

## Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka Dergisi

Journal of Artificial Intelligence in Health Sciences

## Yapay Zeka'nın Mikrobiyolojide Kullanımı

## Use of Artificial Intelligence in Microbiology

Ömrüm ERGÜVEN<sup>1</sup>, Suzan ÖKTEN<sup>2</sup>

## Özet

1950'li yıllarda ismini duymaya başladığımız yapay zeka kavramı özellikle son 15 yılda çok büyük gelişmeler göstermiştir. İnsan beynine ait işleyişin taklit edilmesi ile oluşturulan bu teknoloji, turizm, emlak, inşaat, üretim gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. Yapay zekanın etkilediği en önemli alanlardan bir tanesi de sağlık sektörüdür. Mikrobiyoloji, mikroorganizmaları inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Mikroorganizmaların tanımlanması, enfeksiyon hastalıkları ve bulaşıcı hastalıklar, bu hastalıkların tedavisi ve kontrolü gibi konular bu bilim dalının ilgilendiği konular arasındadır. Günümüzde mikrobiyoloji alanında kullanılan yapay zeka uygulamaları bilim insanlarına iyi bir karar destek mekanizması rolünde yer alarak halk sağlığının korunmasında yardımcı olmaktadır. Teknolojinin daha da ilerlemesiyle etkisini arttırmaya devam edecek olan yapay zeka teknolojisi, sağlık ekosisteminin bir üyesi olan mikrobiyoloji alanında zaman, maliyet ve kaliteye katkısı açısından adından daha sık söz ettirmeye devam edecektir. Bu çalışmanın amacı mikrobiyoloji alanında kullanılan yapay zeka uygulama örneklerini derleyerek literatüre katkı sağlamak ve yapay zekanın bu alana sunabileceği katkıları göstermektir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yapay Zeka, Eczacılık, Mikrobiyoloji, COVID-19, Enfeksiyon Hastalıkları*

## Abstract

Artificial intelligence which be heard in 1950s has been developed greatly in the last 15 years. That technology is programmed by imitating human brain and may be used in sectors like tourism, real estate, building and production sector. One of the sectors that artificial intelligence affects highly is Health sector. Microbiology is being defined as discipline that works on microorganisms. Definition of microorganisms, infections and infectious diseases are the topics of Microbiology. Nowadays, artificial intelligence applications that being used currently; has being a great support to decisions of scientist and helping them to maintain public health. With progression of technology, artificial intelligence which will be improving, will be heard a lot because of time, cost and quality improvements on microbiology researches. The aim of this study is to

Received / Geliş	30.07.2022
Accepted / Kabul	08.08.2022
Publication Date	26.08.2022

\*Sorumlu Yazar  
Corresponding Author

\*Ömrüm ERGÜVEN

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi,  
Eczacılık Fakültesi,  
Edirne, TURKEY

ORCID iD: 0000-0002-1191-0830  
e posta: omrumomrum81@gmail.com

Suzan ÖKTEN

<sup>2</sup>Trakya Üniversitesi,  
Eczacılık Fakültesi,  
Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı,  
Edirne, TURKEY

ORCID iD: 0000-0003-3372-5617

## Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması veya finansal destek bildirmemişlerdir.

## Yazar Katkıları

Motivasyon / Konsept: Ö.E., S.Ö.  
Çalışma Tasarımı: Ö.E., S.Ö.  
Kontrol / Gözetim: Ö.E., S.Ö.  
Veri Toplanması ve / veya İşlemesi: Ö.E., S.Ö.  
Analiz ve / veya Yorum: Ö.E., S.Ö.  
Literatür inceleme: Ö.E., S.Ö.  
Makalenin Yazılması: Ö.E., S.Ö.  
Eleştirel İnceleme: Ö.E., S.Ö.

contribute to the literature by compiling examples of artificial intelligence applications used in the field of microbiology and to show the contributions that artificial intelligence can make to this field.

**Key Words:** *Artificial Intelligence, Pharmacy, Microbiology, COVID-19, Infectious Diseases*

## Giriş

İnsan davranışlarını örnekleyebilen ve insan beyninin mekanizmasını taklit ederek karar verebilen makinelere yapay zeka (AI) denir (1). “Tarihte üç büyük olay vardır. Bunlardan ilki kâinatın oluşumudur. İkincisi yaşamın başlangıcının olmasıdır. Üçüncüsü de yapay zekanın ortaya çıkışıdır.” diyen Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)’in Bilgisayar Bilimleri yöneticilerinden Edward Fredkin yapay zekanın ne kadar önemli olduğunu bu sözlerle dile getirmiştir (2).

Yıllar geçtikte yapay zeka sağlık ekosisteminin bir parçası haline gelmiştir. Tanı, karar verme, halk sağlığının korunması ya da tedavi gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır (3). Çok eski dönemlerden beri bazı hastalıklar insanlığın dikkatini oldukça çekmiş ve jerm teorisi ile hastalıkların oluşmasında canlı varlıkların rol oynayabileceği ortaya atılmıştır (4). Mikroskobun keşfi ile hızlı mesafe kaydetmiş mikrobiyoloji bilim dalı, yapay zekanın katkısını hisseden dallar arasındadır. Bu derlemede, mikroorganizmaların teşhisi, mikroorganizmaların sebep olduğu enfeksiyon hastalıklarının tedavisi, önlenmesi ve kontrolü gibi mikrobiyolojinin ilgilendiği alanlarda yapay zekanın katkılarını ve bu katkıların Dünya’daki örneklerine değinilmiştir.

## Yöntem

Bu derleme; ScienceDirect, Web of Science, PubMed, DergiPark gibi veri tabanları kullanarak, ‘artificial intelligence’, ‘microbiology’, ‘pharmacy’, ‘artificial intelligence in microbiology’ gibi konu ile bağlantılı anahtar kelimeleri kullanarak çoğunlukla derleme makalelerinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

## Yapay zeka

Yapay zeka’nın farklı bakış açılarına göre birden fazla tanımı vardır. Alan Turing tarafından yazılan “Computing Machinery and Intelligence” adlı makalede makinelerin düşünüp düşünemeyeceği sorgulanmış ve böylece ilk yapay zekanın felsefik kavramı ortaya atılmıştır (5,7). ‘Yapay Zeka’ terimi ise ilk defa 1956 Amerika’da Minsky ve McCarthy ile birlikte öne sürülmüştür (9). Diğer bir tanıma göre ise yapay zeka insanlar gibi akılcı düşünen ve davranan, canlıların akıllıca olarak nitelendirilebilecek davranışlarına sahip bilgisayar sistemleridir (8).

Yapay zekanın temel amacı, insan beynine ait düşünce sistemini ve karar verme mekanizmasını anlayarak bunu bir

makineye entegre etmektir. Yani makinelerin insan ile benzetilerek makinelerin düşünebilmesini sağlamak esas amaçtır (7).

Uzman sistemler, yapay sinir ağları, makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi teknikler yapay zeka tanımı içinde yer almaktadır (8). Yapay zeka çeşitleri Tablo 1’de verilmiştir.

## Mikrobiyoloji’de yapay zeka

Mikrobiyoloji; bakteri, virüs, mantar gibi mikroskobik boyutlarda küçük canlıların canlılıklarını nasıl sürdürdüklerini, neler yaptıklarını, canlılarda hastalık yapma mekanizmalarını, kısaca yaşamsal faaliyetlerini inceler. Mikroorganizmaların varlığı, gözlemlenmeden önce Hindistan’daki Jainler ve antik Roma’daki Marcus Terentius Varro tarafından tahmin edilmiştir. Kaydedilen ilk mikroskop gözlemi, 1666’da Robert Hooke tarafından küflerin meyve veren gövdelerine aittir. Antonie van Leeuwenhoek, 1670’lerde basit mikroskoplar kullanarak mikroskobik organizmaları gözlemlediği için mikrobiyolojinin babası olarak kabul edilmiştir. Bilimsel mikrobiyoloji, 19. yüzyılda Louis Pasteur ve tıbbi mikrobiyoloji Robert Koch’un çalışmaları ile gelişmiştir. 1900’lü yılların başlamasıyla mikrobiyoloji altın çağını yaşamaya başlamıştır. 20. yy’ın gelmesiyle bulaşıcı hastalık etkenleri tanımlanmış hatta antibiyotikler keşfedilmeye başlamıştır. Tedavisi olmadığı düşünülen birçok hastalık antibiyotikler ile tedavi edilmeye başlanmıştır. Virüsler bu serüvene çok küçük oldukları için biraz daha geç katılarak 1940 yılında elektron mikroskobunun da geliştirilmesi ile tanımlanmaya başlanmışlardır (36, 76, 77)

## Mikroorganizmaların tanı ve teşhisinde yapay zeka

Klinik mikrobiyoloji; bakteri, virüs, mantar veya parazit gibi mikroorganizmaların neden olduğu hastalıkların tanı ve tedavisi ile ilgilenir. Klinik mikrobiyoloji laboratuvarlarında kişilerden alınan örnekler (kan, gaita, idrar, balgam, sürüntü ve doku parçası) mikroskobik, serolojik, hematolojik veya moleküler yöntemler ile analiz edilir (39).

Yapay zeka, klinik mikrobiyoloji laboratuvar verilerinin yorumlanmasında günlük hayatımızın bir parçası haline gelmeye başlamıştır. Mikroorganizmaların çoğu yaşamın çeşitli alanlarında olumlu etkilere sahip olsa da birçok hastalığa sebep olabilir. Bu nedenle, tanıma sürecinin otomatikleştirilmesi tıbbi önleme, teşhis ve tedavide yardımcı olabilir (40).

Laboratuvarda kullanılan yapay zeka teknolojisi verilerin daha doğru yorumlanmasına ve üretilen verilerden yeni sonuçlar çıkarılmasına destek olmaktadır. Ayrıca, teşhis belirsizliği durumunda (bakteri hücrelerinin şekli veya yapısındaki yanıtıcı benzerlik), bu tür yöntemler yanlış tanımlama riskini en aza indirmektedir. (41, 40)

Tablo 1. Yapay Zeka'nın Alt Dallarından Bazıları

Uzman Sistemler	<p>Uzman sistemler, en yalın tanımı ile işlenebilecek bir bilginin makineler ile entegre edildiği sistemlerdir. Temel amaç, konuyla ilgili uzman kişilerin mantığa dayalı düşünce ve sonuca ulaşma sisteminin modellenmesidir. Uzman sistemlerde, uzmanların düşünce ve muhakeme etme mekanizması bilgisayarların hızı ve kesinliği ile birleştirilir (7,8).</p> <p>Uzman sistemlerin temel yapısı:</p> <p>Bilgi tabanı: Bilgiler burada tutulur ve ayrıca var olan bilgilerden yeni bilgiler ortaya çıkarılabilir.</p> <p>Veri tabanı: Aktif olarak bilgi tabanı ile iletişimde olan sistemdir.</p> <p>Çalışan Bellek: Kabul edilebilir bir cevaba varmak için sorulması gereken soruların cevaplarını içeren kısımdır.</p> <p>Çıkarım Motoru: Bir problemin çözümü için çıkarımda bulunulan kısımdır.</p> <p>Kullanıcı Ara Yüzü: Probleme ait çözümün üretilmesi için araçtır. Mevcut problemin karar verme mekanizmasına iletilmesini, burada oluşan sonucun da kullanıcıya geri bildirilmesini sağlayan kısımdır (7,8).</p>
Makine Öğrenmesi	<p>Makine öğrenmesi, yapay zekanın alt dalıdır. Bu sistem, sunulan verilerden veya makinelerin daha önceki çözümlerden yola çıkarak çıkardığı sonuçlar ile kendiliğinden öğrenme ve gelişme sağlayan algoritmadır. Matematiksel ve istatistiksel sonuçlara dayanır (10,12). Makinelerin, verileri ve yaşanan deneyimleri değerlendirerek çıkarımlarda bulunması ve kararlar vermesi amaçlanır (11). Bir makineye istenilen bilgileri öğretmenin birden fazla yolu vardır. Bunlar:</p> <p>Denetimli Öğrenme: Bu yöntemde, makineler hedeflenen sonuçları içeren veriler kullanılarak eğitilir</p> <p>Denetimsiz Öğrenme: Burada bir tanıtım aracına ihtiyaç yoktur. Makine, tek başına verilerden anlamlar çıkararak sınıflandırma yapar. Denetimli öğrenmeye göre daha karmaşık ve daha güvensizdir.</p> <p>Pekiştirmeli Öğrenme: 'Ajan' kavramı mevcuttur. Ajanın amacı deneme yanılma ile hedefe ulaşmaktır. Oyunlaştırma yöntemi ile yaptığı doğru hamleler için ödül, yanlış hamleler için ceza olarak öğrenir. Bu ödül ve cezalara sebep olan hamleler hafızaya atılır ve makine kendi kendine gelişir. Bu yöntemle, bir bilgisayar dünya satranç şampiyonunu yenmiştir (10).</p>
Derin Öğrenme	<p>Derin öğrenme, makine öğrenmesinin dolayısı ile de yapay zekanın bir alt dalıdır. Özellikle görüntülerin tanınması ve yorumlanmasında oldukça faydalı bir yöntemdir. Çok sayıda veri girdisi olur ve otomatik olarak ayırt edici özellikleri kendisi öğrenir (13, 14).</p> <p>DL'nin en büyük dezavantajı tüm algoritmalarının büyük verilere ihtiyaç duymasındır. Bu nedenden dolayı iyi bir bilgisayara ihtiyaç duyulur. Her ne kadar büyük veri sağlanması öğrenimlerini güçlendirirse de bu öğrenme uzun sürer (14).</p>
Yapay Sinir Ağları	<p>Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin işleyiş mekanizmasını taklit eden sistemler olarak tanımlanmaktadır. Düşünme, hatırlama, öğrenme gibi işlevlerin temelinde sinir hücrelerimiz yatmakta ve sinir hücrelerimizde birbirleri ile bağlantı halinde bulunmaktadır. İnsan beyninin karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda henüz beyinlerimiz kadar gelişmiş bir sistem yaratılamıyor olsa da işleyiş mekanizmasını taklit eden 'yapay sinir ağları' oluşturulabilmektedir. (1,15)</p>

### 1. Bakterilerin tanı ve teşhisinde yapay zeka uygulamaları

Bakteriler, çekirdek ve çekirdekçisi olmayan prokaryot, oldukça basit mikroorganizmalardır. Basil (çomak), kok (yuvarlak), spiral şekilli olabilirler ve 0 °C den 100 °C 'ye olan geniş aralıktaki sıcaklıklarda yaşamlarını sürdürebilirler. Bakterileri tanımlayabilmek ve gözlemleyebilmek için mikroskoplara ihtiyaç duyulmaktadır (37).

Bakteriler ilk olarak şekillerine göre sınıflandırılır ancak sadece şekle dayalı olarak bakterileri tanımak zordur. Birçok bakteri çok benzer şekillerde olabilir. İkinci ayırt edici özellik, bakterilerin oluşturduğu kolonilerin şekli ve boyutudur. Bazıları tek başına yaşar, bazıları yapı ve mekansal düzenleme açısından çok karakteristik koloniler oluşturur. Diğer yandan şekilleri büyük ölçüde düzensiz olabilir ve bu da tanıma sürecini etkiler. Bu nedenle, geleneksel bakteri ta-

nımlama yöntemleri, uzman bilgi ve deneyim gerektirir. Elde edilen örneklerin referans olanlarla karşılaştırması analizine dayanan zaman alıcı bir süreçtir (40).

Yapılan bir çalışmada, idrardan alınan örnekler kromojenik agara ekim yapılmıştır yapay zeka, agarda oluşan bakteri kolonilerinin sayımlarını doğru yorumlamak ve kolonileri ayırt etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada 1.500'den fazla idrar kültürü değerlendirilmiştir. Faron ve arkadaşları, yapay zekanın manuel okumaya göre kolonilerin tespit edilmesinde %99,8 duyarlı olabildiğini görmüşlerdir. Yine manuel yöntemler ile karşılaştırıldığında sonuç alma sürelerinin negatif örnekler için 4 saat 42 dakika ve pozitif örnekler için 3 saat 28 dakika kıaldığı görülmüştür. Sonuç alma süresindeki bu azalmanın sebebi bir insanın görüntüyü analiz etmesini beklemek yerine yapay zekanın görüntüleri yakaladığı anda yorumlamasından kaynaklanmaktadır (41).

Tablo 2. Hepatit virüs teşhisinde yapay zeka tarafından değerlendirilen faktörler (44).

Girdi Faktörleri					
Nu.	Faktörler	Değerler	Nu.	Faktörler	Değerler
1	Yaş	10-80 Yaş	11	Enfeksiyon	Hayır, Evet
2	Cinsiyet	Kadın, Erkek	12	Asitlik	Hayır, Evet
3	Steroid	Hayır, Evet	13	Varis	Hayır, Evet
4	Antiviraller	Hayır, Evet	14	Bilirubin	0.39 - 4.00
5	Yorgunluk	Hayır, Evet	15	Alkelen Fosfataz	33, 80 - 250
6	Halsizlik	Hayır, Evet	16	AST	13,100 - 500
7	İştahsızlık	Hayır, Evet	17	Albumin	2.1-6.0
8	Karaciğer Büyüklüğü	Hayır, Evet	18	Protrombin Zamanı	10 - 90
9	Karaciğer Sağlamlığı	Hayır, Evet	19	Histoloji	Hayır, Evet
10	Dalak Palpasyonu	Hayır, Evet			

Bakteriler deyince aklımıza gelen kavramlardan bir tanesi de mikrobiyotadır ve insanlarda aynı yerde yaşayan bakteri, virüs, mantar gibi mikroorganizmaların tümünü ifade eder. Mikrobiyom ise mikrobiyotanın sahip olduğu genetik materyale verilen addır, insan genomunun 100 katından daha fazladır ve çeşitli yapay zeka teknikleri ile analiz edilerek hastalıkların tedavisine yeni bir bakış açısı getirilebilir (42). Son yıllarda mikrobiyom tahminleri için yapay zekanın alt dalı olan makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Mikrobiyomdan alınan veriler genellikle operasyonel taksonomik birimlere (OTUs) yerleştirilir ve her biri belirli bir bakteriyi temsil eden benzer diziler analiz edilir. Böylece, bakteriler ve mikrobiyom verileri arasındaki ilişkiyi gösteren bir sınıflandırma oluşturulur. Bu sınıflandırma daha sonra yapılacak çalışmalarda makine öğrenmesinin hızlıca çıktı vermesine imkan tanır (42). Bu yöntemin en güzel örneği 'Enbiosis' adlı projedir.

Enbiosis, kişilere mikrobiyom analizi yaparak yapay zeka ile en uygun beslenme düzenini sağlayan kişiselleştirilmiş bir sağlık hizmetidir. İlk aşama Enbiosis'in internet sitesinden mikrobiyom kitinin siparişi ile gerçekleşir ve site üzerinde var olan anket soruları cevaplandırılır. Kit, kullanıcıların evine ulaştıktan sonra kullanıcılar tarafından gaita örnekleri alınır ve numune kiti şirket tarafından belirtilen adrese gönderilir. Şirkete ulaşan gaita örneğinden mikrobiyom analizi yapılır ve bağırsak florasının bakteri popülasyonu belirlenir. Böylece yapay zeka algoritmaları ile bağırsaktaki bakteriler ve bu bakterilerin ihtiyacı olan besinler uzmanla-

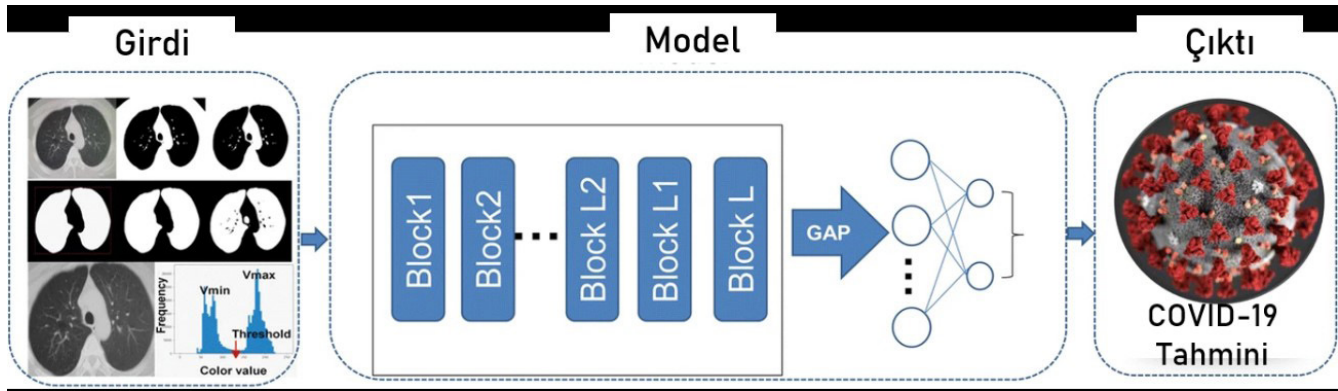
rın kontrolünde belirlenerek kullanıcıya kişisel bir beslenme şekli sunulmuş olur (43).

## 2. Virüslerin tanı ve teşhisinde yapay zeka uygulamaları

Virüsler, üreyebilmek için canlı bir hücreye ihtiyaç duyan hücre içi parazitidir. Virüslerin varlığı ilk kez 20. Yüzyılda elektron mikroskopunun keşfinden sonra anlaşılabilmiştir. Nükleik asit olarak RNA ya da DNA olmak üzere tek bir nükleik asit içeren virüslerin organelleri yoktur. Şu an için bilinen hastalık yapıcı en küçük mikroorganizmalardır (36, 38).

Virüs kaynaklı hastalıkların doğru, verimli bir şekilde teşhis edilmesine yardımcı olmak için yapay zekanın kullanımı, maliyeti, zamanı, insan deneyimini ve yanlış teşhisi azaltabilir. Hepatit virüslerinin teşhisi üzerinden yapılan bir çalışmada yapay zekanın bir alt dalı olan yapay sinir ağları kullanılmıştır. Bir çalışmada öncelikle hepatit virüsünün teşhisine yardımcı olduğu düşünülen faktörler tanımlanmıştır. Bu faktörlerden bazıları şunlardır: Yorgunluk, halsizlik, iştahsızlık, bilirubin düzeyi, alkelen fosfataz düzeyi gibi. Bu faktörler yapay zeka modellemeleri ile ortak bir standardizasyona oturtulmuştur. Toplam 216 hasta üzerinden yapılan çalışmada 152 hasta yapay zeka verilerinin eğitimi için kullanılmıştır. Geriye kalan 64 hasta yapay zeka algoritmaları eğitildikten sonra analizin doğruluğunu kanıtlamak için kullanılmıştır. 64 hastada yapay zeka tarafından oluşturulan tahminler gerçek klinik veriler ile karşılaştırıldığında, yapay zekanın doğruluğunun %94.44 olduğu görülmüştür (44). Detayları Şekil 1'de gösterilmiştir.





Şekil 1. Koronavirüs hastalığının tanımlanmasında BT görüntülerini kullanan derin öğrenme algoritmaları (49).

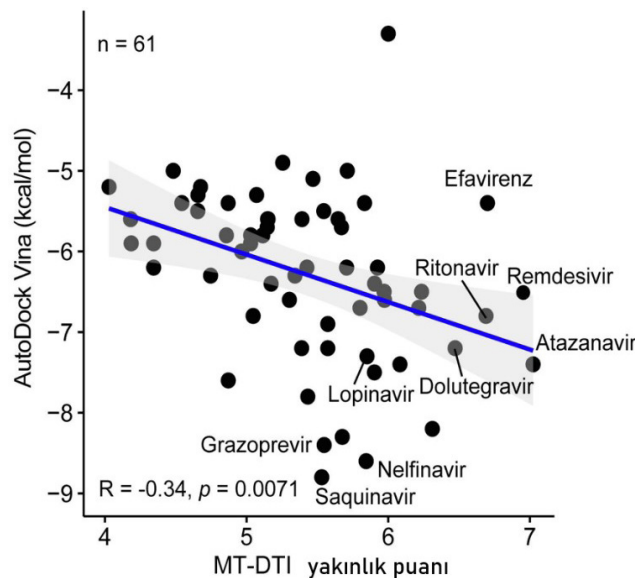
## COVID-19'un tanı ve teşhisinde yapay zeka uygulamaları

Mikroorganizmaların öngörülemez gücü; hayatımızı değiştirmeye, bizleri normal olarak tanımladığımız kalıpların dışına çıkarmaya devam etmektedir. 2019 yılının Aralık ayında tüm Dünya Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan yeni bir koronavirüs (Sars-cov-2) salgını ile karşılaştı. 11 Mart 2020 tarihinde ülkemizde ilk vaka görüldü ve aynı gün DSÖ bu salgını pandemi olarak ilan etti. 9 Nisan 2021 tarihi itibarı ile 2.894.295 ölüm de dahil olmak üzere 133.552.774 doğrulanmış COVID-19 vakası bulunmaktadır. (46, 47)

COVID-19 hastalığı semptomsuz veya hafif semptomlu, ancak özellikle organ yetmezliği olan ya da kronik hastalığı olan kişilerde seyrini hızla değiştirir. Amaç, sınırlı bilgi tabanı ve kaynakları kullanarak hastalığı en erken tespit etmektir. Covid19'un teşhisi için klinik bulguların yanında sıklıkla radyolojik görüntüleme tekniklerinden Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve burun boğaz sürüntüsünü kullanan geleneksel laboratuvar tabanlı RT-PCR (gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu) testi kullanılır. RT-PCR, sınırlı hassasiyete

sahiptir ve aynı zamanda zaman alıcıdır. Hasta sayısı çok büyük olduğunda, COVID tarama testlerini gerçekleştirmek için RT-PCR reaktiflerinin ve özel laboratuvar kaynaklarının sıkıntısı kaçınılmazdır. Bu nedenle, problemleri en aza indirmek için hızlı karar verme ve hasta merkezli sonuçlar elde etme yönleri ile yapay zeka COVID-19 teşhisinde yardımcı bir sistem olarak kullanılabilir (48).

Brianti ve ark. yaptıkları bir çalışmada, altın standart RT-PCR testi ile önemli ölçüde karşılaştırılabilir doğruluk (%82-86) ve hassasiyet (%92-95) ile sonuçlanan yapay zeka modelleri geliştirmiştir. Ayrıca yapay zeka modelinin görüntüleme tekniklerinden BT ile entegrasyonu, tedavinin daha erken sağlanmasında hastalığın daha doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlayabilir. Bunun yanında, COVID-19 vakalarında pnömöni varlığını ayırt edebilir ve BT görüntülerinden hızlıca bir sonuç elde ederek teşhisi doktora hızlıca iletebilir. Başka bir çalışmada Wang ve ark., 1065 BT görüntüsü üzerinden radyoloji tekniklerine entegre bir yapay zeka modeli oluşturarak COVID-19'un zamanında ve doğru teşhisini sağlamak istemişlerdir (48, 49). Şekil 2'de bu model gösterilmiştir.



Şekil 2. Yapay zeka ile önerilen etkili antiviral bileşikler (64).

Asemptomatik bireylerin de değerlendirilmesi gerektiğini düşünen ve COVID-19'a yakalanan bireylerin öksürme tarzlarının farklı olduğunu gözlemleyen MIT bir yapay zeka modeli üzerinde çalışmıştır. Bu modele göre telefona kaydedtiğiniz öksürük sesi ve konuşulan kelimelerden COVID-19 varlığı tanımlanabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu semptomlara sahip olmayan ancak virüs için test yaptıklarını bildiren kişilerin %98,5'inin, uygulamanın söylediği gibi COVID-19 çıktığı görülmüştür (51).

Tüm bu sonuçlar, yapay zekanın virüslerin teşhisinde kullanılmasının hız, doğruluk, kesinlik açısından ne kadar önemli olduğunu ve ilerleyen dönemlerde oluşabilecek salgınlarda önlem alma konusunda insanlığa büyük bir yardımcı olabileceğini gösteriyor.

### **3. Mantarların tanı ve teşhisinde yapay zeka uygulamaları**

Mantarlar, ökaryotik mikroorganizmalardır. Küfler ve mayalar olmak üzere ikiye ayrılır. Küfler, çok hücreli filamentli canlılardır ve üremek için sporlarını kullanırlar. Mayalar ise fermantasyon endüstrisinde önemli bir rol edinmişlerdir. Ekmeğin mayalanmasından tutun da antibiyotiklerin eldesine kadar pek çok alanda mayalar kullanılabilir. Ancak *Candida albicans* gibi mayalar patojeniktir ve canlıların vücudunda hastalık etkeni olarak yer alabilir (36, 37)

Mantar enfeksiyonlarının tespiti için geleneksel yöntemler arasında plaka sayma yöntemi, nükleik asit prob teknolojisi ve PCR yer almaktadır. Bilim adamları, genellikle güçlü mikroskopların yardımıyla karmaşık analizler yapmaktadır. Buna rağmen görsel benzerlikleri nedeniyle türlerin kesin olarak tanımlanması zordur ve ek biyokimyasal testlerin kullanılmasını gerektirir. Bu da ek maliyetler gerektirir ve tanımlama sürecini 10 güne kadar uzatır. Tedavinin uygulanmasında böyle bir gecikme, bağışıklık sistemi baskılanmış hastalar için mortalite oranı yüksek olduğu için ciddi olabilir (52, 54).

Bir çalışmada bu problemler göz önünde bulundurularak, çeşitli mantar türlerinin mikroskopik görüntülerini sınıflandırmak için yapay zekanın alt dalı olan derin sinir ağları ve makine öğrenmesi kullanılmıştır. Yöntem, temel mikrobiyolojik boyamaya (Basit boyama) ve bir kamera ile donatılmış basit bir mikroskopa dayanır. Mikroskop görüntülerinin yapay zeka tarafından değerlendirilip tanımlanmanın yapılması sadece birkaç dakika sürer.

Mikroskopik yöntemlerde yapay zekanın kullanılması biyokimyasal tanımlamanın son aşamasını gereksiz kılarak tanımlama sürecini 2-3 gün kısaltır ve tanı maliyetini azaltır (52).

### **4. Parazitlerin tanı ve teşhisinde yapay zeka uygulamaları**

Yaşamı başka canlıların varlığı ile devam ettirebilen ve besinlerini üzerinde yaşadığı canlıdan sağlayan mikroorganizmalara parazit denir. Sıtma hastalığına sebep olan *Plasmodium* türleri parazit canlılara örnektir (36).

Mikroskopik ova-ve-parazit (O&P) incelemesi, çoğu bağırsak solucanının ve protozoanın morfolojik tespiti için "altın standart" olmaya devam etmektedir. Mikroskopik inceleme, *Plasmodium* türleri ve *Babesia* türleri gibi kanla bulaşan parazitlerin tanımlanmasında için de birincil yöntemdir. Bunun yanında parazitlerin mikroskopik incelenmesi zaman alan bir işlemdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde parazit enfeksiyonlarının pozitiflik oranı (insidansı) düşük olduğu için olumlu bir sonuç bulmak için en az 20 örneğin incelenmesi gerekmektedir. Laboratuvarında parazit içeren ve içermeyen örneklerin incelenmesi için saatler harcanmaktadır. Yapay zeka, bu süreci daha verimli kullanarak hızlı sonuçlar almamıza yardımcı olabilir (41).

Özellikle sıtma teşhisinde görsel tanımlayıcı yapay zeka destekli sistemlerin kullanılması askeri çatışma alanları dahil olmak üzere zorlu ortamlarda teşhis doğruluğunun artırılmasında büyük fayda sağlamaktadır. Bu zorlu ortamlarda mikroskop adaptörlü akıllı telefon uygulamaları periferik kan yaymalarının incelenmesinde hızlandırıcı bir sistem olarak yerini alabilir (41).

### **Enfeksiyon hastalıklarının tedavisi ve korunmasında yapay zeka uygulamaları**

Bakteri, virüs, parazit veya mantar gibi mikroorganizmaların sebep olduğu enfeksiyon hastalıkları için klinikte kullanılan farklı tedavi yaklaşımları vardır. Bakteriler için antibiyotik kullanımı, COVID-19 döneminde de şahit olduğumuz gibi virüslere karşı antiviral kullanımı bu yaklaşımlardan bazıdır. Enfeksiyon hastalıkları tedavisinin yanı sıra halk sağlığının sürdürülebilir olması için aşılama çok önemlidir.

#### **1- Antibiyotik keşfinde yapay zeka uygulamaları**

Bir bakterinin büyümesini ve replikasyonunu inhibe eden veya onu doğrudan öldüren herhangi bir madde bir antibiyotik olarak adlandırılabilir. Antibiyotikler, vücudun içindeki bakteriyel enfeksiyonları hedeflemek için tasarlanmış bir antimikrobiyal ürünlerdir. Penisilin keşfinden bu yana, antibiyotikler modern tıbbın temel taşı haline gelmiştir. (54, 55).

Bir ilaç şirketinin yeni bir ilaç geliştirmesi 12-14 yıl kadar uzun sürebilir ve bu süreç 2,6 milyar dolara kadar mal olabilir. Yapay zeka'nın en büyük avantajlarından biri, ilaç geliştirme için gereken süreyi kısaltması ve dolayısıyla ilaç geliştirmeyle ilişkili maliyetleri azaltmasıdır.

Bir araştırmaya göre, geniş spektrumlu antibiyotik aktivitesine sahip küçük peptitlerden oluşan bir kitaplık oluşturulmuş ve YSA ile entegre edilmiştir. Böylece antibiyotik aktivitesini temsil eden siliko modelleri oluşturulmuştur. Rastgele oluşturulan numuneler incelendiğinde, yapay zeka tarafından tahmin edilen peptitlerin aktivitesinin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, tahmin edilen peptitlerin, çoklu ilaca dirençli olan ve en yaygın olarak kullanılan dört antibiyotiğe eşit veya hatta onlardan daha iyi aktiviteyle sahip olduğu da gösterilmiştir. Hayvan modellerinde test edildiğinde Staphylococcus aureus enfeksiyonlarına karşı da etkili olduğu görülmüştür (55, 26).

IBM de antibiyotiklerin keşfi için yapay zekayı kullanan şirketler arasındadır. IBM tarafından oluşturulan yapay zeka antibiyotikleri sınıflandırarak yeni moleküllerin keşfine olanak sağlıyor. Yaptıkları çalışmalar ile 48 gün gibi az bir sürede 20 farklı molekül tanımlayabilen IBM, aynı zamanda moleküllerin insanlar üzerinde toksisitesinin değerlendirilmesi için yapay zekanın alt dalı olan derin öğrenme yöntemini kullanmıştır. Tüm bu elemeler sonucunda geniş spektrumlu ve insanlar için düşük toksisitede 2 molekül keşfedilmiştir (57).

Başka bir araştırmaya göre, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) onaylı bir ilaç kütüphanesinden alınan 1.760 molekül ve bitki, hayvan ve mikrobiyal kaynaklardan izole edilen 800 doğal ürün önceden oluşturulan yapay zeka modeline tanıtılmış ve sınıflandırılmıştır. E. coli üzerinde bakteriyostatik ve bakterisid etkisi araştırılan 2560 molekül yapay zekaya tanıtıldıktan sonra etkili olabileceği düşünülen 2335 belirlenmiştir.

Bu 2235 bileşik tekrardan yeni bir algoritmaya tanıtılmış ve E. coli'ye karşı büyüme inhibisyonu gösteren 51 molekülü belirlenmiştir. Bu 51 molekül arasından da toksisite, faz çalışmalarının başarılı olma durumu gibi hayati parametreler değerlendirilerek en iyi bileşiğin, C-Jun N-terminal kinaz inhibitörü SU3327 (Halisin) olduğu bulunmuştur. Yapılan klinik çalışmalar sonucu gerçekten de halisin bileşiğinin güçlü bir bakterisid olduğu görülmüştür (55).

### **Antibiyotik direncinin önlenmesinde yapay zeka**

Antibiyotiklerin geniş klinik uygulaması ilaç direncinin ortaya çıkmasına ve süper dirençli bakteri tehdidinin de konuşulmasına yol açmıştır. Antibiyotiğe dirençli bakterilerin hızla ortaya çıkması nedeniyle yeni antibiyotiklerin keşfedilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, yeni antibiyotiklerin keşfi ve geliştirilmesi için derhal harekete geçilmez ise Antimikrobiyal direnç (AMR) kaynaklı ölümlerin 2050 yılına kadar yılda 10 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir. AMR'nin engellenmesi için ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) antibiyotik kullanımının türlerini, miktarlarını ve sıklıklarını şart koşan hükümler sunmuştur. 2006 yılında, Avrupa Birli-

ği, hayvan yemine antibiyotik eklenmesi konusunda yasaklar oluşturmaya başlamıştır. Çin'de ise, antimikrobiyal direnç hakkındaki Ulusal Eylem Planı 2016 yılında yayınlanmıştır. Ancak bu yaptırımlar yetersiz kalmakta ve durum daha da kötüleşmektedir. Antibiyotik keşfine yeni yaklaşımlar, yeni antibiyotiklerin tespit edilme oranını arttırmak ve aynı zamanda ilaç keşfinin maliyetini azaltmak için gereklidir.

Son yıllarda, yapay zeka AMR kontrolünde önemli bir performans göstermiştir. Örneğin, AMR'Yİ incelemek için sıralama tabanlı yapay zeka uygulamaları kullanılmıştır. Ek olarak, klinik karar destek sistemleri oluşturmak için klinik verilerin toplanması, akılcı antibiyotik kullanımını arttırmak için doktorların AMR'deki eğilimleri izlemelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, yapay zeka uygulamaları yeni antibiyotikler ve sinerjik ilaç kombinasyonu araştırmaları tasarlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (58).

Antibiyotik direncinin önlenmesinde yardımcı olabilecek bir diğer sistem ise 'MYCIN' adında yapay zeka kullanan bir çıkarım motorudur. Bakteriyemi ve menenjit gibi ciddi enfeksiyonlara neden olan bakterileri tanımlamak ve hastanın vücut ağırlığına göre ayarlanmış dozajla antibiyotik önermek için kullanılmaktadır. 1970'lerin başlarında üretilen bu program etik tartışmalardan dolayı klinik olarak hiç kullanılmamış olsa da programın basit Evet/Hayır soruları ile klinikte güçlü bir karar destek mekanizması olabileceği aşikardır (59).

FluAI, Yesil Science tarafından Türkiye'de yapılan ve antibiyotik direncinin engellenmesine yardımcı olabilecek bir mobil uygulamadır. Boğaz ağrısı ve ateş gibi semptomları olan kullanıcılar soruları cevapladıktan sonra boğazlarının fotoğrafını çekip uygulamaya yüklerler. Verilen fotoğraf ve anamnez yapay zeka tarafından değerlendirilerek kullanıcıya enfeksiyonun yüzde üzerinden bakteriyel veya viral olduğunu söyler (60). Böylece viral enfeksiyon durumunda antibiyotik kullanımından kaçınılmış olur.

MIT'in Bilgisayar Bilimi ve Yapay Zeka Laboratuvarı'ndaki (CSAIL) araştırmacılar, bir hastanın idrar yolu enfeksiyonunun birinci veya ikinci basamak antibiyotiklerle tedavi edilme olasılığını tahmin eden bir öneri algoritması geliştirdiklerini duyurdular. 10.000'den fazla hastadan alınan verilerle eğitilen modellerinin, klinisyenlerin ikinci basamak antibiyotik kullanımını yüzde 67 oranında azaltmasına izin vereceğini iddia ediyor (61). Bu da farklı antibiyotik gruplarına direncin önüne geçilmesi için umut vadeden bir çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır.

### **1- Antiviral keşfinde yapay zeka uygulamaları**

Antiviraller, virüs kaynaklı hastalıkların semptomlarını ve bulaşıcılığını mümkün olduğunca indirgemeye çalışan ve tedavi amacı ile kullanılan bileşiklerdir. Ancak şu anda, tüm

viral enfeksiyonlar için antiviral tedavi bulunmamaktadır. Antiviral tedaviler diğer antimikrobiyal tedavilere göre geride kalmıştır. Bunun sebepleri arasında virüslerin saptanma zorlukları, virüslerin üzerinde çalışma yapılmasının zorlukları ve bazı antivirallerin insan hücrelerine de oldukça zarar vermesi sayılabilir (62, 63).

Bazı bilim insanları antivirallerin geliştirilmesinde yapay zekadan yararlanmaktadır. Yapay zeka, virüsü ve yeteneklerini, virülansı ve genomu incelemek için etkili bir araç olarak yardımcı olabilir. Ayrıca virüsün protein yapısını ve diğer kimyasal bileşiklerle etkileşimini tahmin etmeye de yardımcı olabilir (22).

Yapılan bir çalışmada doğal ürünlerden ve kimyasal yöntemlerle elde edilen ve DrugBank veritabanında kayıtlı 1794 bileşik yapay zeka ile taranarak Koronavirüs üzerinde etkileri araştırılmıştır. Hedef proteininin kimyasal sekanslarına ve aminoasit sekanslarına dayalı bağlanma afinitelerini doğru bir şekilde tahmin eden yapay zeka, insan immün yetmezlik virüsünü (HIV) tedavi etmek ve önlemek için kullanılan Atazanavir'in, inhibe edici bir etki gösteren en iyi kimyasal bileşik olduğunu göstermiştir. Atazanavir'in ardından etkili bileşikler arasında Şekil 3'te görüldüğü gibi remdesivir, efavirenz, ritonavir ve dolutegravir gelmektedir (64).

Singapur Ulusal Üniversitesi'ndeki bir ekip IDentif.AI'yi kullanarak, yapay zeka algoritmaları kullanarak COVID-19 tedavisinde kullanılacak antiviral kombinasyonlarını belirlemişlerdir. Kombinasyonlarda, lopinavir/ritonavir kombinasyonunun COVID-19'a karşı nispeten etkisiz olduğu bulunurken, tek başına remdesivirin yüksek derecede etkili olmadığı bulunmuştur, lopinavir/ritonavir ve remdesivirin kombinasyon halinde alınmasının virüsün replikasyonunu inhibe ettiği tespit edilmiştir. Deneyler de bu bulguları desteklemiştir (65).

## 2- Aşıların geliştirilmesinde yapay zeka uygulamaları

Enfeksiyon hastalıklarına karşı bağışıklık sistemimizi uyarak koruma oluşturan biyolojik ürünler aşı olarak adlandırılır. Canlı atenüe aşilar, inaktif aşilar, mRNA ve DNA içeren aşilar ve vektör aşiları olarak sınıflandırılmaktadır. Aşilar, halk sağlığı için çok önemli bir konumda yer almaktadır ancak üretim aşaması oldukça uzundur. Faz1, Faz2, Faz3 adlı deneme aşamalarından geçen aşiların piyasaya sürülmesi bir hayli zaman almaktadır ayrıca oldukça maliyetli bir süreçtir (66, 67).

Yapay zeka, aşiların keşfi ve üretimi konusunda maliyeti ve piyasaya çıkış süresini kısaltan ayrıca etkinliğinin kontrolünde kullanılan bir teknoloji olarak ilaç sektöründe kullanılacak bir teknolojidir.

Önceden sadece teorik olarak söz ettiğimiz ancak pratik olarak hiç kullanmadığımız aşı türlerinden olan mRNA aşısı

COVID-19 döneminde hayatımıza girmiştir. İlk dijital biyoteknolojik şirketi olan Moderna, koronavirüs için mRNA aşısı üreten şirketlerden bir tanesidir ve aşı üretim aşamasında yapay zekayı kullanmıştır. Aday moleküller ile hedeflenen protein arasındaki etkileşimi saptamak, bu aday moleküllerin hangisinin daha başarılı olduğunu gözlemlemek, faz aşamalarında hasta ve gönüllülerin doğru seçilmesini sağlamak gibi görevlerin bir kısmında yapay zekadan yardım alınmış ve kısa zamanda başarılı bir aşı üretim aşaması gerçekleştirilmiştir. Bir diğer biyoteknolojik şirketi olan ve diğer mRNA aşısını üreten BioNTech ise yeni ürünler geliştirmek için InstaDeep desteği ile Yapay Zekâ İnovasyon Laboratuvarı oluşturacağını açıklamıştır (68).

Yapay zekanın aşı alanında kullanıldığı bir başka alan ise aşı etkinliğinin değerlendirilmesidir. Aşı analizi, bir aşının etkinliğinin, daha sonraki aşı geliştirme ve dağıtımına rehberlik edebilecek olan, ilgilenilen patojenin genetiğine bağlı olarak değişip değişmediğini ve nasıl değiştiğini inceler. Hem HIV, sıtma gibi enfeksiyon hastalıklarında aşı olmadığı için yapılan aşı denemelerinde hem de dang virüsünün sebep olduğu dang hastalığı gibi aşısı olan hastalıklarda makine öğrenmesi kullanılmaktadır. Böylece aşiların etkili/etkisiz değerlendirmeleri hızlı bir şekilde yapılabilmektedir (69).

## Enfeksiyon hastalıklarının kontrolünde yapay zeka uygulamaları

Enfeksiyon hastalıklarının önüne geçilebilmesi için bu hastalıkların kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu hastalıkların kontrolünde dezenfeksiyondan bulaşma yoluna yönelik izolasyonuna kadar her aşama halk sağlığının korunması açısından oldukça önemlidir (71).

Yapay zeka, ülkeler arası enfeksiyon hastalıklarının yayılmasını engellemek ve kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılabilir. Singapur Havaalanı terminallerinde, yüksek sıcaklığa sahip bireyleri tanımlamak için sıcaklık ölçümleri bir termal kamera kullanılarak sistematik olarak gerçekleştirilir. Bu minimal kontrol, enfeksiyonların bulaşmasını engellemek için atılan birkaç adımın bir parçasıdır. Son yıllarda bu sistemlere yapay zeka teknolojisi entegre edilerek enfekte kişilerin hayati bulgularının detaylıca sınıflandırılması sağlanmıştır. Kişilerin solunum hızı, kalp hızı ve yüz sıcaklığı, yapay sinir ağları ile analiz edilerek influenza riski daha yüksek olan bireyler başarılı bir şekilde izole edilmiştir. Ayrıca FluPhone adlı bir mobil uygulama, 2011 yılında İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi tarafından gribin yayılmasını düzenli izlemek için tanıtılmıştır. Böylece salgının kontrol altına alınması daha kolaylaşmıştır. Benzer şekilde, 2014-2016 arasında mobil telefon verileri ve uygulamaları Afrika'da Ebola salgınıyla mücadele etmek ve kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır (73).



Enfeksiyon kontrolü deyince akla gelen tanımlardan bir tanesi de hastane enfeksiyonlarıdır. Kısaca hastaneye yattıktan en geç 72 saat sonra ortaya çıkan yatan hastalarda ise çıkıştan 10 gün sonraya kadar görülebilen hastalıklar olarak tanımlanır. Hastane enfeksiyonlarının kontrolünü sağlamak amacıyla ile 1950’li yıllardan itibaren hastanelerde ‘Enfeksiyon Kontrol Komiteleri’ kurulmaya başlanmıştır. Ancak sadece manuel olarak yapılan gözetim büyük bir emek ister ve maliyetlidir. Yapay zeka ve makine öğrenimi, hastane enfeksiyonlarında risk faktörlerini anlamayı, bulaş yollarının tanımlanmasını, enfeksiyonun daha kolay kontrol edilmesini sağlayabilmektedir (72, 74).

Vienna Genel Hastanesi’nde, hastane enfeksiyonlarının izlenmesine yönelik ‘Moni’ adlı bir sistem kullanılmaktadır. Bu sistem; kan dolaşımı, pnömöni, idrar yolu enfeksiyonları ve merkezi venöz kateterle ilişkili enfeksiyonları tanımlamak ve izlemek için tıbbi bilgi paketleri içerir. “Normal”, “artmış”, “azalmış” veya benzerleri gibi dahil edilen tüm tıbbi kavramlar yapay zeka tarafından hasta verilerinin yorumlanması sonucu ortaya çıkarılır. Yapay zeka, hastane enfeksiyonlarının yükünü ölçmek ve izlemek, salgınları tespit etmek, risk faktörlerini belirlemek, kontrol müdahalelerini planlamak, uygulamak ve değerlendirmek, iyileştirme alanlarını belirlemek ve raporlama görevlerini yerine getirmek için uygun bir teknolojidir (73, 74).

Enfeksiyon hastalıklarının kontrolünde salgın ile ilgili değişkenlerin takip edilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Ortaya çıkış bölgesi, kuluçka süresi, bulaş yolu, semptomlar, patojen tarafından tedaviye gösterilen direnç gibi faktörlerin sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar oluşabilecek salgınların ve salgına dair etmenlerin belirlenmesinde yapay zekanın bilim insanlarına yardımcı olabileceğini göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi kullanılarak Ebola gibi yaşamı tehdit eden bir salgının başlayabileceği bölgeler tahmin edilmiştir. Bir diğer çalışma Amerika Birleşik Devlet’lerinde yapılmıştır. Oluşabilecek hemorajik ateş, dang humması ve tüberküloz gibi bulaşıcı hastalıkları tahmin etmek için tasarlanan yapay zeka özellikle tüberküloz konusunda ileriki yıllara ait başarılı tahminler yapmıştır (53). Bulaşıcı hastalıkların pandemilerini tahmin etmek için yapay zekanın kullanılması ilerleyen dönemlerde ülkelerin önceden uyarılması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için bilim insanlarına yardımcı olabilir.

### **COVID-19 salgınının kontrolünde yapay zeka uygulamaları**

COVID-19 gibi yeni bir salgın krizinde en büyük problem patojen hakkında verilerin yetersizliği ve salgın gidişatının tahmin edilememesidir (53). Yapay zeka, virüsün yayılmasını kolayca izleyebilen, yüksek riskli hastaları tanımlayan ve

bu enfeksiyonu gerçek zamanlı olarak kontrol etmede yararlı olan teknolojilerden biri olarak kullanılabilir (75).

‘Bluedot’, Kanada’da geliştirilen yapay zeka ve insan ortaklığı ile çalışan bir platformdur. Platformun amacı yapay zekayı kullanarak bulaşıcı enfeksiyon hastalıklarından tüm insanlığı korumaktır. Öyle ki, yapay zeka teknolojisini kullanarak Çin’in Wuhan şehrinde ortaya çıkan COVID-19 salgınının uyarısını Dünya Sağlık Örgütü’nden 1 ay önce yapabildiği. Platform tarafından ‘olağandışı pnömöni’ olarak adlandırılan bu platform, gelecekte meydana gelebilecek salgınların uyarısı için de büyük önem taşımaktadır (20).

Salgının başladığı ülke olan Çin, enfeksiyonu kontrol altına alabilmek için ilk olarak “Sağlık Barkodu” olarak bilinen bir yapay zeka destekli mobil uygulama geliştirdi. Güney Kore’nin COVID-19 kısa mesaj benzer şekilde işleyiş gösteren Health Barcode; havacılık, demiryolu ve kara ulaşım sistemlerinden, sosyal medyadan, konumdan ve kredi kartı kayıtlarından gelen büyük verilerle COVID-19’un risk yönetimini mümkün kılmaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarını enfekte kişinin ve yakın temas halindeki tüm kişilerin hareketlerini yeniden izleyerek üç seviyeden oluşan bireysel risk değerlendirmesi (düşük, orta ve yüksek) yapar. Yeşil renk, kişinin COVID-19 ile enfekte olmadığını veya maruz kalmadığını, sarı kişinin şehirde yeni olduğunu ve karantina dönemini tamamlamadığını belirtirken, kırmızı renk kişinin COVID-19 nedeniyle karantinaya alınması gerektiğini belirtir. Uygulamaya göre, sarı veya kırmızı barkodlu konut sakinlerinin sırasıyla yedi veya on dört güne kadar evlerine bağlı izolasyon altında olmaları gerekir; yeşil barkodlu kişiler ise işe gidebilir ve özgürce seyahat edebilir. Yapay zeka destekli bu sistem salgının kontrolünü sağlayarak Çin’deki normalleşmeyi kolaylaştırmıştır (73).

Türkiye’de kullanılan ‘Hayat Eve Sığar’ mobil uygulaması da hastaların takibinde yapay zekanın kullanıldığı mobil uygulamalardan birisidir. Çin ve Güney Kore’den örnek alınarak tasarlanan sistemde kişilere ait HES kodları, enfeksiyonlu kişilerin sağlıklı kişiler ile temas halinde olmamasını sağlamaktadır. Böylece bulaş riski en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bölgeler ‘yeşil, sarı, kırmızı’ olarak ayrılmıştır ve GPS verileri üzerinden risk durumları kullanıcılara gösterilmektedir (76).

### **Tartışma**

Yapay zeka kavramı günümüzde sıklıkla kullandığımız ve 1950’li yıllardan beri geliştirilmeye devam eden bir teknolojidir. Özellikle son 10 yıldır hızla bir yükselişe geçmiş bu teknoloji, günümüzde hayatımızın fark ettiğimiz ya da fark etmediğimiz birçok alanında kullanılmaktadır.

Bu sektörler arasında yapay zekanın devrim yaratabileceği bir alan da sağlık sektörüdür.

Özellikle yapay zekanın sağlık sektörüne en fazla yardımcı olabileceği konu karar destek mekanizması olarak aldığı rol olacaktır. Bu çalışma, yapay zeka teknolojinin mikrobiyoloji bilim dalına katkılarını, sağlayabileceği faydaları ve ‘Dünyada hangi örnekler mevcut?’ sorusunun cevabını göstermek amacı derlenmiştir. Mikrobiyoloji laboratuvarlarında, enfeksiyon hastalıklarının tanı ve tedavisinde, içerisinde bulunduğumuz COVID-19 salgını gibi benzer salgın durumlarında hekime, biyoloğa, eczacıya, bilim insanlarına ya da devletlere karar verme aşamasında güçlü bir destek teknolojisi olarak kullanılabilme potansiyeli vardır. Diğer bir yandan yıllardır antibiyotiklerin akılcı olmayan kullanımı tüm Dünya üzerinde uyarı durumuna gelmeye başlamıştır. Öyle ki Dünya Sağlık Örgütü’nün antibiyotik direnci konusunda ciddi bir uyarı yapması beklenmektedir. BBC’de yayımlanan bir belgeselde 10 yıl içinde antibiyotik direncinden ölen insanların sayısı kanserden ölen insanların sayısından fazla olacağı bildirilmiştir. Yapay zeka böylesine önemli bir konuda yeni bir antibiyotiğin bulunması, klinik tarafında en doğru antibiyotiğin kullanılması ya da hastaların antibiyotiklerini akılcı kullanması noktasında destek olabilecektir.

İnsanlığın korktuğu bu teknolojiyi benimsemeye çalışırken asıl sormamız gereken soru, ‘Yapay zeka ile yarışıyor muyuz yoksa anlaşıyor muyuz?’ sorusudur. Yapay zeka teknolojisini anlayabilmek ve hangi alanlarda kullanabileceğimizi bilmek gerekmektedir. Burada en önemli şey etik ve ahlaki değerlerdir. Mikrobiyoloji bilim dalı gibi sağlık ekosisteminin ilgilendiği bir konuya destek olabilecek bir teknoloji olsa da burada unutulmaması gereken durum çağa ayak uydurmaya çalışırken mesleki gereklilikleri tamamen yapay zekanın eline bırakmamaktır. Meslek tanımları değişim ve dönüşüm içerisinde ancak mesleklerin tamamen yok olması meslek etiği olarak istenilen bir durum değildir ve tamamen yapay zekanın eline bırakılması doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bu yüzden insanlığın yapay zeka algoritmalarını çok iyi kontrol etmesi ve bir sonraki adımı çok iyi atması gerekmektedir. Meslek bütünlüğü içerisindeyken yapay zekayı işleyişin düzenlenmesinde ve iyileştirilmesinde köprü olarak kullanmak en iyi yaklaşım olacaktır. Yapay zeka mesleki görevleri yüceltecek, karar mekanizmalarına destek olarak yardımcı bir sistem olarak kullanılabilir olduğunda yani yapay zeka ile anlaşabiliyor olduğumuzda sağlık sektörü zaman, maliyet ve kalite açısından ileriye taşınacaktır.

## Kaynaklar

- Öztemel E. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 2003; s.13-15
- A. G. H. Pirim, “YAPAY ZEKA”, Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, vol. 1, no. 1, pp. 81-93, Jun. 2006, doi:10.19168/jyu.72783
- Büyükgöze S, Dereli E. “Dijital Sağlık Uygulamalarında Yapay Zeka.” VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık, 2019; 07-10.

- Atamer M, Koçak C, Yetişmeyen A, Gürsel A ve Gürsoy A. Mikrobiyoloji. Gürsel, A (Editör). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Teknolojisi Bölümü Ders Kitabı. Ankara; 2007
- Hamet P, Tremblay J. Artificial Intelligence in Medicine. Metabolism Clinical and Experimental, 69, 36-40, doi: 10.1016/j.metabol.2017.01.011.
- Kaplan J. Artificial Intelligence What Everyone Needs To Know. Oxford University Press, 2016, 1-7, doi:10.1177/0170840618792173
- Atav A. İlaçların Diğer İlaçlar İle Etkileşimlerinin Uzman Sistem İle Belirlenmesi (Doktora Tezi) İstanbul Maltepe Üniversitesi; 2020
- Atalay M, Çelik, E. Artificial Intelligence And Machine Learning Applications In Big Data Analysis. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2017, 9.22: 155-172, doi: 10.20875/makusobed.309727
- Bilge U. Tıpta Yapay Zeka ve Uzman Sistemler. Türkiye Bilişim Derneği Kongresi, 2007, 113-118.
- TeknolojiOrg. Makine Öğrenmesi Algoritmaları [Internet]. Turkey: Teknoloji Org; 2020 August [cited 2020 Dec 18]. Available from: <https://teknoloji.org/makine-ogrenmesi-nedir-makine-ogrenmesi-algoritmaları>
- Great Learning. What is Artificial Intelligence? How does AI work, Types and Future of it? [Internet]. My Great Learning; 2022 Jan 19 Available from: <https://www.mygreatlearning.com/blog/what-is-artificial-intelligence/>
- Sevli O, Başer V. G. Covid-19 Salgınına Yönelik Zaman Serisi Verileri ile Prophet Model Kullanarak Makine Öğrenmesi Temelli Vaka Tahminlemesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2020, 19: 827-835.
- Beyaz. Derin Öğrenme (Deep Learning) Nedir? [Internet]. Turkey; Beyaz Net; 2019 Aralık 10. [cited 2020 Dec 18] Available from: [https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin\\_ogrenme\\_deep\\_learning\\_nedir.html](https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin_ogrenme_deep_learning_nedir.html)
- Pesapane F. et al. Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States. Insights into imaging, 2018, 9.5: 745-753.
- Ergezer H, Dikmen M, Özdemir E. Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. PIVOLKA, 2003, 2.6: 14-17.
- Toklu H.Z. Eczacılık Uygulamalarında Akılcı İlaç Kullanımı. Türkiye Klinikleri J Pharmacol-Special Topics 2015;3(1):74-83
- “Role of dispensers in Promoting Rational Drug Use in Promoting Rational Drug Use: WHO Action Programme on Essential Drugs and International Network for the Rational Use of Drugs, Eğitim Programı, Nairobi, 1987.
- Chaturvedi, V.P., Mathur, A.G. ve Anand, A.C. Rational drug use – As common as common sense? Med J Armed Forces India, 2012 Jul; 68(3): 206–208.
- Labovitz, D.L, Shafner, L, Reyes Gil, M., Virmani, D., Hanina, A. Using Artificial Intelligence to Reduce the Risk of Nonadherence in Patients on Anticoagulation Therapy. Stroke, 48(5), 1416–1419
- Bluedot: Outbreak Intelligence Platform. [Internet]. [cited 2020 Dec 18]. Available from: <https://bluedot.global/>
- Özgüven Öztornacı B, Başbakkal Z.D, İlaç Hatalarının Önlenmesinde Yeni Dizayn Edilmiş Karar Destek Sistemi Örneği: Web Tabanlı İlaç Uygulama Ve Doz Hesaplama Programı, Uluslararası Sağlıkta Yapay Zeka Kongresi 2020, Bildiri Kitabı, 34.
- Hardalaç, F., Kutbay, U. İlaç İlaç Etkileşimlerinin Jordan Elman Ağları Kullanılarak Sınıflandırılması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Cilt 29, No 1, 149-154.

23. Pharmaino Science. [Internet] [cited 2020 Dec 18]. Available from: [www.pharmaino.com](http://www.pharmaino.com)
24. Toklu, H.Z., Akıcı, A., Uysal, M.K., Dülger, G.A. Akılcı İlaç Kullanımı Sürecinde Hasta Uyuncuna Hekim ve Eczacının Katkısı. *Türkiye Aile Hekimliği Dergisi*, 2010 14(3):139-145.
25. Uzun M.M, Mayıs 2020, COVID-19 ile Mücadelede Yapay Zekâ Uygulamaları. *Ulusal Sayı:2*, 45-51.
26. MISHRA, Vijay. Artificial intelligence: the beginning of a new era in pharmacy profession. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP)*: Free full text articles from Asian J Pharm, 2018, 12.02. doi: 10.22377/ajp.v12i02.2317
27. Fleming N. How Artificial Intelligence Is Changing Drug Discovery, *Nature*, 2018, 557(7707), 55-57. doi: 10.1038/d41586-018-05267-x
28. IBM. (2020). IBM Watson Health. [Internet]. [cited 2021 Jan. 2]. Available from: <https://www.ibm.com/watsonhealth/learn/artificial-intelligence-medicine>
29. P. K. Donepudi, AI and Machine Learning in Retail Pharmacy: Systematic Review of Related Literature, *ABC Journal of Advanced Research*, 2018, Volume 7, No 2. doi: 10.18034/abcjar.v7i2.514
30. HATI International: Smart Hospitals. [Internet]. [cited 2021 Jan. 2]. Available from: <https://www.sdglobaltech.com/> (2 Ocak 2021 tarihinde erişildi.)
31. Sevice-Roboter: Was macht Charly in der Apotheke. [Internet]. [cited 2021 Jan. 2]. Available from: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/was-macht-charly-in-der-apotheke/>
32. Del Rio-Bermudez C, Medrano I.H, Yebes L. et al. Towards A Symbiotic Relationship Between Big Data, Artificial Intelligence, and Hospital Pharmacy. *J of Pharm Policy and Pract*, 2020, 13, 75. doi: 10.1186/s40545-020-00276-6
33. This Robot Pharmacist Prepares Chemotherapy Drugs for Cancer Patients. [Internet]. [cited 2021 Jan. 2]. Available from: <https://www.roboticgizmos.com/robot-pharmacists/>
34. UAE's First Robot Pharmacy. [Internet]. [cited 2021 Jan. 2]. Available from: <https://zeenews.india.com/health/uaes-first-robot-pharmacy-this-is-how-robotics-will-change-healthcare-in-near-future-1967085>
35. Summerfield, M. R, Seagull F. J, Vaidya, N, Xiao, Y. Use of pharmacy delivery robots in intensive care units. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 2011, Volume 68, 77–83. doi: 10.2146/ajhp100012
36. Benlioğlu K, Özyılmaz Ü. (2017). Mikrobiyoloji. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu.
37. Baysal B. (2020). Mikrobiyolojiye Giriş-1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Ders Notu.
38. Kaynak Onurdağ F. (2020). Viroloji. Trakya Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Ders Notu.
39. Mediana. [Internet]. [cited 2021 Feb. 18]. Available from: [www.mediana.com](http://www.mediana.com)
40. Zieliński B, et al. Deep learning approach to bacterial colony classification. *PloS one*, 2017, 12.9: e0184554. doi: 10.1371/journal.pone.0184554
41. Smith K.P, et al. Applications of artificial intelligence in clinical microbiology diagnostic testing. *Clinical Microbiology Newsletter*, 2020, 42.8: 61-70. doi: 10.1016/j.clinmicnews.2020.03.006
42. İadanza E, et al. Gut microbiota and artificial intelligence approaches: A scoping review. *Health and Technology*, 2020, 1-16. doi:10.1007/s12553-020-00486-7
43. <https://www.enbiosis.com/tr/> (5 Nisan 2020'de erişildi)
44. Abusharekh E. K, et al. Diagnosis of hepatitis virus using artificial neural network. 2018.
45. Hayati M, Biller P, Colijn C. Predicting the short-term success of human influenza virus variants with machine learning. *Proceedings of the Royal Society B*, 2020, 287.1924: 20200319. doi:10.1098/rspb.2020.0319
46. WHO. Situation by Region, Country, Territory & Area. [Internet]. [cited 2021 Apr. 10]. Available from: <https://covid19.who.int/table>
47. WHO. Covid-19. [Internet]. [cited 2021 Apr. 10]. Available from: <https://covid19.who.int/table>
48. Bhattacharya S, et al. Deep learning and medical image processing for coronavirus (COVID-19) pandemic: A survey. *Sustainable cities and society*, 2021, 65: 102589. doi: 10.1016/j.scs.2020.102589
49. Wang S, et al. A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19). *European Radiology*, 2021, 1-9. doi: 10.1101/2020.02.14.20023028;
50. Jin C. et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis. *Nature communications*, 2020, 11.1: 1-14. doi: 10.1038/s41467-020-18685-1
51. Massachusetts Institute of Technology. [Internet]. [cited 2021 Apr. 10]. <https://news.mit.edu/2020/covid-19-cough-cellphone-detection-1029>
52. Zieliński B, et al. Deep learning approach to describe and classify fungi microscopic images. *PloS one*, 2020, 15.6: e0234806. doi:10.1371/journal.pone.0234806
53. Agrebi S, Larbi A. Use of artificial intelligence in infectious diseases. In: *Artificial intelligence in precision health*. Academic Press, 2020. p. 415-438. doi: 10.1016/B978-0-12-817133-2.00018-5
54. Microbiology Society. [Internet]. [cited 2021 Apr. 12]. Available from: <https://microbiologysociety.org/members-outreach-resources/outreach-resources/antibiotics-uneearthed/antibiotics-and-antibiotic-resistance/what-are-antibiotics-and-how-do-they-work.html>
55. Stoke J. M, et al. A deep learning approach to antibiotic discovery. *Cell*, 2020, 180.4: 688-702. e13. doi:10.1016/j.cell.2020.01.021
56. IBM. AI Finds New Peptides <https://www.ibm.com/blogs/research/2021/03/ai-finds-new-peptides/> (13 Nisan 2021 tarihinde erişildi)
57. Lv J, Deng S, Zhang Le. A review of artificial intelligence applications for antimicrobial resistance. *Biosafety and Health*, 2020, 3.1: 22-31. doi:10.1016/j.bsheal.2020.08.003
58. Yu, Victor L. "Antimicrobial Selection by a Computer". *JAMA*. 1979, 242 (12): 1279–82. doi:10.1001/jama.1979.03300120033020
59. Pesapane, F, Volonté, C, Codari, M, and Sardaneli, F. Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States. *Insights into imaging*, 2018, 9(5), 745-753. doi:10.1007/s13244-018-0645-y
60. Labovitz, D.L., Shafner, L., Reyes Gil, M., Virmani, D., Hanina, A. Using Artificial Intelligence to Reduce the Risk of Nonadherence in Patients on Anticoagulation Therapy. *Stroke*, 2017, 48(5), 1416–1419. doi:10.1161/STROKEAHA.116.016281
61. Kaptan F, Antivirallerin Doğru Kullanımı. XVIII. Türk Klinik Mikrobiyoloji ve İnfeksiyon Hastalıkları Kongresi, 22-26 Mart 2017, İzmir.
62. Dar B. P. W, Öksüz Z, Algül Ö. Antiviral ilaçlardaki gelişmeler ve değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 9.2: 160-170. doi: 10.31020/mutfd.555760
63. Beck B. R, et al. Predicting commercially available antiviral drugs that may act on the novel coronavirus (SARS-CoV-2) th-

- rough a drug-target interaction deep learning model. Computational and structural biotechnology journal, 2020, 18: 784-790. doi: 10.1016/j.csbj.2020.03.025
64. Blasak A, et al. IDentif. AI: Artificial Intelligence Pinpoints Remdesivir in Combination with Ritonavir and Lopinavir as an Optimal Regimen Against Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2). medRxiv, 2020. doi:10.1101/2020.05.04.20088104
65. T.C Sağlık Bakanlığı. Covid-19 Aşısı Bilgilendirme Platformu [Internet]. [cited 2021 Apr. 15]. Available from: <https://covid19asi.saglik.gov.tr/>
66. Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Platformu. [Internet]. [cited 2021 Apr. 15] Available from: <http://sdplatform.com/Dergi/777/Asi-karsitligi.aspx>, 29
67. Pharmaino Science. Mrna Aşısına Yapay Zeka Katkısı. [Internet]. [cited 2021 Apr. 15] Available from: <https://pharmaino.com/modernanin-basarisi-mrna-asisina-yapay-zeka-katkisi/>
68. Dorıgatti I, et al. Refined efficacy estimates of the Sanofi Pasteur dengue vaccine CYD-TDV using machine learning. Nature communications, 2018, 9.1: 1-9. Doi: 10.1038/s41467-018-06006-6
69. Adlassnig K. P, Blacky A, Koller W. Artificial-intelligence-based hospital-acquired infection control. Stud Health Technol Inform, 2009, 149: 103-110. doi: 10.3233/978-1-60750-050-6-103
70. Milli Eğitim Bakanlığı Hasta ve Yaşlı Hizmetleri. Enfeksiyon Kontrolü. 2016. [Internet]. [cited 2021 Apr. 15] Available from: [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller/Enfeksiyon%20Kontrol%C3%BC.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Enfeksiyon%20Kontrol%C3%BC.pdf)
71. Buke Ç. Enfeksiyon Kontrol Programları Nasıl Oluşturulmalı? Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Erişim: [https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2012/02/1282011143926-15Mart2008\\_C\\_Buke.pdf](https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2012/02/1282011143926-15Mart2008_C_Buke.pdf) (15 Nisan 2021 tarihinde erişildi)
72. Lin L, Hou Z. Combat COVID-19 with artificial intelligence and big data. Journal of travel medicine, 2020, 27.5: taaa080. doi.org:10.1093/jtm/taaa080
73. Scardoni A, et al. Artificial intelligence-based tools to control healthcare associated infections: A systematic review of the literature. Journal of infection and public health, 2020. doi: 10.1016/j.jiph.2020.06.006
74. Vaishya R, et al. Artificial Intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic. Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews, 2020, 14.4: 337-339. doi.org:10.1016/j.dsx.2020.04.012
75. Hayat Eve Sığar. [Internet]. [cited 2021 Apr. 20] Available from: <https://hayatevesigar.saglik.gov.tr/> (20 Nisan 2021 tarihinde erişildi)
76. "Microbiology". Available from: Nature.com. Nature Portfolio (of Springer Nature)
77. Chung, King-thom; Liu, Jong-kang: Pioneers in Microbiology: The Human Side of Science. (World Scientific Publishing, 2017, ISBN 978-9813202948)