



Artificial Intelligence and Automation in Medical Laboratories

Emre Tuncer¹, Rukiye Aslan^{2*}

¹Sivas Cumhuriyet University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, Medical Laboratory Techniques Program, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Microbiology, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Review Article

History

Received: 11/05/2025

Accepted: 11/07/2025

ABSTRACT

Artificial intelligence is transforming diagnostic processes in modern laboratories by offering significant advantages in terms of speed, accuracy, and efficiency. This review comprehensively explores the integration of artificial intelligence techniques and automation systems into laboratory applications, as well as the use of AI approaches such as machine learning and deep learning in medical imaging, diagnostics, decision support systems, drug development, genomic analysis, and infectious disease surveillance. Furthermore, the ethical, legal, and data security concerns associated with artificial intelligence are examined. The conscious and responsible implementation of AI and automation enhances the quality of laboratory services and contributes to making healthcare faster, more accurate, and more accessible. This study outlines the current state of artificial intelligence and automation integration in medical laboratories, addressing technical and ethical considerations, and offering recommendations for healthcare transformation.

Keywords: Artificial Intelligence, automation systems, medical laboratories, drug development, digital transformation in health

Tıbbi Laboratuvarlarda Yapay Zekâ ve Otomasyon

Öz

Yapay zekâ, modern laboratuvarlarda tanı süreçlerini dönüştürerek hız, doğruluk ve verimlilik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu derlemede laboratuvar uygulamalarında yapay zekâ teknikleri ile otomasyon sistemlerinin entegrasyonu, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zekâ yaklaşımlarının; tıbbi görüntüleme, tanı, destek sistemleri, ilaç geliştirme, genomik analiz ve bulaşıcı hastalıkların izlenmesi süreçlerindeki uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Bunun yanında, yapay zekânın etik, hukuki ve veri güvenliği ile ilgili doğrudan riskler irdelenmektedir. Yapay zekâ ve otomasyonun bilinçli ve sorumlu bir şekilde kullanılması, laboratuvar hizmetlerinin niteliğini artırmakta, sağlık hizmetlerini daha hızlı, doğru ve erişilebilir hale getirmektedir. Bu çalışma, tıbbi laboratuvarlarda yapay zekâ ve otomasyon entegrasyonunun mevcut durumunu teknik ve etik yönlerle panoramik olarak ele alarak, sağlık hizmetlerinde dönüşüme öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, otomasyon sistemleri, tıbbi laboratuvarlar, ilaç geliştirme, sağlıkta dijital dönüşüm

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

^a tuncere332@gmail.com

0009 0002 0290 5412

^{*,b} raslan@cumhuriyet.edu.tr

0000-0001-5843-626X

Giriş

Günümüz laboratuvarlarında hız, doğruluk ve verimlilik her zamankinden daha fazla önem taşımaktadır. Geleneksel yöntemlerle yürütülen analiz ve tanı süreçleri, zaman alıcı ve insan hatasına açık olabilirken, yapay zekâ ve otomasyon teknolojileri bu süreçleri daha hızlı, güvenilir ve etkin hale getirmektedir. Otomatik analiz sistemleri sayesinde laboratuvarlarda numune işleme, veri analizi ve sonuç değerlendirme süreçleri hızlanırken, yapay zekâ destekli tanı algoritmaları, hastalıkların teşhisinde yüksek doğruluk sunarak, sağlık çalışanlarının karar alma süreçlerini desteklemektedir. Bu teknolojiler hem tanı süreçlerini optimize etmekte hem de sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Bu derlemede, laboratuvarlarda yapay zekâ ve otomasyonun nasıl kullanıldığı, otomatik analiz sistemlerinin çalışma prensipleri ve yapay zekâ destekli tanı algoritmalarının sağlık sektörüne sunduğu yenilikler detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

Endüstri 4.0 ve Dijital Sağlık

Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren "Dijital Sağlık" kavramı, sağlık hizmetlerini daha verimli ve erişilebilir hale getirmeyi amaçlayan bir dönüşüm sürecini başlatmıştır. Bu süreçte, sağlık hizmetlerinin kalitesini artıran teknolojiler, yalnızca tedavi değil aynı zamanda hastalığı önleme, izleme ve hastalık yönetimi gibi alanlarda da önemli katkılar sunmaktadır. Sağlık 4.0 çağında, sağlık verilerinin dijitalleşmesi ve analiziyle birlikte karar destek mekanizmalarının yaygınlaşması, teşhis süreçlerinde hız ve doğruluk düzeyini artırmaktadır. Bu dönüşümün temel taşlarından biri olan yapay zekâ, sağlık sektöründe veri incelenmesi, tanı koyma, tedavi planlama ve laboratuvar çalışmaları gibi pek çok alanda verimli bir şekilde kullanılmaktadır (1).

Yapay Zekâ

Yapay zekâ, makinelerin insan benzeri bilişsel işlevleri yerine getirmesini sağlayan bir teknoloji alanıdır. Makinelerin "akıllı" olarak nitelendirilebilecek yeteneklere sahip olması için insan beyninin öğrenme, düşünme, problem çözme ve karar alma süreçlerini örnek alarak geliştirilmesini amaçlamaktadır. Yapay zekânın tarihsel gelişimi, 17. yüzyıla kadar uzanmakta olup, modern anlamda önem kazanması ise İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında gerçekleşmiştir. Günümüzde yapay zekâ; sağlık, eğitim, finans ve otomotiv gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle sağlık sektöründe, hastalıkların teşhisi, tedavi planlaması ve hasta takibi gibi süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlık alanında yapay zekâdan yararlanmak, hizmetlerin daha kaliteli sunulmasına ve maliyetlerin daha etkin yönetilmesine olanak sağlamaktadır (2).

Yapay Zekâ Teknikleri

Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bilgisayarların doğrudan kodlamaya ihtiyaç duymadan, veriler aracılığıyla öğrenme ve çıkarımlar yapma yeteneği kazandığı bir yapay zekâ

teknikidir. Bu öğrenme sürecinde algoritmalar, geniş veri kümelerini analiz ederek kalıpları saptamaktadır ve bu kalıplar üzerinden gelecekteki veriler hakkında öngörülerde bulunmaktadır. Makine öğrenmesi, genellikle yapılandırılmış verilerle çalışmaktadır ve daha basit modeller kullanmaktadır. Laboratuvarlarda genellikle veri analizi, örüntü tanıma ve tahminleme alanlarında kullanılmaktadır. Laboratuvarlarda hastalıkların erken teşhisi için laboratuvar verilerinin analizi yapılırken, bu veriler üzerinden algoritmalar eğitilmekte ve gelecekteki hastalıkların tespitine yönelik tahminler yapılmaktadır. Ayrıca, kan testleri veya genetik analizler gibi farklı biyolojik veriler makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak hızla işlenebilmekte ve klinik karar destek sistemlerinde kullanılabilir (3).

Derin Öğrenme

Derin öğrenme, çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak daha karmaşık ve soyut özellikleri öğrenebilen bir makine öğrenmesi tekniğidir. Derin öğrenme, büyük miktarda veriyi işleyerek, özellikle ses ve görüntü tanıma gibi karmaşık görevlerde yüksek başarı göstermektedir. Derin öğrenme, daha karmaşık ve büyük veri setlerini işleyebilen bir teknoloji olarak laboratuvarlarda daha ileri düzeydeki analizler için kullanılmaktadır. Derin öğrenme, özellikle görüntü işleme, biyomikroskopik görüntüler ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme taramaları gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Laboratuvarlarda, mikroskop altındaki hücre analizlerinde veya tıbbi görüntülerin değerlendirilmesinde derin öğrenme algoritmaları, verinin yüksek doğrulukla analiz edilmesini sağlamaktadır (3).

Tıbbi Tanı ve Yapay Zekâ

Yapay zekâ modellerinin eğitiminde, hastaların tıbbi geçmişi, genetik verileri, biyobelirteçler, görüntüleme verileri (X-ray, MR, vb.), laboratuvar sonuçları ve klinik notlar gibi veriler kullanılmaktadır. Eğitim süreci genellikle büyük veri setleri üzerinden deneme yanılma yoluyla gerçekleşmektedir (4). Yapay zekâ, laboratuvarlarda otomasyonun ötesinde çeşitli uygulamalara sahiptir. Bunlar arasında; sapmaları ve anormallikleri sürekli olarak izleyerek hata tespiti yapmak, büyük veri kümelerini ve klinik kılavuzları analiz ederek sonuç yorumlamak, test değerlerini tahmin ederek ve gereksiz testleri belirleyerek laboratuvar testlerinin kullanımını kolaylaştırmak gibi yetenekler yer almaktadır. Ayrıca yapay zekâ, laboratuvar bilgi sistemlerinin verimliliğini ve işlevselliğini artırmakta ve geleneksel yöntemlerin kaçırabileceği örüntüleri ve biyolojik belirteçleri tanımlayarak, genomik ve görüntü analizinde önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zekâ destekli tanı algoritmaları, çeşitli disiplinlerdeki hastalıkların tanısında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Patoloji alanında kullanılan yapay zekâ algoritmaları, kanser gibi hastalıkların varlığına işaret edebilecek mikroskopik düzeydeki anormallikleri saptamak amacıyla histopatolojik lamalar gibi tıbbi görüntüleri incelemektedir. Yapay zekâ araçları, patologlar için bir kalite kontrol mekanizması olarak işlev görerek dijitalleştirilmiş doku

slaytlarında kaçırılmış kanser vakalarını belirlemeye yardımcı olabilmektedir. Radyoloji alanında, akciğer kanseri, pnömoni ve diyabetik retinopati gibi hastalıkların belirtilerini tespit etmek için radyolojik görüntüleri (röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT), MR) analiz edebilme yeteneğine sahiptir. Yine mikrobiyoloji alanında yapay zekâ destekli görüntü analizi, mikobakteri tespiti ve parazit incelemeleri gibi bulaşıcı hastalık testleri için giderek daha önemli hale gelmektedir. Genomikte ise belirli durumlar veya hastalıklarla ilgili genetik varyasyonları ve örüntüleri belirlemek için büyük miktarda genomik veriyi analiz edebilmektedir (5).

Yapay Zekâ ve İlaç Geliştirme Süreçleri

İlaç geliştirme süreçleri ortalama 10 ila 15 yıl gibi uzun bir zaman dilimini kapsamakta ve yüksek maliyetlerle, milyonlar harcamayı gerektirmektedir. Yapay zekâ uygulamaları ise bu süreyi ve harcamaları kayda değer ölçüde kısaltma imkânı sunmaktadır. Yapay zekâ destekli ilaç keşfi ve geliştirilmesinde öncü birçok yazılım ve kurum bulunmaktadır. Bu yazılımların algoritmaları, yeni ilaç adaylarını daha hızlı bir şekilde tasarlamakta ve optimize etmek üzere kurgulamaktadır. Geliştirilen ilaçlar, geleneksel yöntemlerle geliştirilen benzer ilaçlara kıyasla yaklaşık 4-5 yıl daha kısa sürede klinik aşamaya ulaşmaktadır (6).

Veri analizi ve modelleme ile yapay zekâ, büyük veri setlerini analiz ederek biyolojik süreçlerin ve hastalıkların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede, potansiyel ilaç hedefleri ve biyobelirteçler daha hızlı bir şekilde belirlenmektedir. Moleküler tasarım ve optimizasyon basamağı ile farmasötik ajanların terapötik potansiyelini maksimize ederken, advers reaksiyonları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Yapay zekânın ilaç geliştirme süreçlerine entegrasyonu hem zaman hem de maliyet açısından önemli avantajlar sunmakta ve bu alandaki inovasyonları hızlandırmaktadır (6).

Yapay zekâ, antibiyotik geliştirme sürecinde devrim niteliğinde rol oynamaktadır. Geleneksel antibiyotik keşfi, uzun ve maliyetli bir süreç olup, yeni antibiyotiklerin etkinliği ve güvenliği üzerinde birçok test yapılması gerekmektedir. Yapay zekâ, bu süreci hızlandırmak için büyük veri analizi, moleküler modelleme ve algoritmalar kullanarak, antibiyotiklerin daha hızlı bir şekilde tasarlanmasını sağlamaktadır (7). Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, derin öğrenme kullanılarak *Escherichia coli* bakterisine karşı etkili olan yeni bir antibiyotik keşfedilmiştir. Araştırmacılar, kimyasal bileşiklerin antibakteriyel aktivitelerini tahmin edebilen bir yapay zekâ modeli eğitmişlerdir. Bu model, geniş bir kimyasal kütüphaneyi tarayarak, geleneksel antibiyotiklerden farklı bir yapıya sahip olan ve güçlü antibakteriyel aktivite gösteren halicin isimli antibiyotiği keşfetmişlerdir (7). Stanford Üniversitesi Tıp Fakültesi ile McMaster Üniversitesi'nin ortaklaşa yürüttüğü farklı bir araştırmada, "SyntheMol" olarak isimlendirilen benzersiz bir yapay zekâ modeli ile antibakteriyel dirençle ilişkili ölümlerden sorumlu olan ve ciddi bir tehdit olarak kabul edilen

Acinetobacter baumannii gibi patojenlerin dirençli suşlarının yok edilmesi hedeflenmiştir. SyntheMol'un öngördüğü moleküler düzenlemelerin pratik geçerliliğini kanıtlamak için, simülasyon tabanlı tahminleriyle fiziksel laboratuvarla yaptıkları testleri paralel bir şekilde yürütmüşlerdir. Bu uyumlu süreç, SyntheMol'un teorik çıktılarının deneysel bulgularla örtüşmesini sağlamıştır. Dokuz saatten kısa bir sürede, model yaklaşık 25,000 olası antibiyotik bileşiğini ve bunlara ait üretim reçetelerini oluşturmuştur. Bu bileşikler, bakterilerin hızla direnç geliştirmesini engellemek için mevcut ilaçlardan farklı olarak tasarlanmıştır. Araştırmacılar, geliştirdikleri bileşiklerin laboratuvar ortamında etkinliğini doğrularken, yapay zekâ tabanlı sistemlerin ilaç geliştirme sürecindeki potansiyelini gözler önüne sermişlerdir. Bu çalışmalar, dirençli bakterilere karşı daha etkili çözümler üretme yolunda önemli bir adım olarak kabul edilmektedir ve yeni antibiyotiklerin daha kısa sürede geliştirilmesine olanak tanımaktadır (8).

Yapay Zekâ ile Viral Mutasyon Analizi

Yapay zekâ, SARS-CoV-2 gibi virüslerin mutasyonlarını analiz ederek yeni varyantların tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu alanda öne çıkan platformlardan biri olan Nextstrain, viral genomları izleyerek, gerçek zamanlı olarak virüslerin evrimini ve yayılımını takip etmektedir. Viral genomların filogenetik analizini gerçekleştiren Nextstrain, mutasyonların zamanla nasıl evrildiğini ve farklı coğrafyalara nasıl yayıldığını izlenebilir bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu tür yapay zekâ destekli platformlar, pandemilerin izlenmesi ve kontrol altına alınmasında kritik öneme sahiptir. Viral mutasyonların gerçek zamanlı takibi, aşı ve tedavi stratejilerinin güncellenmesine ve halk sağlığı önlemlerinin etkin bir şekilde planlanmasına katkı sağlamaktadır (9).

Yapay Zekâ ile Tıbbi Görüntüleme

Yapay zekâ, tıbbi görüntülemede görüntülerin doğru yorumlanmasını ve hastalıkların erken teşhisini sağlayarak uzmanların iş yükünü hafifletmektedir. Bilgisayar destekli tanı (computer aided diagnostic; CAD) sistemleri gibi yapay zekâ uygulamaları, tıbbi görüntülerin analizinde zaman ve maliyet açısından büyük avantajlar sunmaktadır (10). Yapay zekâ destekli Kaggle platformundaki COVID-19 radyografi veri kaynağından elde edilen toplam 3,886 adet akciğer röntgeni, bir araştırma kapsamında incelenmiş ve bu görüntüler, COVID-19 enfeksiyonu, viral pnömoni varlığı ya da sağlıklı bireylere ait olup olmamalarına göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen bu veri seti, model geliştirme sürecinde kullanılmak üzere %70'i eğitim, %10'u geçerleme ve %20'si sınama amaçlı olmak üzere üç farklı gruba ayrılmıştır (11).

Beyin tümörlerinin erken ve doğru tanısı, hasta tedavi süreçleri için hayati önem taşımaktadır. Geleneksel yöntem olan MR ile elde edilen görüntülerin radyologlar tarafından incelenmesiyle yapılan tanı süreci, yapay zekâ destekli sistemlerle önemli ölçüde geliştirilmiştir. Örneğin,

bir çalışmada discrete wavelet transform (DWT) ve convolutional neural network (CNN) verilerinin birleştirilmesiyle geliştirilen bir CAD sistemi, MR görüntülerindeki beyin tümörlerini %99,3 doğrulukla sınıflandırmayı başarmıştır. Bu sonuçlar, yapay zekânın tıbbi görüntüleme laboratuvarlarında beyin tümörü tanısında ne kadar etkili bir araç olabileceğini göstermektedir (12). Almanya'nın Lübeck Üniversitesi'nde yapılan önemli bir araştırma, yapay zekânın tıbbi görüntüleme alanındaki başarılı uygulama potansiyelini gözler önüne sermektedir. Bu çalışmada, yapay zekâ destekli meme kanseri taramalarının, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek tespit oranlarına sahip olduğu gösterilmiştir. Çalışmaya 463,094 kadın katılmış ve yapay zekâ destekli taramalar ile yalnızca radyologların değerlendirdiği geleneksel taramalar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, yapay zekâ destekli taramalarda meme kanseri tespit oranı %17,6 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, yapay zekâ kullanımının ek testler için geri çağırma oranını artırmadan tespit oranını yükselttiği ve normal taramaları hızla eleterek radyologların iş yükünü azalttığı tespit edilmiştir (13).

Son yıllarda, yapay zekânın tıbbi görüntülemede kırık ve çıkık tespiti gibi ortopedik tanılarda kullanımı önemli bir gelişim göstermiştir. Bir çalışmada, yapay zekâ tekniklerinin kemik kırıklarının tespiti ve sınıflandırılmasındaki başarısı incelenmiştir. Özellikle acil servislerde çalışan hekimlerin hatalı tanı oranlarını azaltmada yapay zekâ uygulamalarının potansiyel faydaları vurgulanmıştır. Yapay zekânın, tanı süreçlerini hızlandırarak hasta morbiditesini azaltabileceği ve malpraktis riskini minimuma indirebileceği ifade edilmiştir. Çalışmada, yapay zekâ algoritmalarının ortopedik tanılarda yüksek doğruluk oranlarına eriştiği ve klinik karar verme süreçlerinde etkin olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (14, 15).

Stanford Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, Maymun Çiçeği (Mpox) virüsünün neden olduğu cilt lezyonlarını tespit etmek için bir görüntü tabanlı derin öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, MPXV-CNN (Monkeypox Convolutional Neural Network) olarak adlandırılarak, cilt lezyonlarının tespiti amacıyla kullanılmıştır. MPXV-CNN modeli 139,198 cilt lezyonu görüntüsü içeren büyük bir veri seti üzerinde eğitilmiştir. Bu veri seti, MPXV görüntülerini ve non-MPXV görüntülerini içermektedir. Modelin doğruluk oranı %98,25; özgüllük oranı %96,55 ve hatırlama oranı %96,55 olarak belirlenmiştir (16).

Yapay Zekâ ve Sağlıkta Hukuk, Güvenlik ve Etik

Yapay zekânın sağlıkta kullanımı büyük avantajlar sunsa da veri güvenliği, hasta mahremiyeti ve etik sorunlar gibi ciddi riskleri de beraberinde getirmektedir. Kişisel sağlık verilerinin toplanması gizlilik ihlalleri riskini artırırken, önyargılı algoritmalar yanlış teşhis ve tedaviye yol açabilme riski taşımaktadır. Ayrıca, yapay zekâ algoritmalarının eğitimi sırasında kullanılan verilerdeki

önyargılar, ırkçılık ve cinsiyetçilik gibi yargıların bu modellere yansımalarına neden olabilmektedir. Bu durum, teşhis ve tedavi kararlarını manipüle ederek hasta güvenliğini tehlikeye atmaktadır (17).

Yapay zekâ sistemlerinin özerk karar alabilme yeteneği, geleneksel hukuki sorumluluk anlayışını zorlamaktadır. Özellikle, yapay zekânın verdiği kararlar sonucunda meydana gelen zararların kimin sorumluluğunda olduğu konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin kendi eylemlerinden ve verdikleri kararlardan hukuki olarak sorumlu tutulamayacağı ve yalnızca birer hukuk nesnesi olarak kabul edildikleri belirlendikten sonra, bu sistemlerin neden olabileceği muhtemel zararlarda sorumluluğun kime ait olacağı sorusu önem kazanmaktadır (17).

Sonuç

Günümüzde laboratuvarlar, tanı ve tedavi süreçlerinde benzeri görülmemiş bir dönüşümün eşiğindedir. Yapay zekâ ve otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, laboratuvarların işleyişini temelden değiştirerek, tanı süreçlerinden ilaç keşfine kadar birçok alanda önemli ilerlemeler kaydedilmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ algoritmaları, büyük veri setlerini analiz ederek hastalıkların erken teşhisini mümkün kılarken, otomasyon sistemleri, laboratuvar süreçlerini hızlandırarak insan hatalarını en aza indirmekte ve verimliliği artırmaktadır. Bu sinerji, sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmekte ve hastalara daha hızlı, doğru tanıları konulmasına olanak tanımaktadır. Bu teknolojilerin potansiyeli büyük olmakla birlikte, etik, hukuki ve sosyal boyutları da dikkatle ele alınmalıdır. Veri gizliliği, algoritmik önyargı ve hesap verebilirlik gibi konular, yapay zekâ ve otomasyonun sorumlu ve güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlamak adına üzerinde titizlikle durulması gereken hususlardır. Yapay zekâ ve otomasyonun laboratuvarlardaki etkili ve bilinçli kullanımı, daha sağlıklı bir geleceğe doğru atılmış önemli bir adım olacaktır. Gelecekte, bu teknolojilerin uygulamadaki etkileri ve sağlık çalışanlarıyla etkileşimleri hakkında daha fazla araştırma yapılması önemlidir. Ayrıca yapay zekânın farklı sağlık sistemlerinde kullanımının karşılaştırmalı olarak araştırılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarların çıkar çatışması yoktur.

Bilgi

Bu çalışma herhangi bir finansal destek alınmaksızın gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yapay zekâ destekli herhangi bir araç kullanılmamıştır.

Etik Beyan

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Büyükgöze, S., Dereli, E. Dijital sağlık uygulamalarında yapay zekâ. VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık, 2019; 7 (10).
- [2] Coşkun, F., Gülleroğlu, H. D. Yapay zekanın tarih içindeki gelişimi ve eğitimde kullanılması. Ankara University Journal of Faculty of Educational Sciences (JFES), 2021; 54 (3): 947-966.
- [3] Özgür, S.B. Algoritmalar, yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve uygulamaları: beşerî fayda üretiminin yazılımlar tarafından karşılanması. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2021; 10 (1): 1-29.
- [4] Supriya, M. ve Deepa, A. Machine learning approach on healthcare big data: A review. Big Data Inf. Anal. 2020; 5 (1), 58-75.
- [5] Uzun, T. Yapay zekâ ve sağlık uygulamaları. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2020; 3 (1): 80-92.
- [6] Farghali, H., Kutinová Canová, N., Arora, M. The potential applications of artificial intelligence in drug discovery and development. Physiological Research, 2021; 70 (Suppl 4): 715-722.
- [7] Eissa, M. AI-based discovery of a new class of antibiotics: a minireview on implications, challenges, and opportunities for combating antibiotic resistance. Journal of Medical Research and Reviews, 2024; 2 (3): 91-104.
- [8] Swanson, K., Liu, G., Catacutan, D.B., Arnold, A., Zou, J., Stokes, J.M. Generative AI for designing and validating easily synthesizable and structurally novel antibiotics. Nature Machine Intelligence, 2024; 6 (3): 338-353.
- [9] Akther, S., Bezrucenkovas, E., Sulkow, B., Panlasigui, C., Li, L., Qiu, W., Di, L. CoV Genome Tracker: tracing genomic footprints of Covid-19 pandemic. BioRxiv preprint, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.04.10.036343>.
- [10] Atlan, F., Pençe, İ. Yapay zekâ ve tıbbi görüntüleme teknolojilerine genel bakış. Acta Infologica, 2021; 5 (1): 207-230.
- [11] Bayram, F., Eleyan, A. COVID-19 detection on chest radiographs using feature fusion based deep learning. Signal, Image and Video Processing, 2022; 16 (6): 1455-1462.
- [12] Abd El Kader, I., Xu, G., Shuai, Z., Saminu, S., Javaid, I., Ahmad, I. S., Kamhi, S. Brain tumor detection and classification on MR images by a deep wavelet auto-encoder model. Diagnostics (Basel), 2021; 11 (9): 1589.
- [13] Eisemann, N., Bunk, S., Mukama, T., Baltus, H., Elsner, S. A., Gomille, T., ... Katalinic, A. Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. Nature Medicine, 2025; 31 (3): 917-924.
- [14] Beyaz S., Yaylı, Ş. B. Ortopedi ve travmatolojide yapay zekâ uygulamaları.JAIHS. 2021; 1 (1): 12-15.
- [15] Lindsey, R., Daluiski, A., Chopra, S., Lachapelle, A., Mozer, M., Sicular, S., Hanel, D., Gardner, M., Gupta, A., Hotchkiss, R., Potter, H. Deep neural network improves fracture detection by clinicians. Proc Natl Acad Sci U S A. 2018; 115 (45): 11591-11596.
- [16] Thieme, A. H., Zheng, Y., Machiraju, G., Sadee, C., Mittermaier, M., Gertler, M., ... Gevaert, O. A deep-learning algorithm to classify skin lesions from mpox virus infection. Nature Medicine, 2023; 29 (3): 738-747.
- [17] AlHasan, A. Ethical concerns grow as AI takes on greater decision-making role. Bulletin of the American College of Surgeons, 2023; 108 (2).