therapy and Training Services have the highest opportunity in VR medical and healthcare segment; 2017 Oct 5 [cited 2022 Sep 12]. Available from: <https://www.abiresearch.com/press/virtual-reality-medicine-and-healthcare-generate-u/>
9. ABI Research [Internet]. How the Future Is Shaped in Healthcare; 2018 [cited 2022 Sep 12]. Available from: <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1032408-a-new-journey-in-healthcare-with-augmented/>
10. Asadzadeh A, Samad-Soltani T, Rezaei-Hachesu P. Applications of virtual and augmented reality in infectious disease epidemics with a focus on the COVID-19 outbreak. *Inform Med Unlocked* [Internet]. 2021 Apr 27 [cited 2022 Apr];24(100579):1-8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33937503/> DOI: 10.1016/j.imu.2021.100579
11. Liu P, Lu L, Liu S, Xie M, Zhang J, Huo T, et al. Mixed reality assists the fight against COVID-19. *Intell Med* [Internet]. 2021 May [cited 2022 Apr];1(1):16-8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667102621000115> DOI:10.1016/j.imes.2021.05.002.
12. Işık T. Sağlık Bilişim Teknolojileri ve Yapay Zekâ. 4. Uluslararası Sağlıkta Bilişim ve Bilgi Güvenliği Kongresi, Sağlık Akademisyenleri Derneği [Internet]. 2019 [cited 2022 Apr];17-35. Available from: https://www.sbu.edu.tr/FileFolder/Dosyalar/xoFsAuL2/2021_3/4hcs2019bilimselkitapsikistirildi-f5021124.pdf
13. Özkan Y, Selçukcan Erol Ç. Psikiyatriye Yapay Zekâ. İçinde: Bulut M, Dilmen N, Bora EG, Gezer M, Selçukcan Erol Ç, editörler. Sağlık Bilimlerinde Yapay Zekâ. İstanbul: Çağlayan Kitabevi ve Eğitim Çözümleri Ticaret A.Ş., 2019. (s. 73-85).
14. InfoWorld, Tynan D. [Internet]. What is machine learning? Software derived from data; 2017 [cited 2022 Apr 27]. Available from: <https://www.infoworld.com/article/3215266/what-is-machine-learning-software-derived-from-data.html>
15. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature* [Internet]. 2015 May [cited 2022 Apr 28]; 521(7553):436-44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26017442/> DOI: 10.1038/nature14539.
16. Gilliam J, Rimmington L, Dance H, Verveij G, Rao A, Roberts KB, et al. Macroeconomic impact of artificial intelligence. *PwC* [Internet]. 2018 Feb [cited 2022 Sep]. Available from: <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macro-economic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>
17. Bora P [Internet]. 27 Companies Changing Health Outcomes Through AI. Digital Authority Partners; 2021 Sep 26 [cited 2022 Sep 13]. Available from: <https://www.digitalauthority.me/resources/artificial-intelligence-in-healthcare/>
18. Korte A, Tiberius V, Brem A. Internet of Things (IoT) Technology research in business and management literature: results from a co-citation analysis. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res* [Internet]. 2021 Aug 17 [cited 2022 Apr 28]; 16(6):2073–2090. Available from: <https://www.mdpi.com/0718-1876/16/6/116#cite> DOI:10.3390/jtaer16060116.
19. Pradhan B, Bhattacharyya S, Pal K. IoT-Based applications in healthcare devices. *J Healthc Eng* [Internet]. 2021 Mar 19 [cited 2022 Apr 29]; 2021, Article ID: 6632599: 1-18. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2021/6632599/> DOI:10.1155/2021/6632599.
20. Udoh IS, Kotonya G. Developing IoT applications: challenges and frameworks. *IET Cyber-Physical Systems Theory & Applications* [Internet]. 2018 Mar 17 [cited 2022 Apr 27];3(2):65-72. Available from: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-cps.2017.0068> DOI:10.1049/iet-cps.2017.0068.
21. Islam SMR, Kwak D, Kabir MDH, Hossain M, Kwak KS. The Internet of Things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access* [Internet]. 2015 June 1 [cited 2022 Apr 16];3:678-708. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7113786/authors#authors> DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2437951
22. Javaid M, Khan IH. Internet of Things (IoT) enabled healthcare helps to take the challenges of COVID-19 Pandemic. *J Oral Biol Craniofac Res* [Internet]. 2021 Jan 30 [cited 2022 Apr 14]; 11(2):209-14. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33665069/> DOI: 10.1016/j.jobcr.2021.01.015.
23. Nasajpour M, Pouriyeh S, Parizi RM, Dorodchi M, Valero M, Arabia HR. Internet of Things for current COVID-19 and Future Pandemics: an exploratory study. *J Healthc Inform Res* [Internet]. 2020 Nov 12 [cited 2022 Apr 10];4(4):325-64. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33204938/> DOI: 10.1007/s41666-020-00080-6.
24. Singh RP, Javaid M, Haleem A, Suman R. Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. *Diabetes Metab Syndr* [Internet]. 2020 Jul-Aug [cited 2022 Apr];14(4):521-24. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32388333/> DOI: 10.1016/j.dsx.2020.04.041.
25. eMarketer [Internet]. US Adult Wearable Users and Penetration, 2017-2022 (millions and % of population). *Insider Intelligence*; 2018 Nov [cited 2022 Sep 13]. Available from: <https://www.insiderintelligence.com/chart/224897/us-adult-wearable-users-penetration-2017-2022-millions-of-population>
26. Fortune Business Insights [Internet]. Market Research Report. 2021 Oct [cited 2022 Sep 13] Available from: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-medical-things-iomt-market-101844>
27. Mukhopadhyay A [Internet]. COVID-19 Impact on India Healthcare IT Market. *Onometra*; n.d. [cited 2022 Sep 13] Available from: <https://onometra.com/covid-19-impact-on-india-healthcare-it-market/>
28. McKinsey&Company [Internet]. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond The Hype. 2015 June [cited 2022 Sep 13] Available from: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/The-Internet-of-things-Mapping-the-value-beyond-the-hype.aspx>
29. Lee LH, Braud T, Zhou P, Wang L, Xu D, Lin Z, et al. All one needs to know about metaverse: a complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *Journal of Latex Class Files* [Internet]. 2021 Oct [cited 2022 Apr];14(8):1–66. Available from: https://www.researchgate.net/publication/355172308_All_One_Needs_to_Know_about_Metaverse_A_Complete_Survey_on_Technological_Singularity_Virtual_Ecosystem_and_Research
30. Muhammad G, Alqahtani S, Alelaiwi A. Pandemic management for diseases similar to COVID-19 using deep learning and 5G communications. *IEEE Netw* [Internet]. 2021 June [cited 2022 Apr];35(3):21-6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9454580> DOI:10.1109/mnet.011.2000739.
31. Abubakar AI, Omeke KG, Ozturk M, Hussain S, Imran MA. The role of artificial intelligence driven 5G networks in COVID-19 outbreak: opportunities, challenges, and future outlook. *Front Comms Net* [Internet]. 2020 Nov 11 [cited 2022 Apr 9]; 1, Article 575065: 1-22. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frcmn.2020.575065/full> DOI:10.3389/frcmn.2020.575065.

- 32.** Chamola V, Hassija V, Gupta V, Guizani M. A comprehensive review of the COVID-19 pandemic and the role of IoT, drones, AI, blockchain, and 5G in managing its impact. *IEEE Access* [Internet]. 2020 May 4 [cited 2022 Apr 14];8: 90225-65. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9086010> DOI:10.1109/access.2020.2992341
- 33.** Siddique L, Qadir J, Farooq S, Imran MA. How 5G (and concomitant technologies) will revolutionize healthcare. *ArXiv Preprint ArXiv* [Internet]. 2017 Aug 17 [cited 2022 Apr 16]; arXiv: 1708.08746. Available from: <https://arxiv.org/abs/1708.08746> DOI:10.48550/ARXIV.1708.08746.
- 34.** Grand View Research [Internet]. 5G Services Market Size & Share Report 2022-2030. Next Generation Technologies; 2022 [cited 2022 Sep 13]. Available from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/5g-services-market#>
- 35.** Ericsson [Internet]. Ericsson Mobility Report; 2022 June [cited 2022 Sep 30]. Available from: <https://www.ericsson.com/49d3a0/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2022/ericsson-mobility-report-june-2022.pdf>.
- 36.** GSA-(Global mobile Suppliers Association) [Internet]. 5G Market Snapshot; 2022 June [cited 2022 Sep 10]. Available from: <https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-june-2022/>.
- 37.** Markets and Markets [Internet]. 5G in Healthcare Market. 2021 [cited 2022 Sep 1]. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/5g-healthcare-market-248695375.html>
- 38.** Martin G, Koizia L, Koener A, Cafferkey J, Ross C, Purkayastha S, et al. Use of the HoloLens2 mixed reality headset for protecting health care workers during the COVID-19 pandemic: prospective, observational evaluation. *J Med Internet Res* [Internet]. 2020 Aug 14 [cited 2022 Apr 22];22(8):e21486. Available from: <https://www.jmir.org/2020/8/e21486/PDF> DOI:10.2196/21486.
- 39.** Ong T, Wilczewski H, Paige SR, Soni H, Welch BM, Bunnell BE. Extended reality for enhanced telehealth during and beyond COVID-19: viewpoint. *JMIR Serious Games* [Internet]. 2021 Jul 26 [cited 2022 Apr 23];9(3):e26520. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34227992/> DOI: 10.2196/26520
- 40.** Riva G, Mantovani F, Wiederhold BK. Positive technology and COVID-19. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* [Internet]. 2020 Sep [cited 2022 Apr 17];23(9):581-587. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32833511/> DOI: 10.1089/cyber.2020.29194.gri.
- 41.** MIND-VR. [Internet]. What is MIND-VR? Who we are? MIND-VR; 2022 [cited 2022 May 08]. Available from: <https://mind-vr.com/73-2/chisiamo/>
- 42.** Wang SSY, Teo WZW, Teo WZY, Chai YW. Virtual reality as a bridge in palliative care during COVID-19. *J Palliat Med* [Internet]. 2020 June [cited 2022 Apr 18];23(6):756. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32324080/> DOI: 10.1089/jpm.2020.0212.
- 43.** Tamplin J, Loveridge B, Clarke K, Li Y, J Berlowitz D. Development and feasibility testing of an online virtual reality platform for delivering therapeutic group singing interventions for people living with spinal cord injury. *J Telemed Telecare* [Internet]. 2020 Jul [cited 2022 Apr 30];26(6):365-375. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30823854/> DOI: 10.1177/1357633X19828463
- 44.** Singh RP, Javaid M, Kataria R, Tyagi M, Haleem A, Suman R. Significant applications of virtual reality for COVID-19 pandemic. *Diabetes Metab Syndr* [Internet]. 2020 May 12 [cited 2022 Apr 19];14(4):661-664. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32438329/> DOI: 10.1016/j.dsx.2020.05.011
- 45.** Cox Sarah [Internet]. Visualising COVID-19 with VR. Goldsmiths University of London; 2017 [cited 2022 May 08]. Available from: <https://www.gold.ac.uk/news/visualising-covid-19-with-vr/>
- 46.** Couperus K, Young S, Walsh R, Kang C, Skinner C, Essendrop R, et al. Immersive virtual reality medical simulation: autonomous trauma training simulator. *Cureus* [Internet]. 2020 May 11 [cited 2022 Apr 25];12(5):e8062. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32542120/> DOI: 10.7759/cureus.8062
- 47.** De Ponti R, Marazzato J, Maresca AM, Rovera F, Carcano G, Ferrario MM. Pre-Graduation medical training including virtual reality during COVID-19 pandemic: 'a report on students' perception. *BMC Med Educ* [Internet]. 2020 Sep 25 [cited 2022 Apr 26]; 20(332):1-7. Available from: <https://bmcmmeduc.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12909-020-02245-8.pdf> DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02245-8>
- 48.** Fertleman C, Aubugeau-Williams P, Sher C, Lim AN, Lumley S, Delacroix S, et al. A discussion of virtual reality as a new tool for training healthcare professionals. *Front Public Health* [Internet]. 2018 Feb 26 [cited 2022 Apr 18];6(44):1-5. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2018.00044/full> DOI:10.3389/fpubh.2018.00044
- 49.** Metro. [Internet]. Healthcare; 2022 [cited 2022 May 08]. Available from: <https://www.metrocomms.co.uk/augmented-reality-for-health-professionals/>
- 50.** Craig Emory [Internet]. Check Out Snap's AR Lens for COVID-19 Donations. *Digital Bodies*; 2020 [cited 2022 May 08]. Available from: <https://www.digitalbodies.net/augmented-reality/snaps-ar-lens-for-covid-19-donations/>
- 51.** Alyaqout K, AlQinai S, Almazeedi S, Karim JS, Al-Youha S, Al-Sabah S. Applying augmented reality to treat Fournier's gangrene in COVID-19 positive patients whilst safeguarding the multi-disciplinary surgical team: A case series. *Int J Surg Case Rep* [Internet]. 2021 Feb [cited 2022 Apr 27];79:335-338. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33500878/> DOI:10.1016/j.ijscr.2021.01.055
- 52.** Unberath M, Ghobadi K, Levin S, Hinson J, Hager GD. Artificial Intelligence-Based Clinical Decision Support for COVID-19-Where Art Thou? *Advanced Intelligent Systems* [Internet]. 2020 June [cited 2022 Sept 12];2(9). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aisy.202000104> DOI: 10.1002/aisy.202000104
- 53.** Uğur AR, Taşdelen A. COVID-19 PCR testi veri analizinde CATENA Smart PCR Bioinformatik programının bulunduğu ön değerlendirme sonuçlarının uzman sonuçları ile uyumunun araştırılması. *European Journal of Science and Technology* [Internet]. 2021 Aralık 1 [cited 2022 Nisan 15]; (29): 327-30. Available from: https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/65857/1024190#article_cite DOI:10.31590/ejosat.1024190
- 54.** Kart Ö, Başçıftci F. Makine öğrenmesi algoritmalarıyla akciğer tomografi görüntülerinden COVID-19 tespiti. *European Journal of Science and Technology* [Internet]. 2021 Kasım 30 [cited 2022 Nisan 15]; (28):630-37. Available from: https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/article/1009611#article_cite DOI:10.31590/ejosat.1009611
- 55.** Apostolopoulos ID, Aznaouridis S, Tzani M. Extracting possibly representative COVID-19 biomarkers from X-Ray images with deep learning approach and image data related to pulmonary diseases. *J Med Biol Eng* [Internet]. 2020 May 14 [cited 2022 Apr 19];40(4):462-69. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40846-020-00529-4> DOI: <https://doi.org/10.1007/s40846-020-00529-4>
- 56.** Song Y, Zheng S, Li L, Zhang X, Zhang X, Huang Z, et al. Deep learning enables accurate diagnosis of novel coronavirus (COVID-19) with CT images. *IEEE/ACM Trans Comput Biol Bioinform* [Internet]. 2021 Nov [cited 2022 Apr 21];18(6):2775-80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33705321/> DOI:10.1109/TCBB.2021.3065361
- 57.** Beck BR, Shin B, Choi Y, Park S, Kang K. Predicting commercially available antiviral drugs that may act on the novel coronavirus (SARS-CoV-2) through a drug-target interaction deep learning model. *Comput Struct Biotechnol J* [Internet]. 2020 Mar [cited 2022 Apr 19];30(18):784-90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32280433/> DOI:10.1016/j.csbj.2020.03.025
- 58.** Stebbing J, Phelan A, Griffin I, Tucker C, Oechsle O, Smith D, et al. COVID-19: combining antiviral and anti-inflammatory treatments. *Lancet Infect Dis* [Internet]. 2020 Apr [cited 2022 Apr 25];20(4):400-2. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32113509/> DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30132-8.
- 59.** Lalmuanawma S, Hussain J, Chhakchhuak L. Applications of machine learning and artificial intelligence for Covid-19 (SARS-CoV-2) pandemic: A review. *Chaos Solitons Fractals* [Internet]. 2020 June [cited 2022 Apr 14];(139):110059. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32834612/> DOI:10.1016/j.chaos.2020.110059.

- 60.** Akalin B, Veranyurt Ü. Sağlık Hizmetleri ve Yönetiminde Yapay Zekâ. *Acta Infologica* [Internet]. 2021 Nisan 20 [cited 2022 Nisan 21]; 5(1):232-39. Available from: <https://dergipark.org.tr/pub/acin/issue/63212/850857> DOI: 10.26650/acin.850857
- 61.** Naudé W. Artificial Intelligence against Covid-19: An early eview. IZA Discussion Paper No. 13110 [Internet]. 2020 Apr 6 [cited 2022 Apr 8]. Available from: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3568314 DOI:10.2139/ssrn.3568314.
- 62.** Patel, Neel V. [Internet]. The best, and the worst, of the coronavirus dashboards; 2020. [cited 2022 May 01]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2020/03/06/905436/best-worst-coronavirus-dashboards/>.
- 63.** Qian Z, Alaa AM, van der Schaar M. CPAS: the UK's national machine learning-based hospital capacity planning system for COVID-19. *Mach Learn* [Internet]. 2020 Nov 24 [cited 2022 Apr 19];110(1):15-35. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33250568/> DOI: 10.1007/s10994-020-05921-4
- 64.** Cossio M ve Gilardino GE. Would the Use of Artificial Intelligence in COVID-19 Patient Management Add Value to the Healthcare System? *Front. Med.* [Internet]. 2021 Jan [cited 2022 Sept 12]; 8:619202 Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2021.619202/full> DOI: 10.3389/fmed.2021.619202
- 65.** Philips. [Internet]. Philips launches next generation wearable biosensor for early patient deterioration detection, including clinical surveillance for COVID-19; 2020 [cited 2022 May 01]. Available from: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/standard/news/press/2020/20200526-philips-launches-next-generation-wearable-biosensor-for-early-patient-deterioration-detection-including-clinical-surveillance-for-COVID-19.html>
- 66.** Fdanews. [Internet]. FDA Clears Philips' Disposable Patch for COVID-19 Patient Deterioration; 2020 [cited 2022 Apr 20]. Available from: <https://www.fdanews.com/articles/print/197314-fda-clears-philips-disposable-patch-for-COVID-19-patient-deterioration>
- 67.** Triaxtec. [Internet]. In the Time of COVID-19 – How Will You Maintain Safe Working Distances?; n.d. [cited 2022 Apr 17]. Available from: <https://www.triaxtec.com/resource/fact-sheet/proximity-trace/>
- 68.** Yousif M, Hewage C, Nawaf L. IoT Technologies during and beyond COVID-19: A comprehensive review. *Future Internet* [Internet]. 2021 Apr 23 [cited 2022 Apr 17];13(5):105. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/5/105> DOI:10.3390/fi13050105
- 69.** Kinsa. [Internet]. Thermometers; n.d. [cited 2022 Apr 12]. Available from: <https://kinsahealth.com/thermometers>
- 70.** Rajeesh KNV, Arun M, Baraneetharan E, Jayaprakash JS, Kanchana A, Prabu S. Detection and monitoring of the asymptomatic COVID-19 patients using IoT devices and sensors. *International Journal of Pervasive Computing and Communications* [Internet 9. 2020 Sep 23 [cited 2022 Apr 18]. Available from: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPC-08-2020-0107/full/html> DOI:10.1108/ijpc-08-2020-0107
- 71.** Misra S, Dep PK, Koppala N, Mukherjee A, Mao S. S-Nav: Safety-Aware IoT navigation tool for avoiding COVID-19 hotspots. *IEEE Internet Things J* [Internet]. 2021 Apr 15 [cited 2022 Apr 20];8(8):6975-82. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9257428> DOI:10.1109/jiot.2020.3037641
- 72.** Vedaei SS, Fotovvat A, Mohebbian MR, Rahman GME, Wahid KA, Babyn P, et al. COVID-SAFE: An IoT-Based System for Automated Health Monitoring and Surveillance in Post-Pandemic Life. *IEEE Access* [Internet]. 2020 Oct 12 [cited 2022 Apr 14];8:188538-51. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9220167> DOI:10.1109/ACCESS.2020.3030194
- 73.** Yousif M, Hewage C, Nawaf L. IOT technologies during and beyond COVID-19: A comprehensive review. *Future Internet* [Internet]. 21 Apr 23 [cited 2022 Sept 30];13(5):105. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/5/105/htm> DOI:10.3390/fi13050105
- 74.** Al-Ogaili Ameer Alhasan S, Ramasamy A, Binti Marsadek A, Juhana Tengku Hashim M, Al-Sharaa T, Aadam A, et al. IoT technologies for tackling COVID-19 in Malaysia and worldwide: Challenges, recommendations, and proposed framework. *Computers, Materials & Continua* [Internet]. 2020 Nov 26 [cited 2022 Sept 30];66(2):2141–64. Available from: <https://www.techscience.com/cmcc/v66n2/40671> DOI: 10.32604/cmcc.2020.013440
- 75.** Chunming Z, He G. 5G Applications Help China Fight against COVID-19. *China Academy of Information and Communications Technology* [Internet]. 2020 [cited 2022 Apr 9];1–4. Available from: <http://www.caict.ac.cn/english/research/covid19/study/202004/P020200426371477971478.pdf>
- 76.** Kumar R, Pandey A, Ahmed AS, Fenta T, Genale AS, Alemu B. The role of 5G technology combating covid-19 pandemic and challenges for adoption. *Ann Rom Soc Cell Biol* [Internet]. 2021 May 6 [cited 2022 Apr 8];25(6):5370-78. Available from: <https://annalsofscbr.ro/index.php/journal/article/view/6483>
- 77.** Wu S, Wu D, Ye R, Li K, Lu Y, Xu J, et al. Pilot study of robot-assisted teleultrasound based on 5G network: A new feasible strategy for early imaging assessment during COVID-19 pandemic. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* [Internet]. 2020 Nov [cited 2022 Apr 11];67(11):2241-48. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32881685/> DOI:10.1109/TUFFC.2020.3020721
- 78.** Siriwardhana Y, Gür G, Ylianttila M, Liyanage M. The role of 5G for digital healthcare against COVID-19 pandemic: opportunities and challenges. *ICT Express* [Internet]. 2021 June [cited 2022 Apr];7(2):244-52. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959520304744> DOI:10.1016/j.icte.2020.10.002
- 79.** Qureshi HN, Manalastas M, Zaidi SMA, Imran A, Kalaa MOA. Service level agreements for 5G and beyond: overview, challenges and enablers of 5G-Healthcare systems. *IEEE Access* [Internet]. 2020 Dec 23 [cited 2022 Apr 9];9:1044-61. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9305243> DOI:10.1109/access.2020.3046927
- 80.** Ahad A, Tahir M, Yau KLA. 5G-Based smart healthcare network: architecture, taxonomy, challenges and future research directions. *IEEE Access* [Internet]. 2019 Jul 23 [cited 2022 Apr 28];7:100747-62. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769822> DOI:10.1109/access.2019.2930628.