

TÜRKİYE VE DÜNYADA SAĞLIK BİLİŞİMİ

Editör: Prof. Dr. Nurhan GÜMRÜKÇÜOĞLU

yaz
yayınları

Türkiye ve Dünyada Sağlık Bilişimi

Editör

Prof. Dr. Nurhan GÜMRÜKÇÜOĞLU

yaz
yayınları

2025

Türkiye ve Dünyada Sağlık Bilişimi

Editör: Prof. Dr. Nurhan GÜMRÜKÇÜOĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8678-77-2

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Günümüz Sağlık Alanında Mobilite: Teknolojilerin Dönüştürücü Etkisi	1
<i>Hasibe YILDIZ</i>	
Robotik Sistemlerin Cerrahi Alanındaki Yenilikleri ve Hasta Sonuçları Üzerindeki Etkileri	20
<i>Hasibe YILDIZ</i>	
Biyoinformatik Araçlar Kullanılarak Mpox (Maymun Çiçeği) Virüsüne Yönelik Protein Hedeflerin Belirlenmesi.....	39
<i>Ayşe Banu PAK</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

GÜNÜMÜZ SAĞLIK ALANINDA MOBİLİTE: TEKNOLOJİLERİN DÖNÜŞTÜRÜCÜ ETKİSİ

Hasibe YILDIZ¹

1. GİRİŞ

Son yıllarda sağlık sektörü, mobil teknolojilerin ve dijital çözümlerin hızla gelişmesi ile köklü bir dönüşüm yaşamaktadır. Geleneksel sağlık hizmetleri, giderek artan bir şekilde mobilite ile entegre olma yolunda ilerlemekte, bu süreç hem hasta bakımı hem de sağlık profesyonellerinin işleyiş biçimlerini köklü anlamda yeniden şekillendirmektedir. Mobil sağlık (mHealth) uygulamaları, nesnelerin interneti (IoT) çözümleri ve yapay zeka (YZ) gibi yenilikçi teknolojiler, sağlık hizmetlerinin bireyselleşmesine, erişilebilirliğinin artmasına ve daha etkili bir yönetim sisteminin kurulmasına olanak tanımaktadır.

Mobilite, sağlık hizmetlerinin sunumunu sadece fiziksel mekanlarla sınırlı tutmaktan çıkarak, bireylerin sağlık durumlarını gerçek zamanlı olarak izleyebilmelerine ve yönetebilmelerine imkân tanır. Bu dönüşüm, yaşlı nüfusun artışı, kronik hastalıkların yaygınlaşması ve bireylerin sağlık bilincinin yükselmesi gibi nedenlerle giderek önem kazanmaktadır.

Ancak yeni teknolojilerin sunduğu fırsatların yanı sıra, beraberinde getirdiği bazı zorluklar da bulunmaktadır. Veri güvenliği, mahremiyet ve etik standartlar gibi konular, sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesinde önemli bir yer tutar. Bu nedenle, sağlık profesyonellerinin bu teknolojileri benimsemeleri,

¹ Öğr. Gör. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0003-1971-5164.

kullanıcı dostu uygulamalar geliştirmeleri ve veri güvenliğini sağlamaları hayati bir önem arz etmektedir.

Bu bölümde, günümüz sağlık alanında mobilitenin etkileri, yeni teknolojilerin sağladığı faydalar ve gelecek perspektifleri ele alınmıştır.

2. SAĞLIKTA MOBİLİTE

2.1. Tanım ve Kapsam

Mobilite, genel anlamda bir nesnenin, bireyin veya sistemin bir yerden başka bir yere hareket etme yeteneğini ifade eder. Ancak sağlık alanındaki mobilite, daha çok bireylerin sağlık durumlarını izleme, yönetme ve sağlık hizmetlerine erişme şekillerinde gerçekleşen dönüşümü içerir (Khaled 2022). Teknolojinin sağladığı kolaylıklarla sağlık hizmetlerinin sınırlı mekanlardan bağımsız hale gelmesi, mobilite kavramını daha geniş bir fenomen olarak ele almayı gerektirir.

Günümüzde mobil sağlık (mHealth) uygulamaları, sağlık profesyonelleri ve hastalar arasında bir köprü görevi görmektedir. Giyilebilir cihazlar, mobil uygulamalar ve uzaktan izleme sistemleri gibi teknolojiler, bireylerin kendi sağlıklarını aktif bir şekilde takip etmelerine olanak tanırken, sağlık hizmeti sağlayıcıları için de veri toplama ve analiz süreçlerini kolaylaştırmaktadır (Razdan ve Sharma 2022; Shreya, Chatterjee, ve Singh 2022). Bu tür mobil çözümler, hastaların günlük aktivitelerini ve sağlık durumlarını gözlemlerken, hastaneye gitmeye gerek kalmadan bilgi akışını güvenli bir şekilde sağlar.

Mobilitenin sağlık alanındaki kapsamı, yalnızca fiziksel bir hareketle sınırlı kalmaz. Aynı zamanda, bilgiye erişim, iletişim ve veri paylaşımını da kapsar. Örneğin, mobil uygulamalar aracılığıyla bireyler, sağlık kayıtlarına ulaşabilir, sağlık profesyonelleri ile iletişim kurabilir ve ihtiyaç duydukları

bilgilere her an ulaşma imkânı bulabilirler. Bu durum, sağlık süreçlerini daha şeffaf hale getirirken; bireylerin sağlık konusundaki öz yeterliliklerini artırmaktadır.

Ayrıca, mobilite konsepti, fiziksel engelli veya hareket etmekte zorlanan bireyler için de önemli avantajlar sunar. Uzaktan izleme sistemleri ve tele sağlık hizmetleri sayesinde, bu bireyler sağlık hizmetlerine erişimlerini kolaylaştırarak yaşam kalitelerini artırabilirler. Mobil teknolojiler, sağlık hizmetlerinin coğrafi sınırlamalarını ortadan kaldırarak tedaviye erişim imkanını artırır. Bu durum, kırsal alanlarda yaşayan bireylerin uzman sağlık hizmetlerine ulaşmalarını kolaylaştırarak sağlık eşitsizliklerini azaltma potansiyeline sahip bir değişim sunar.

Mobilitenin sağlık alanındaki etkileri, sadece bireyler üzerinde değil, aynı zamanda sağlık sistemleri ve kuruluşları üzerinde de derin bir etki yaratmaktadır. Sağlık hizmetleri sunucuları, hastalarla olan etkileşimlerini artırarak daha kişiselleştirilmiş bir yaklaşım benimseyebilir. Bu, hastaların tedavi süreçlerine katılımlarını artırırken, sağlık profesyonellerinin veri analizi ve tedavi kararları almasını kolaylaştırır.

2.2. Tıbbi Nesnelerin İnterneti

İnterneti kullanarak cihazlar/sistemler arasında veri alışverişi yapmak üzere entegre edilmiş fiziksel nesnelerin birbirine bağlı ağı anlamına gelen nesnelerin interneti (IoT) kavramının sağlık alanındaki bir uzantısı olan tıbbi nesnelerin interneti (IoMT), sağlık hizmetlerinde kullanılan cihazlar, uygulamalar ve sistemlerin bir araya gelerek veri paylaşımını sağladığı bir ekosistemi ifade eder (Dwivedi, Mehrotra, ve Chandra 2022; Huang vd. 2023). IoMT, mobil sağlık uygulamalarıyla birlikte, bireylerin sağlık bilgilerini gerçek zamanlı olarak izleme, yönetme ve paylaşma yeteneğini geliştiren devrim niteliğinde bir yaklaşımdır. IoMT, sağlık hizmetlerinin

daha etkili ve erişilebilir hale gelmesi için kritik bir rol oynamaktadır.

IoMT, genellikle giyilebilir teknolojiler, uzaktan hasta izleme cihazları, implantlar ve diğer sensörler aracılığıyla çalışır (Sindhuja R, Kapse, A., ve Kapse, A. 2023). Bu cihazlar, kullanıcıların biyometrik verilerini toplayarak sağlık profesyonellerine gönderir. Örneğin, kalp atış hızı, kan basıncı, glikoz seviyesi gibi önemli verilere anında erişim sağlar. Böylece sağlık uzmanları, hastaların durumlarını daha yakından takip edebilir ve gerektiğinde hızlı müdahalelerde bulunabilir.

Bu sistemlerin sağladığı en büyük avantajlardan biri, sağlık hizmetlerinin proaktif bir yaklaşımla yönetilmesidir. Geleneksel sağlık hizmetleri genellikle hastalık belirtisi görüldüğünde müdahale ederken, IoMT sayesinde sağlık uzmanları, topladıkları verileri analiz ederek riskleri önceden belirleyebilir. Bu durum, özellikle kronik hastalıkların yönetiminde büyük bir fark yaratır; kronik hastalıkları bulunan bireylerin uzaktan izlenmesi için kullanılan insülin pompaları ve kalp izleme cihazları, bu alanın önemli örneklerindendir (Ahmed vd. 2024). Toplanan verilerin analizi, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma ve iyileştirmeye yönelik yapay zeka ile büyük veri analitiğinin entegrasyonunu gerektirir.

Ayrıca, IoMT acil durumlarda hızlı müdahale sağlamak amacıyla veri akışını hızlandırarak doktorların hızlı karar vermesine yardımcı olur (Shreya, Chatterjee, ve Singh 2022). Mobil uygulamalar hastaların tedavi süreçlerini anlamalarına ve sağlık hizmetlerine daha iyi erişim sağlamalarına olanak tanıyarak sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma amacını taşır.

IoMT sağlık sektörünü dönüştürme potansiyeline sahip bir yapıdadır ve bu yapı sürekli bir evrim geçirmektedir. Gelecekte, daha fazla cihaz ve teknolojinin bireysel sağlık yönetimini desteklemesi beklenmektedir. İşlevsel verimlilik ve

hasta memnuniyetinin artırılması, IoMT'nin en önemli hedefleri arasında yer almaktadır.

2.2.1. IoMT Cihazları ve Sensör Türleri

İnternet üzerinden bağlı tıbbi cihazlar ve sensörler, IoMT'nin temel bileşenlerini oluşturur (Ahmed vd. 2024). Bu cihazlar, sağlık verilerini toplamak ve bu verilerin analiz edilmesine olanak tanımak için tasarlanmıştır. IoMT cihazları, genellikle giyilebilir teknolojiler, vücuda yerleştirilen implantlar ve uzaktan izleme sistemleri olarak sınıflandırılabilir (Huang vd. 2023).

Giyilebilir teknolojiler, kullanıcıların fiziksel aktivitelerini ve sağlık durumlarını izlemelerine olanak tanır. Akıllı saatler ve sağlık izleme bileklikleri, kalp atış hızı, adım sayısı ve uyku düzeni gibi verileri sürekli olarak toplar (Ahmed vd. 2024). Bu tür cihazlar hem bireysel sağlık yönetimi hem de sağlık veri analizi için önemlidir.

İkinci bir kategori, implantlar ve iç mekan sensörleridir. Bu cihazlar, hastaların vücut içindeki biyolojik verileri sürekli izleyerek doktorlara önemli bilgiler sağlar. Örneğin, kalp pili ve glukoz izleyicileri, hastaların sağlık durumlarını gerçek zamanlı olarak izler. Bu tür cihazlar, özellikle kronik hastalıkları olan bireyler için kritik bir rol oynamaktadır.

Uzaktan izleme sistemleri de IoMT'nin önemli bir parçasıdır. Bu sistemler, hastaların günlük hayattaki sağlık durumunu izlemek amacıyla tasarlanmışlardır. Akıllı sağlık monitörleri, tansiyon aletleri ve solunum izleyicileri, hastaların sağlık verilerini otomatik olarak toplar ve bulut tabanlı platformlara aktarır. Böylece, doktorlar hastalarının sağlık durumlarını uzaktan izleyebilir ve gerektiğinde müdahalede bulunabilir.

IoMT cihazları ve sensör türleri, sağlık hizmetlerinin dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu cihazlar, sağlık verilerinin toplanması, analizi ve iletilmesine olanak tanıyarak hasta bakımını iyileştirmekte ve sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır. Gelecekte, bu teknolojilerin daha da geliştirilmesi ve entegrasyonu ile sağlık sistemlerinde devrim niteliğinde değişiklikler beklenmektedir.

2.2.2. Teknolojik Altyapı: IoMT ve Veri Akışı

Mobil sağlık hizmetlerinin temel taşı, kullanılan teknolojinin güvenilirliğidir. Güvenilir bir teknolojik altyapı, kesintisiz veri akışı, doğru ölçümler ve güvenli iletişim kanalları sağlamalıdır (Razdan ve Sharma 2022). Bu altyapının unsurları şunlardır:

Sensörler ve Cihazlar: Giyilebilir cihazlar, implantlar ve diğer tıbbi sensörler, hastaların fizyolojik verilerini sürekli olarak toplar (Ahmed vd. 2024). Bu cihazların doğru ve güvenilir olması, elde edilen verilerin kalitesi açısından kritik öneme sahiptir.

Bağlantı Altyapısı: Verilerin güvenli ve hızlı bir şekilde iletilmesi için RFID, Wi-Fi, Bluetooth, 5G, Zigbee, NFC gibi kablosuz iletişim teknolojileri kullanılır (Dwivedi, Mehrotra, ve Chandra 2022; He vd. 2024; Khaled 2022, t.y.; Razdan ve Sharma 2022). Güçlü bir bağlantı altyapısı, veri kaybını önlemenin yanında gerçek zamanlı izleme imkânı sunar.

Veri Depolama ve İşleme: Toplanan verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve işlenmesi için bulut bilişim veya kenar bilişim çözümleri kullanılır (Khaled t.y.; Razdan ve Sharma 2022). Ölçeklenebilir ve güvenli veri depolama sistemleri, büyük veri analizleri için de zemin hazırlar.

Yazılım ve Uygulamalar: Verilerin analiz edilmesi, görselleştirilmesi ve sağlık profesyonellerine sunulması için özel

olarak geliştirilmiş yazılım ve mobil uygulamalar kullanılır. Bu uygulamaların kullanıcı dostu ve etkili olması, sağlık hizmetlerinin verimliliğini artırır.

2.2.3. Veri Akışının Yönetimi

IoMT cihazlarından elde edilen verilerin etkin bir şekilde yönetilmesi, doğru teşhisler ve etkili tedavi planları için hayati öneme sahiptir. Veri akışının yönetimi aşağıdaki adımları içerir:

Veri Toplama: Sensörler ve cihazlar aracılığıyla hastaların sağlık verileri toplanır. Bu veriler, kalp atış hızı, kan basıncı, glikoz seviyeleri, aktivite düzeyi gibi çeşitli parametreleri içerebilir.

Veri İletimi: Toplanan veriler, güvenli iletişim protokolleri kullanılarak merkezi bir sunucuya veya bulut platformuna iletilir. Bu iletim sırasında verinin bütünlüğünün korunması önemlidir.

Veri İşleme: Merkezi sunucuda veya bulut platformunda toplanan veriler, analiz edilmek üzere işlenir. Bu aşamada, gürültü temizleme, normalizasyon ve veri entegrasyonu gibi işlemler gerçekleştirilir.

Veri Analizi: İşlenmiş veriler, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak analiz edilir. Bu analizler, hastalıkların erken teşhisi, risk tahmini ve kişiselleştirilmiş tedavi önerileri gibi amaçlarla kullanılır.

Veri Sunumu: Analiz sonuçları, doktorlar ve diğer sağlık profesyonelleri için kolayca anlaşılabilir raporlar ve görselleştirmeler halinde sunulur. Bu sayede, sağlık profesyonelleri hızlı ve doğru kararlar verebilir.

2.2.4. Veri Güvenliği ve Gizliliği

IoMT sistemlerinde veri güvenliği ve gizliliği, en önemli konulardan biridir. Hasta verilerinin yetkisiz erişime karşı korunması ve gizliliğinin sağlanması, yasal düzenlemelere uyum

açısından da kritik öneme sahiptir (Ahmed vd. 2024; Thomasian ve Adashi 2021). Bu amaçla aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

Veri Şifreleme: Verilerin iletimi ve depolanması sırasında şifreleme teknolojileri kullanılarak yetkisiz erişim engellenir.

Kimlik Doğrulama: Sisteme erişen kullanıcıların ve cihazların kimlikleri doğrulanarak sadece yetkili kişilerin verilere erişmesi sağlanır.

Erişim Kontrolü: Verilere erişim yetkileri, kullanıcı rollerine göre sınırlandırılır. Bu sayede, her kullanıcının sadece ihtiyacı duyduğu verilere erişmesi sağlanır.

Uyumluluk: HIPAA (Sağlık Sigortası Taşınabilirlik ve Sorumluluk Yasası) ve GDPR (Genel Veri Koruma Yönetmeliği) gibi yasal düzenlemelere uyulur.

2.2.5. Mobil Sağlık Uygulamalarının Güvenilirliği

Mobil sağlık uygulamalarının (mHealth) güvenilirliği ve kalitesi, hasta güvenliği ve tedavi etkinliği açısından büyük önem taşır. Güvenilir mHealth uygulamaları aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

Doğruluk: Uygulamanın sağladığı bilgilerin ve ölçümlerin doğru ve güvenilir olması gerekir. Bu, uygulamanın bilimsel kanıtlara dayanması ve düzenli olarak güncellenmesi ile sağlanır.

Kullanılabilirlik: Uygulamanın kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması ve kolayca kullanılabilir olması gerekir. Karmaşık ve anlaşılması güç uygulamalar, kullanıcıların motivasyonunu azaltır ve hatalı kullanıma yol açabilir.

Güvenlik: Uygulamanın hasta verilerini güvenli bir şekilde saklaması ve iletmesi gerekir. Veri ihlalleri ve gizlilik sorunları, kullanıcıların uygulamaya olan güvenini azaltır.

Şeffaflık: Uygulamanın nasıl çalıştığı, hangi verileri topladığı ve bu verileri nasıl kullandığı konusunda şeffaf olması gerekir. Kullanıcıların bilgilendirilmesi ve onayının alınması, etik açıdan önemlidir.

Mobiliteye dayalı sağlık hizmetlerinin etkinliği, kullanılan teknolojik altyapının güvenilirliğine ve verinin doğru bir şekilde işlenmesine bağlıdır. IoMT cihazları ve sistemleri, sağlık verilerinin toplanması, iletilmesi, işlenmesi ve analiz edilmesi süreçlerinde önemli avantajlar sunar. Ancak, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için güvenilir bir altyapı, etkili veri yönetimi ve güçlü güvenlik önlemleri gereklidir.

3. KLİNİK UYGULAMALAR: UZAKTAN HASTA İZLEME

3.1. Kronik Hastalık Yönetiminde RPM

Uzaktan Hasta İzleme (RPM), IoMT ve mobilite temelli sağlık hizmetlerinin sağladığı önemli bir yenilik olarak, kronik hastalıkların yönetiminde devrim yaratmaktadır (He vd. 2024). Kalp yetmezliği, tip 2 diyabet ve hipertansiyon gibi yaygın kronik durumların yönetiminde RPM, erken müdahale ve kişiselleştirilmiş tedavi seçenekleri sunarak hasta sonuçlarını iyileştirmeyi hedeflemektedir

RPM'nin en dikkat çekici özelliklerinden biri, giyilebilir cihazlardan elde edilen verilerin analizi yoluyla olumsuz klinik sonuçlarını önceden tahmin edilme yeteneğidir. Giyilebilir cihazlar, kalp atış hızı, kan basıncı, glikoz seviyeleri gibi yaşam bulgularını sürekli izleyerek önemli bir veri kaynağı sunar (Malasinghe, Ramzan, ve Dahal 2019). Bu veriler, sağlık profesyonellerine hastanın durumu hakkında anlık bilgi sağlar ve

erken uyarı sistemleriyle entegre edildiğinde, hastaların durumu hakkında kritik bilgiler.

Buna ek olarak tip 2 diyabet hastaları için RPM uygulamaları, kan şekeri düzeylerini izleyerek ve analiz ederek, olası hipoglisemi veya hiperglisemi risklerini önceden tahmin etme yeteneğine sahiptir. Bu tür risk tahminleri, hastaların tedavi planlarının güncellenmesine ve kişiselleştirilmesine olanak tanır, böylece hastaların sağlık yönetimleri daha etkin hale gelir.

RPM'nin bir diğer önemli faydası, tedavi uyumunun artırılmasıdır. Kronik hastalıkların tedavisinde, hastaların ilaçlarını düzenli olarak alması ve yaşam tarzlarına yönelik önerilere uyması kritik öneme sahiptir. Ancak, birçok hasta uzun süreli tedavi rejimlerine uyum sağlamada zorluklar yaşamaktadır. Mobil uygulamalar ve yapay zeka destekli hatırlatıcılar, bu konuda önemli bir çözüm sunmaktadır (Manickam vd. 2022).

Mobil uygulamalar, hastaların ilaca ilişkin hatırlatmalar alması ve tedavi planlarını takip etmesi için fırsatlar sunar. Özellikle, yapay zeka algoritmaları, bireylerin davranışlarını ve alışkanlıklarını öğrenerek kişiselleştirilmiş önerilerde bulunabilir. Yapılan bir çalışma, mobil uygulama kullanımının tedavi uyumunu %30 oranında artırdığını göstermiştir. Bu tür uygulamalar, hastaların ilaç alım zamanlarını hatırlatmanın yanı sıra, sağlık durumları hakkında bilgi sunarak kullanıcıların motivasyonlarını artırmaktadır.

Ayrıca, RPM uygulamaları, bireylerin yaşam tarzlarıyla ilgili olarak önerilerde bulunma yeteneğine de sahiptir. Örneğin, kilosunu kontrol etmeye çalışan tip 2 diyabet hastalarına yönelik özel diyet önerileri ve egzersiz rutinleri sunan mobil uygulamalar, tedaviye olan bağlılığı artırabilir. Bu uygulamalar, kullanıcıların hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmaya yönelik destekleyici bir rol üstlenirken, aynı zamanda sağlık verilerini de izlemektedir.

RPM'nin bir başka önemli avantajı, kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının benimsenmesine olanak tanımasıdır. Giyilebilir cihazlar ve diğer IoMT uygulamaları, hastaların bireysel sağlık verilerini toplar ve bu verileri analize dayalı bir şekilde yorumlar. Bu sayede, her hastanın tedavi süreci, bireyin özel ihtiyaçlarına ve sağlık durumuna göre şekillendirilir.

Özellikle kalp yetmezliği gibi karmaşık durumlarda, RPM sayesinde hastaların tedavi süreçleri daha etkili bir şekilde yönetilebilmektedir. Örneğin, hastanın günlük aktivite düzeyi, kalp atış hızı ve diğer önemli verileri izlenerek, doktorlar tedavi rejimlerini güncelleyebilir ve bu güncellemeleri hastalarla anlık olarak paylaşabilir. Bu tür bir yaklaşım, hasta odaklı bir sağlık yönetim modeli oluşturarak, tedavi süreçlerinin daha etkin ve güvenli hale gelmesini sağlar.

RPM'nin etkinliği, toplanan verilerin kalitesine ve analiz yöntemlerine bağlıdır. Giyilebilir cihazlardan ve mobil uygulamalardan elde edilen büyük veri setleri, sağlık profesyonellerinin doğru kararlar almasına yardımcı olur. Verinin işlenmesi ve analizi, makine öğrenimi ve yapay zeka algoritmalarıyla gerçekleştirilir (Shaik vd. 2023). Bu sayede, elde edilen verilerden anlamlı sonuçlar çıkarılabilir ve problemin kök nedenleri tespit edilebilir.

Ayrıca, veri analizi sonuçlarının doktorlarla hızlı bir şekilde paylaşılması, tıbbi müdahalelerin zamanında yapılmasına olanak tanır. Örneğin, bir hastanın kalp atış hızı aniden arttığında veya kan basıncı düştüğünde gözlemlendiğinde, sağlık profesyonelleri hemen bilgilendirilir ve gereken müdahaleyi yapabilir. Bu tür anlık bildirimler, hastaların güvenliğini artırırken, tedavi uyumunu da destekler.

3.2. Dijital Biyobelirteçler ve Hastalık Fenotipleme

Mobilite teknolojileri, sağlık alanında devrim yaratacak yeni dijital biyobelirteçlerin keşfine olanak sağlamaktadır. Bu

biyobelirteçler, hareket ve davranış verilerini toplamak için giyilebilir cihazlar, mobil uygulamalar ve IoT teknolojileri kullanılarak elde edilir. Gözlemlenebilir fiziksel ve davranışsal değişiklikler, hastalıkların erken tanısı, ilerleme takibi ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarında kritik öneme sahiptir.

3.2.1. Dijital Biyobelirteçlerin Tanımı

Dijital biyobelirteçler, bir bireyin sağlık durumu hakkında bilgi veren nesnel ve ölçülebilir verilerdir. Mobil teknolojiler sayesinde elde edilen bu verilere, bireylerin günlük yaşamları sırasında kullandıkları giyilebilir cihazlar ve mobil uygulamalar aracılığıyla ulaşılmaktadır. Bu biyobelirteçler, genellikle fiziksel aktivite düzeyi, uyku düzeni, kalp atış hızı, sosyal etkileşim sıklığı ve daha birçok davranışsal ölçüm içerir.

Dijital biyobelirteçlerin en önemli özelliklerinden biri, sürekli izleme imkanı sunmalarıdır. Bireylerin yaşam tarzlarını ve sağlık durumlarını anlamak için uzun süreli veri toplama olanağı, geleneksel sağlık izleme yöntemlerine göre büyük avantaj sağlar. Bu sayede, sağlık profesyonelleri hastaların durumu hakkında daha derinlemesine bilgi edinebilir ve müdahalelerini buna göre planlayabilir.

Mobilite teknolojileri sayesinde, bireylerin hareket ve davranışları üzerinde yapılan ölçümler, hastalıkların tanısı ve ilerlemesinin takibi açısından büyük önem taşır. Yürüme hızı, konuşma tonu, düşme sıklığı, sosyal etkileşim sıklığı gibi parametreler, belirli hastalıkların fenotiplenmesinde kritik roller üstlenir (Sannino, De Falco, ve De Pietro 2015).

3.2.2. Hastalıkların Erken Tanısı ve Takibi

Dijital biyobelirteçler, hastalıkların erken tanısı ve ilerlemesinin takibi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle kronik ve nörolojik hastalıkların yönetiminde, mobilite teknolojileri sayesinde elde edilen veriler, depresyon belirtilerinin

izlenmesi gibi fırsatlar sunarak sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır. Yürüyüş hızı, sosyal etkileşim sıklığı ve konuşma tonu gibi biyobelirteçler, depresyonun takibine yardımcı olup, sağlık profesyonellerinin tedavi planlarını daha etkili bir şekilde oluşturmasına olanak tanır.

Parkinson hastalığı ve bunama gibi nörolojik durumlarda da dijital biyobelirteçler kritik bir rol oynar (Hansen, Sanchez-Ferro, ve Maetzler 2018). Parkinson hastalığında, giyilebilir cihazlardan elde edilen hareket verileri, hastalığın ilerlemesini değerlendirirken, tedavi süreçlerinin etkinliğini artırmak için kullanılabilir. Benzer şekilde, bunama hastalarında sosyal etkileşimin izlenmesi ve günlük aktivitelerin takibi, bireylerin sağlık durumunu daha iyi anlamayı sağlayarak, tedavi süreçlerinin daha etkin yönetilmesine katkıda bulunur.

4. GELECEK PERSPEKTİFİ: YAPAY ZEKÂ VE BİREYSELLEŞME

Mobil sağlık teknolojileri, Yapay Zekâ ile birleşerek, Hassas Tıp (P-Tıp) hedeflerine ulaşmada birincil araç haline gelmektedir (Alonso, de la Torre Díez, ve Zapirain 2019). Bu entegrasyon, hastaların bireysel sağlık ihtiyaçlarına daha uygun müdahale ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

4.1. Tam Zamanında Uyarlanabilir Müdahaleler

Tam Zamanında Uyarlanabilir Müdahaleler (Just-In-Time Adaptive Interventions - JITAI), bireylerin sağlık verilerini anlık olarak analiz ederek, en uygun zamanda kişiselleştirilmiş müdahaleler sunmayı amaçlamaktadır. Yapay Zekâ, mobil cihazlardan toplanan verileri işleyerek kullanıcıların durumu ile ilgili en doğru bilgiyi sağlayabilir. Bu sayede, hastaların risk

altında olduğu anlarda, motivasyonel mesajlar, aktivite uyarıları veya öneriler gibi müdahaleler sunulabilir (Wal vd. t.y.).

4.1.1. Yapay Zekâ ve Veri Analizi

YZ, büyük veri setlerini analiz etme ve bu verilerden anlamlı sonuçlar çıkarma konusunda önemli bir kapasiteye sahiptir. Özellikle, giyilebilir cihazlar aracılığıyla elde edilen biyometrik ve davranışsal verilerin analizi, hastaların durumunu en iyi şekilde değerlendirmeye yardımcı olur (Dwivedi, Mehrotra, ve Chandra 2022). Bu süreç, sağlık profesyonellerinin zamanında müdahalelerde bulunmasını kolaylaştırırken, hastaların sağlık durumlarını da iyileştirebilir.

Ayrıca, JITAI uygulamaları, bireylerin motivasyonlarını artırarak, sağlık hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olacaktır. Örneğin, bir hasta belirli bir aktivite planına uymadığında, yapay zeka sistemleri anında müdahale edebilir ve kişisel hedeflerle uyumlu hatırlatmalar yapabilir. Bu yöntem, tedavi uyumunu artırmanın yanı sıra, bireylerin daha sağlıklı yaşam tarzları benimsemesine de katkıda bulunmaktadır.

4.2. Gelecek Önerileri

Hassas Tıp hedeflerine ulaşmak için mobil sağlık uygulamalarının geliştirilmesi sürecinde dikkate alınması gereken bazı önemli öneriler bulunmaktadır.

4.2.1. Klinik Kanıtın Artırılması

RPM programlarının etkinliğini artırmak amacıyla, büyük ölçekli randomize kontrollü çalışmalar (RCT) yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar, mobil sağlık çözümlerinin sadece teknik yeterliliğini değil, aynı zamanda maliyet-etkinliğini de kanıtlamalıdır. Örneğin, bu programların hastaneye yatış oranları üzerine etkisi incelenmeli ve sonuçlar sağlık politikaları için dikkate alınmalıdır. Klinik kanıtın artırılması, sağlık sistemlerinde mobil teknolojilerin benimsenmesini teşvik edebilir

ve bu teknolojilerle hizmet sunan sağlık profesyonellerinin güvenini artırır.

Gelecek nesil çalışmalarda, dijital biyobelirteçlerin etkinliğini değerlendirmek için tasarlanan RCT'lerde hasta katılımının artırılması da önem taşımaktadır. Bu, bireylerin sağlık yönetiminde daha aktif bir rol üstlenmelerine olanak tanırken, müdahale yöntemlerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

4.2.2. Kullanıcı Merkezli Tasarım

Mobil sağlık uygulamaları, yaşlılar ve kronik hastalığı olanlar gibi özel popülasyonların ihtiyaçlarına uygun, sezgisel bir kullanıcı deneyimi (UX) sunmalıdır. Kullanıcı merkezli tasarım, uygulamaların daha erişilebilir ve kullanılabilir olmasına yardımcı olur ve bu durum, hasta memnuniyetini artırabilir.

Tasarım sürecinde, kullanıcı geri bildirimlerinin toplanması ve bu geri bildirimlerin uygulama iyileştirmelerinde dikkate alınması gereklidir. Örneğin, yaşlı kullanıcıların mobil uygulamalardaki görsel öğelere, düğmelere ve metin boyutlarına ilişkin tercihleri göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanıcıların ihtiyaçlarına yönelik tasarımlar, sağlık uygulamalarının benimsenmesini ve etkisini artırabilir.

5. SONUÇ

Mobil sağlık (mHealth) teknolojileri ve tıbbi nesnelerin interneti, çağdaş sağlık hizmetlerinde köklü bir dönüşüm başlatarak bireyleri sağlık yönetim süreçlerinin merkezine yerleştirmiştir. Bu dönüşüm, yaşlı nüfusun artışının ve kronik hastalıkların yaygınlaşmasının etkisiyle giderek önem kazanmaktadır. Teknolojinin evrimi, sağlık hizmetlerini sektörden bağımsız, sürekli izlemeye imkân veren ve bireysel merkezli bir yapıya dönüştürmüştür. Mobil uygulamalar ve

giyilebilir teknolojiler, bireylerin sağlık durumlarına dair gerçek zamanlı veriler toplamasına olanak tanırken, yapay zeka bu verilerin analiz edilmesi ve kişiselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Yapılan bilimsel çalışmalar, mHealth uygulamalarının sadece bireylerin sağlık bilincini artırmakla kalmadığını, aynı zamanda sağlık sonuçlarını iyileştirdiğini de göstermektedir. Temel sağlık verilerinin sürekli olarak izlenmesi ve bu verilerin hızlı bir şekilde işlenmesi, erken müdahale fırsatlarını artırmakta ve tedavi süreçlerinin daha etkin hale gelmesini sağlamaktadır. Uzaktan hasta izleme (RPM) sistemleri, kronik hastalıkların yönetiminde büyük avantajlar sunarak hastaneye yatışları önleyebilmekte ve tedavi uyumunu artırmaktadır.

Mobil sağlık ve IoMT teknolojilerinin entegrasyonu, sağlık hizmetlerinde bireyselleşmeyi mümkün kılmakla kalmayacak; aynı zamanda daha iyi, daha proaktif ve etkili bir sağlık yönetimi sağlayacaktır. Bireylerin sağlık durumlarını aktif olarak takip etmeleri ve sağlık profesyonelleriyle güvenli bir veri paylaşımı yapmaları, sağlık sistemlerinin kalitesini artıracak ve toplum sağlığını olumlu yönde etkileyecektir. Bu dönüşüm, toplumu daha sağlıklı bir geleceğe taşımanın anahtarı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, Shams Forruque, Md. Sakib Bin Alam, Shaila Afrin, Sabiha Jannat Rafa, Nazifa Rafa, ve Amir H. Gandomi. 2024. “Insights into Internet of Medical Things (IoMT): Data fusion, security issues and potential solutions”. *Information Fusion* 102: 102060. doi:10.1016/j.inffus.2023.102060.
- Alonso, Susel Góngora, Isabel de la Torre Díez, ve Begoña García Zapirain. 2019. “Predictive, Personalized, Preventive and Participatory (4P) Medicine Applied to Telemedicine and eHealth in the Literature”. *Journal of Medical Systems* 43(5): 140. doi:10.1007/s10916-019-1279-4.
- Dwivedi, Ruby, Divya Mehrotra, ve Shaleen Chandra. 2022. “Potential of Internet of Medical Things (IoMT) applications in building a smart healthcare system: A systematic review”. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 12(2): 302-18. doi:10.1016/j.jobcr.2021.11.010.
- Hansen, Clint, Alvaro Sanchez-Ferro, ve Walter Maetzler. 2018. “How Mobile Health Technology and Electronic Health Records Will Change Care of Patients with Parkinson’s Disease”. *Journal of Parkinson’s Disease* 8(s1): S41-45. doi:10.3233/JPD-181498.
- He, Peng, Dingying Huang, Dapeng Wu, Haiyang He, Yinlai Wei, Yaping Cui, Ruyan Wang, ve Lei Peng. 2024. “A survey of internet of medical things: technology, application and future directions”. *Digital Communications and Networks*. doi:10.1016/j.dcan.2024.11.013.
- Huang, Chenxi, Jian Wang, Shuihua Wang, ve Yudong Zhang. 2023. “Internet of medical things: A systematic review”.

- Neurocomputing* 557: 126719.
doi:10.1016/j.neucom.2023.126719.
- Khaled, Ahmed E. 2022. "Internet of Medical Things (IoMT): Overview, Taxonomies, and Classifications". *Journal of Computer and Communications* 10(8): 64-89.
doi:10.4236/jcc.2022.108005.
- Khaled, Ahmed E. "Internet of Medical Things (IoMT): Overview, Taxonomies, and Classifications".
- Malasinghe, Lakmini P., Naeem Ramzan, ve Keshav Dahal. 2019. "Remote Patient Monitoring: A Comprehensive Study". *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10(1): 57-76. doi:10.1007/s12652-017-0598-x.
- Manickam, Pandiaraj, Siva Ananth Mariappan, Sindhu Monica Murugesan, Shekhar Hansda, Ajeet Kaushik, Ravikumar Shinde, ve S. P. Thipperudraswamy. 2022. "Artificial Intelligence (AI) and Internet of Medical Things (IoMT) Assisted Biomedical Systems for Intelligent Healthcare". *Biosensors* 12(8): 562. doi:10.3390/bios12080562.
- Razdan, Sahshanu, ve Sachin Sharma. 2022. "Internet of Medical Things (IoMT): Overview, Emerging Technologies, and Case Studies". *IETE Technical Review* 39(4): 775-88.
doi:10.1080/02564602.2021.1927863.
- Sannino, Giovanna, Ivanoe De Falco, ve Giuseppe De Pietro. 2015. "A supervised approach to automatically extract a set of rules to support fall detection in an mHealth system". *Applied Soft Computing* 34: 205-16.
doi:10.1016/j.asoc.2015.04.060.
- Shaik, Thanveer, Xiaohui Tao, Niall Higgins, Lin Li, Raj Gururajan, Xujuan Zhou, ve U. Rajendra Acharya. 2023. "Remote Patient Monitoring Using Artificial Intelligence:

- Current State, Applications, and Challenges”. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery* 13(2): e1485. doi:10.1002/widm.1485.
- Shreya, Shashi, Kakali Chatterjee, ve Ashish Singh. 2022. “A smart secure healthcare monitoring system with Internet of Medical Things”. *Computers and Electrical Engineering* 101: 107969. doi:10.1016/j.compeleceng.2022.107969.
- Sindhuja R, Kapse, A., ve Kapse, A. 2023. “A Survey of Internet of Medical Things (IoMT) Applications, Architectures and Challenges in Smart Healthcare Systems”. *ITM Web of Conferences* 56: 05013. doi:10.1051/itmconf/20235605013.
- Thomasian, Nicole M., ve Eli Y. Adashi. 2021. “Cybersecurity in the Internet of Medical Things”. *Health Policy and Technology* 10(3): 100549. doi:10.1016/j.hlpt.2021.100549.
- Wal, Pranay, Ankita Wal, Neha Verma, Rohini Karunakakaran, ve Anupriya Kapoor. “Internet of Medical Things – The Future of Healthcare”. doi:10.2174/18749445-v15-e221215-2022-142.

ROBOTİK SİSTEMLERİN CERRAHİ ALANINDAKİ YENİLİKLERİ VE HASTA SONUÇLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hasibe YILDIZ¹

1. GİRİŞ

Robotik cerrahi, cerrahi işlemleri gerçekleştirmek için robotik sistemlerin kullanıldığı bir alandır. Bu teknoloji, cerrahların daha hassas, kontrollü ve minimal invaziv yöntemler kullanarak operasyon yapmalarına olanak tanır. Robotik cerrahinin kökleri, 1980'lerde ve 1990'larda geliştirilen ilk robotik cerrahi sistemlerine kadar uzanmaktadır. 1985 yılında, beyinde biyopsi alımı için kullanılmaya başlanan "PUMA 560" adlı robotik cerrahi sisteminden sonra 2000'li yılların başlarında da Vinci Cerrahi Sistemi piyasaya sürülmüştür (Kalan vd. 2010). Robotik cerrahinin en çok bilinen örneği haline gelen Da Vinci sistemi, geniş bir cerrahi uygulama yelpazesi sunarak, üroloji, jinekoloji ve kardiyovasküler cerrahi gibi alanlarda devrim yaratmıştır (Burbano vd. 2025; Gharagozloo vd. 2021).

Geleneksel cerrahi yöntemlerin çeşitli sınırlamaları vardır; bu sınırlamalar arasında kan kaybı, iyileşme süresinin uzaması ve yüksek komplikasyon oranları yer almaktadır. Robotik cerrahi, bu sorunları ele alarak daha az ağrı, daha kısa hastanede kalma süresi ve hızlı iyileşme süreleri gibi avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, robotik cerrahinin sağladığı yüksek tanısal görüntüleme ve üç boyutlu görünüm, cerrahların işlemleri daha

¹ Öğr. Gör. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0003-1971-5164.

iyi bir şekilde planlamalarına ve gerçekleştirmelerine olanak tanır.

Bu bölümde; robotik cerrahinin tanımı, tarihçesi ve geleneksel yöntemlerden bu teknolojiye geçişin nedenleri incelenmiştir. Ayrıca robotik cerrahinin avantajları, cerrahi eğitimi, maliyet analizi, karşılaşılan zorluklar ve geleceğe dair perspektifler ele alınmıştır.

2. ROBOTİK CERRAHİNİN TEMEL PRENSİPLERİ

2.1. Robotik Sistemlerin Çalışma Prensipleri

Robotik cerrahinin temel prensipleri, cerrahların daha hassas ve kontrollü bir şekilde operasyon yapmalarını sağlamak için robot teknolojilerinin entegrasyonuna dayanır. Robotik sistemler, genellikle üç ana bileşenden oluşur: bir cerrahi robot, bir kontrol konsolu ve bir görüntüleme sistemi. Cerrahi robot, cerrahın hareketlerini yüksek hassasiyetle gerçekleştirmek için tasarlanmış manipülatörlerden oluşur (Díaz vd. 2015). Bu manipülatörler, küçük cerrahi aletleri tutar ve cerrahın kontrollü hareketlerini gerçek zamanlı olarak gerçekleştirirken titreme ve hata payını en aza indirir (Rivero-Moreno vd. 2023).

Cerrah, kontrol konsolu aracılığıyla robotik sistemi yönlendirir. Bu konsol, cerrahın el ve parmak hareketlerini yakalayıp, robotik sistemin doğru ve hassas bir şekilde hareket etmesini sağlar. Görüntüleme sistemi ise 3 boyutlu yüksek çözünürlüklü görüntüler sunarak cerrahın operasyonu daha iyi görmesini sağlar; böylece cerrahlar anatomik yapıları daha net ve ayrıntılı bir şekilde değerlendirebilirler (Burbano vd. 2025).

3. CERRAHİ ROBOT ÇEŞİTLERİ

Cerrahi robotik sistemler, günümüz tıp teknolojisinin en önemli yeniliklerinden biri olarak kabul edilmekte ve minimal invaziv cerrahi uygulamalarının kapsamını sürekli genişletmektedir. Bu sistemler, cerrahi prosedürlerin hassasiyetini artırırken, insan elinin doğal titremesini ortadan kaldırarak ve dar, ulaşılması güç alanlarda daha geniş bir hareket yelpazesi sunarak cerrahlara benzersiz yetenekler kazandırmaktadır (Díaz vd. 2015; Rivero-Moreno vd. 2023). Robotik cerrahi pazarındaki çeşitlilik, farklı cerrahi uzmanlık alanlarının özelleşmiş ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış çeşitli platformlardan oluşmaktadır.

3.1. Da Vinci Sistemi: Minimal İnvaziv Cerrahinin Altın Standardı

Intuitive Surgical tarafından geliştirilen da Vinci Cerrahi Sistemi robotik cerrahi alanında en yaygın kullanılan ve tanınan platformdur (Kalan vd. 2010). Temelde üç ana bileşenden meydana gelen bu sistem cerrahın ameliyatı yüksek çözünürlüklü, üç boyutlu bir görüşle yönettiği cerrah konsolu, cerrahi aletleri ve kamerayı tutan dört kollu hasta başucundaki araba ve görüntülemeyi sağlayan görüntüleme kulesinden oluşmaktadır (Burbano vd. 2025). Da Vinci sistemini diğer sistemlerden ayıran en kritik teknolojik özellik, cerrahın el hareketlerini milimetrik hassasiyetle yansıtan ve yedi serbestlik derecesine sahip eklemliler olan EndoWrist teknolojisidir (Celotto vd. 2024). Bu gelişmiş hassasiyet ve titreme eliminasyonu, özellikle prostatektomi, histerektomi ve kolorektal cerrahi gibi karmaşık operasyonlarda uygulanarak klinik sonuçları iyileştirmekte ve hastaların hastanede kalış sürelerini kısaltmaktadır.

3.2. Uzmanlık Alanına Göre Farklılaşan Robotik Platformlar

Da Vinci'nin genel cerrahi alanındaki üstünlüğünün yanı sıra, pazar diğer uzmanlık alanlarına odaklanmış platformlarla zenginleşmektedir. Bu sistemler genellikle Robotik Cerrahi Platformu (RAS) adı altında toplanabilir ve spesifik cerrahi gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmıştır:

- **Ortopedik Cerrahi Robotları:** MAKO (Stryker) ve Rosa (Zimmer Biomet) gibi robotlar, diz ve kalça protezi ameliyatlarında kullanılır (Innocenti ve Bori 2021). Bu robotlar, ameliyat öncesi görüntülemeye dayanarak cerrahi planlamayı yapar ve kemik kesimlerini inanılmaz bir milimetrik hassasiyetle gerçekleştirip protezin optimum yerleşimini sağlayarak hastanın eklem fonksiyonlarının maksimize edilmesini sağlar.
- **Laparoskopik ve Tek Portlu Sistemler:** Bazı yeni nesil platformlar, cerrahlara dokunsal geri bildirim sağlama veya operasyon alanına tek bir küçük kesiden erişim imkanı sunma gibi farklı avantajlara odaklanır. Örneğin, Da Vinci SP (Single Port), tüm cerrahi enstrümanların ve kameranın tek bir porttan girmesini sağlayarak postoperatif ağrıyı azaltmayı ve kozmetik sonuçları iyileştirmeyi hedefler (Arney vd. 2024). Senhance Cerrahi Sistemi ise, cerraha dokunma hissi geri bildirimi sunarak doku manipülasyonunda daha fazla kontrol sağlamayı amaçlar.

4. HEDEFLenen CERRAHİ ALANLAR

Robotik cerrahinin uygulama alanları oldukça geniştir ve bu teknoloji, cerrahinin birçok dalında devrim yaratmaktadır. Üroloji, jinekoloji, kardiyovasküler cerrahi ve genel cerrahi,

robotik sistemlerin en çok kullanıldığı disiplinler arasında ön plana çıkmaktadır (Rivero-Moreno vd. 2023). Bu bölümler, robotik cerrahinin sunduğu avantajların en belirgin şekilde görüldüğü alanlardır.

4.1. Üroloji

Üroloji alanında, özellikle prostat kanseri tedavisinde robotik cerrahi sıklıkla tercih edilmektedir. Da Vinci robotik cerrahi sistemi, prostatın çıkarılması (robotik prostatektomi) gibi karmaşık işlemlerde önemli avantajlar sunmaktadır (Ju vd. 2021). Bu sistemin, cerrahların prostat bezinin çevresindeki sinirlere ve dokulara verdikleri zararı azalttığı, hastaların ameliyat sonrası iyileşme sürecini hızlandırdığı ve yan etkileri en aza indirdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında böbrek taşlarının tedavisi, böbrek tümörlerinin çıkarılması ve idrar yolu obstrüksiyonları gibi diğer ürolojik problemler için kullanılan robotik sistemler sayesinde hastaların tedavi süreçleri daha az invaziv ve daha konforlu hale gelmektedir.

4.2. Jinekoloji

Jinekoloji alanında da robotik cerrahi, özellikle rahim ağzı kanseri, rahim alınması (histerektomi) ve endometriozis gibi durumların tedavisinde sıkça kullanılmaktadır (Matsuura vd. 2025). Minimal invaziv cerrahi teknikleri ile bir araya gelen robotik yaklaşım iyileşme sürelerini büyük ölçüde kısaltarak hasta memnuniyetini artırmaktadır. Jinekolojik ameliyatlarda, robotik cerrahinin sağladığı hassasiyet, cerrahların rahim ve çevresindeki ince yapıları daha iyi korumasına olanak tanır.

Rahim alınması gibi işlemlerde, robotik cerrahinin sunduğu avantajlar arasında daha az kanama, daha düşük enfeksiyon oranları ve daha hızlı iyileşme süreleri yer almaktadır.

4.3. Kardiyovasküler Cerrahi

Robotik cerrahinin bir diğer önemli uygulama alanı olan kardiyovasküler cerrahide kullanılan robotik sistemler, kalp kapak hastalıkları ve bypass cerrahisi gibi karmaşık işlemlerde daha düşük komplikasyon oranları ve daha hızlı iyileşme süreleri sağlama potansiyeline sahiptir. Geleneksel açık cerrahi yöntemlerine kıyasla daha az invaziv olan bu işlemler genel anestezi süresinin kısalmasını sağlar.

Robotik cerrahinin kardiyovasküler alandaki uygulamaları, cerrahların daha hassas bir şekilde müdahale etmelerine olanak tanır. Cerrahlar, kalp kapaklarının onarımı veya değiştirilmesinde robotik aletler sayesinde kalbin hassas bölgelerine daha dikkatli bir şekilde ulaşabilirler. Küçük kesilerle gerçekleştirilen bu ameliyatlara, hastaların iyileşme sürelerini kısaltmaya katkıda bulunur.

4.4. Genel Cerrahi

Robotik cerrahinin genel cerrahi alanında da birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Genel cerrahide robotik sistemler, safra kesesi ameliyatlara, apandisit cerrahisi ve obezite cerrahisi gibi çeşitli işlemlerde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler, cerrahların daha büyük bir hareket alanına sahip olmasına ve belirli anatomik yapıların korunmasına yardımcı olmaktadır. Böylece, komplikasyon oranları düşerken, tedavi süreleri de daha etkin hale gelmektedir.

Robotik cerrahinin hedeflediği cerrahi alanlar, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaya yönelik önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Üroloji, jinekoloji, kardiyovasküler cerrahi ve genel cerrahi gibi farklı disiplinlerde sağladığı avantajlar, bu yöntemin gelecekteki cerrahi uygulamalarında önemli bir rol oynamasına işaret etmektedir. Yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu, hasta sonuçlarını iyileştirme konusunda cerrahlara yeni olanaklar sunarken, sağlık sistemlerinin genel verimliliğini

de artırmaktadır. Robotik cerrahinin sunduğu fırsatların genişlemesi, sağlık alanında önemli bir gelişim sağlamaya devam edecektir.

5. ROBOTİK CERRAHİDEKİ YENİLİKLER

5.1. Teknolojik Gelişmeler

Robotik cerrahi, modern tıbbın en çarpıcı gelişmelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu alandaki yeniliklerin başında, gelişmiş görselleştirme teknolojileri gelmektedir. 3 boyutlu yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri, cerrahların anatomiye dair daha ayrıntılı bir anlayış kazanmasını sağlar (Chatterjee vd. 2024). Bu sistemler, cerrahların cerrahi alanı daha net bir şekilde görmesine imkan tanırken, girişimlerin daha az invaziv yollarla yapılmasına olanak sunarak karşılaşılabilecek zorlukları minimize eder. Artık cerrahlar, 3 boyutlu görüntüleme sayesinde organları ve dokuları sadece düz bir yüzeyde değil, üç boyutlu bir yapı içinde görerek daha etkili ve güvenli bir şekilde karar verebilmektedir (Correia, Oliveira, ve Correia 2024).

Görselleştirme sistemlerindeki bu ilerleme, aynı zamanda cerrahların müdahale öncesinde ve esnasında daha iyi plan yapmalarına olanak sağlar. Daha detaylı görüntüleme, anatomik yapıların yanı sıra, çevresel dokuların da dikkate alınmasını sağlayarak sağlıklı dokuların korunmasına ve hasta için en az zarar verecek yöntemlerin seçilmesine yardımcı olur (Chatterjee vd. 2024).

Diğer bir önemli gelişme ise, alet hareketlerinin daha hassas kontrolünü sağlayan motor sistemlerinin geliştirilmesidir. Gelişmiş algoritmalar ve sensörler ile donatılmış motor sistemleri cerrahların el ve parmak hareketlerini gerçek zamanlı olarak algılama yeteneğine sahiptir. Cerrahların doğal el hareketlerini taklit edebilen bu sistemler, daha karmaşık ve ince operasyonlar

gerçekleştirilebilmesini mümkün kılar (Peters vd. 2018). Bu özellik, cerrahların hissettiği gerilimi azaltarak daha fazla odaklanmalarını mümkün kılar; böylece uzmanların işlem sırasında karşılaşacakları zorluklar azalabilir (AlSajri ve Hariry 2024).

Gelişmiş alet hareket kontrollerinin yanı sıra, yazılım sistemleri de robotik cerrahinin başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Gelişmiş yapay zeka algoritmaları cerrahların seçimlerini desteklerken işlemlerin daha hızlı ve verimli gerçekleştirilmesine olanak tanır (Correia, Oliveira, ve Correia 2024). Bu sistemler, gerçekleştirilen her operasyonla birlikte öğrenir ve böylece deneyim kazandıkça başarı oranını artırır.

Robotik cerrahinin sağladığı bu teknolojik avantajlar, cerrahların daha az komplikasyonlu ve etkin müdahalelerde bulunmalarını sağlamaktadır. Düşük invaziv yöntemler sayesinde hastalar daha kısa sürede iyileşir ve hastanede kalış süreleri kısalmır. Robotik cerrahi alanındaki teknolojik gelişmeler aynı zamanda hasta güvenliğini de önemli ölçüde artırırken hastaların yaşam kalitesini de yükselterek, daha iyi sonuçlar elde edilmesine katkı sunar.

Görselleştirme teknolojileri, motor sistemleri ve gelişmiş yazılımlar, cerrahların daha az stresle karmaşık operasyonlar gerçekleştirmesine yardımcı olurken, tıbbi uygulamaların geleceğini şekillendirmekte birer temel taş olmaya devam etmektedir. Geliştirilen bu sistemlerle, robotik cerrahinin potansiyeli, tıbbın evrimi açısından büyük bir ivme kazanmış durumdadır.

5.2. Robotik Cerrahide Eğitim ve Simülasyonun Önemi

Robotik cerrahinin başarısı, aynı zamanda cerrahların bu teknolojiyi etkin bir şekilde kullanabilme becerisine bağlıdır. Eğitim ve simülasyon, robotik cerrahi alanında kritik bir rol

oynamaktadır. Cerrahlar, robotik sistemleri kullanmadan önce simülatörler aracılığıyla eğitim alarak pratik yapma imkanına sahip olurlar. Bu eğitimler, belirli cerrahi teknikleri ve robotun nasıl kontrol edileceğini öğrenmelerine olanak tanır. Eğitimde simülasyon teknolojilerinin kullanılması, cerrahların robotik sistemlerdeki becerilerini geliştirmelerine yardımcı olurken, aynı zamanda hasta güvenliğini artırır.

Simülasyon, cerrahların hatalarını düşük riskle deneyimlemelerine olanak tanıyarak gerçek cerrahi işlemler sırasında daha fazla güven ve yetkinlik kazanmalarına yardımcı olur. Eğitim programlarının artırılması ve simülasyon teknolojilerinin entegrasyonu robotik cerrahinin başarısını pekiştirecek ve gelecekteki cerrahilerin kalitesini artıracaktır.

Sağlık hizmetlerinde devrim yaratacak potansiyele sahip olan robotik cerrahideki yenilikler, teknolojik gelişmeler, cerrahi süreçlerdeki optimizasyonlar ve eğitim simülasyonlarının entegrasyonu hem cerrahların becerilerini geliştirecek hem de hasta sonuçlarını iyileştirerek sağlık hizmetlerinin genel kalitesini artıracaktır.

6. HASTA SONUÇLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLER

6.1. Minimal İnvaziv Cerrahi Avantajları

Robotik cerrahi, minimal invaziv cerrahi tekniklerinin uygulanmasına olanak tanıyarak hastalar için bir dizi avantaj sunmaktadır. Geleneksel açık cerrahinin sağladığı avantajlar ile karşılaştırıldığında robotik cerrahi, cerrahi müdahale sonrası süreçleri önemli ölçüde geliştirmektedir. Bu süreçlerden en belirgin olanlarından biri, uygulanan işlemlerde daha az doku hasarı sebebiyle iyileşme sürelerinin kısalmasıdır. Minimal invaziv cerrahinin bir sonucu olarak, hastalar, operasyon sonrasında yaşadıkları ağrının azaldığını ve genellikle daha hızlı

bir iyileşme süreci geçirdiklerini bildirmektedir (AlSajri ve Hariry 2024).

Özellikle robotik prostatektomi gibi spesifik uygulamalarda yapılan araştırmalar, bu tür cerrahiler geçiren hastaların açık prostatomiden sonra daha az ağrı hissettiğini ve iyileşme sürelerinin kayda değer derecede kısaldığını ortaya koyarak minimal invaziv cerrahinin daha az travmatik olmasının bir kanıtı olarak değerlendirilmektedir (Ilic vd. 2017). Ayrıca, kısaltılmış anestezi süreleri cerrahinin güvenliğini artırmakta ve komplikasyon riskini azaltarak hem hastalar hem de sağlık çalışanları için önemli bir fayda sağlamaktadır.

Robotik cerrahide geleneksel cerrahi yöntemlere göre daha küçük kesiler yapılması postoperatif dönemde enfeksiyon oranlarının düşmesine yardımcı olarak hastaların komplikasyon riskini azaltırken hastanede kalma sürelerini de kısaltmaktadır. Hastanede kalma sürelerinin kısılması hasta tatminini artırmakta ve sağlık sistemlerinde önemli bir maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Uzun hastane yatışları genellikle hem hasta hem de sağlık hizmetleri açısından maliyetli olabildiğinden robotik cerrahinin sağladığı kısaltmalar, maliyetleri olumlu yönde etkilemektedir.

Ayrıca, robotik cerrahi hastaların genel sağlık deneyimlerini de iyileştirerek hastaların günlük aktivitelerine daha hızlı dönmelerini sağlamaktadır. Hastaların psikolojik etkileri üzerinde de olumlu bir etki yaratan bu yöntem hastaların daha hızlı iyileşme ve daha az ağrı ile tedavi süreçlerinden daha memnun kalmalarını sağlamaktadır. Böylece robotik cerrahi hastaların sağlık sistemine olan güvenini artırabilme ve onların tedavi süreçlerine daha fazla katılım göstermelerine katkı sağlayabilmektedir.

6.2. Cerrahi Komplikasyon Oranlarının Değerlendirilmesi

Robotik cerrahinin en belirgin avantajlarından biri, cerrahi komplikasyon oranlarını azaltma kapasitesidir. Bu durum, robotik sistemlerin sağladığı hassas kontrol ve gelişmiş görselleştirme teknolojileri sayesinde mümkün olmaktadır. Araştırmalar, robotik cerrahinin, özellikle kanama ve yara iyileşmesi ile ilgili komplikasyonları önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Bu tür sistemler, cerrahların daha karmaşık anatomik yapılar üzerinde çalışırken, daha az riskle işlemler yapmalarına olanak tanır.

Hastalar, robotik cerrahi uygulamaları sonrasında daha fazla güvenlik hissetmekte ve iyileşme süreçlerinin daha sorunsuz geçmesini beklemektedir. Bu durum, genel hasta memnuniyetini artırırken, cerrahların da daha az stresli bir şekilde çalışmalarını sağlar (Peters vd. 2018). Robotik cerrahinin sunduğu imkanlar, sadece başarılı cerrahi sonuçlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda hastaların deneyimlerini ve yaşam kalitelerini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenlerle, robotik cerrahinin daha fazla benimsenmesi, sağlık hizmetlerinde önemli bir devrim yaratma potansiyeline sahiptir.

6.3. Uzun Dönem Sağlık Sonuçları ve Hasta Memnuniyeti

Uzun dönem sağlık sonuçları açısından, robotik cerrahinin sağladığı faydalar da önemli bir konudur. Uzun dönemde gerçekleştirilen takip çalışmalarında, robotik cerrahi ile tedavi edilen hastaların yaşam kalitelerinin, açık cerrahiden sonra daha iyi olduğu bilinmektedir. Robotik prostat cerrahisi üzerine yapılan çalışmalar, hastaların iyileşme süreçlerinde daha az yan etki yaşadıklarını ortaya koymaktadır.

Hasta memnuniyeti de robotik cerrahinin bir diğer önemli parametresidir. Yapılan anketlerde, robotik cerrahi geçiren

hastaların, operasyon sonrası memnuniyet oranlarının oldukça yüksek olduğu rapor edilmiştir. Hastalar, daha az ağrı, kısa iyileşme süresi ve daha hızlı günlük hayata dönüş gibi avantajlardan dolayı cerrahi sürecinden memnun olduklarını ifade etmektedirler. Ayrıca, bu durum hastaların cerrahi müdahaleye dair algı ve tutumlarını da olumlu yönde etkilemektedir.

7. KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

7.1. Teknik Zorluklar ve Sınırlamalar

Robotik cerrahinin uygulanmasında bazı teknik zorluklar ve sınırlamalar mevcuttur. İlk olarak, robotik sistemlerin karmaşık yapısı, cerrahların bu cihazları etkin bir şekilde kullanabilmesi için belirli bir öğrenme eğrisi gerektirir. Yeni başlayan cerrahların robotu kullanma konusunda deneyim kazanması zaman alabilir ve bu, özellikle acil durumlarda sorunlara yol açabilir.

Ayrıca, robotik cerrahinin henüz tüm cerrahi alanlarda uygulanabilirliği sınırlıdır; bazı karmaşık veya özel durumlar, robotik sistemler için uygun olmayabilir. Bu durum, cerrahların robotik sistemlerin avantajlarından tam anlamıyla yararlanmasını kısıtlayabilir.

7.2. Eğitim ve Personel Gereksinimleri

Robotik cerrahinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, cerrahların ve sağlık personelinin bu alanda uygun eğitim alması gerekir. Eğitim süreçleri, robotik sistemlerin nasıl çalıştığını ve cerrahların bu sistemleri nasıl en iyi şekilde kullanacaklarını öğretmeyi amaçlamaktadır. Eğitimde önemli bir rol oynayan simülasyon teknolojileri, gerçek cerrahi işlemlerden önce robotik

sistemlerin kullanımının tecrübe edilmesini sağlar. Bu durum, cihazların doğru ve etkili kullanımına katkı sağlayabilmektedir.

Eğitim gereksinimlerinin yanı sıra, bu sistemlerin uygulanabilmesi için sağlık kuruluşlarında da teknik destek ekiplerinin bulunması gerekmektedir. Teknik bakım, güncellemeler ve destek sağlayacak personellerin varlığı, robotik sistemlerin sürekli ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için şarttır.

7.3. Maliyet Analizi

Robotik cerrahinin ekonomik etkileri ilk yatırım maliyetleri ve uzun dönem maliyetleri ile değerlendirilir. Robotik cerrahi sistemleri, genellikle yüksek başlangıç yatırımını gerektirir. Bir da Vinci cerrahi sistemi gibi robotik bir platformun maliyeti, satın alma, bakım ve yazılım güncellemeleri gibi faktörlerle birlikte oldukça yüksek olduğundan birçok sağlık kuruluşunun bu cihazlara erişimine engel oluşturabilir (Chatterjee vd. 2024).

Bununla birlikte, robotik cerrahinin uzun dönem maliyetlerine baktığımızda, birçok çalışma bu sistemlerin sağlık hizmetleri sunumundaki maliyet etkinliğini vurgulamaktadır. Robotik cerrahinin sunduğu daha kısa hastanede kalış süreleri, azalmış komplikasyon oranları ve daha hızlı iyileşme süreleri, genel sağlık maliyetlerini düşürebilir. Robot ile yapılan cerrahi girişimlerden sonra hastaların yaşadığı komplikasyonların daha az olması, hastane maliyetlerini ciddi anlamda azaltabilir. Dolayısıyla, başlangıçtaki yüksek yatırım, uzun vadede maliyet etkinliği açısından telafi edilebilir.

7.4. Etik ve Hukuki Sorunlar

Robotik cerrahinin yükselişi, bazı etik ve hukuki sorunları da beraberinde getirmiştir. Hasta güvenliği ve mahremiyeti gibi konular, robotik ameliyatlarda önemli bir tartışma alanıdır. Robotik sistemlerin toplayabileceği veri türleri ve bu verilerin

nasıl yönetileceği, sağlık hizmeti sağlayıcıları ve hastalar için karmaşık bir etik sorun oluşturabilir. Ayrıca, robotik cerrahi uygulamalarında yaşanan komplikasyonlar durumunda, sorumluluğun kime ait olduğu konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Eğer bir robotik cerrahi komplikasyonu meydana gelirse, sorumluluğu cerrah mı, hastane mi yoksa robotik sistemi üreten firma mı üstlenecektir? Bu tür sorular, robotik cerrahinin hukuki çerçevesinin henüz tam olarak netleşmediğini göstermektedir.

8. GELECEKTEKİ POTANSİYEL GELİŞMELER VE ARAŞTIRMA ALANLARI

Gelecekte robotik cerrahinin potansiyeli oldukça yüksektir. Yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu ile robotik cerrahinin kapsamı genişleyebilir. Günümüzün teknolojisi olan yapay zeka ve makine öğrenimi, robotik cerrahinin performansını artırarak cerrahların daha iyi karar vermesine ve daha hassas müdahaleler yapmasına olanak tanıyabilir (Celotto vd. 2024; Moglia vd. 2021). Aynı zamanda, robotik sistemlerin daha hafif ve taşınabilir hale gelmesi, farklı cerrahi alanlarda daha geniş bir şekilde kullanılmasını teşvik edebilir.

Araştırma alanları açısından, robotik cerrahi ile ilgili klinik sonuçların ve hasta memnuniyetinin daha fazla analiz edilmesi, gelecekteki gelişmeler için önemli bir temel oluşturabilir. Özellikle, robotik cerrahinin spesifik hastalık gruplarındaki etkilerini araştıran çalışmalara ihtiyaç vardır (Moglia vd. 2021). Bunun yanı sıra, robotik sistemlerin eğitim süreçlerinin ve simülasyon teknolojilerinin geliştirilmesi, cerrahların bu sistemler üzerindeki yetkinliğini artırarak, robotik cerrahinin daha yaygın bir şekilde benimsenmesine katkıda bulunacaktır (Celotto vd. 2024).

Sonuç olarak, robotik cerrahinin karşılaştığı teknik zorluklar ile etik ve hukuki sorunlara rağmen, sahip olduğu büyük potansiyel ve gelecekteki gelişme alanları göz önünde bulundurulduğunda, bu teknolojinin sağlık sistemleri içindeki yeri giderek daha da önemli hale gelecektir.

9. SONUÇ

Robotik sistemler, cerrahi alanında devrim niteliğinde bir dönüşüm yaratmış ve bu dönüşüm hem hastalara hem de sağlık profesyonellerine birçok avantaj sunmuştur. Robotik cerrahinin sağladığı hassasiyet, düşük komplikasyon oranları ve minimum invaziv teknikler, kurumsal sağlık hizmetlerinin kalitesini artırabilme potansiyeline sahiptir. Cerrahi robotlar, cerrahların iş süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetmesine yardımcı olarak, daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlar; daha az ağrı ve daha hızlı iyileşme süreleri ile hasta memnuniyetini artırır (Celotto vd. 2024).

Hastaların tedavi sonuçlarını baz alan değerlendirmeler, robotik cerrahinin genel sağlık hizmetleri üzerindeki olumlu etkilerini net bir şekilde ortaya koymuştur. Çeşitli sağlık alanlarında robotik cerrahinin uygulanması, hasta güvenliğini artırmakta, hastanede kalış sürelerini azaltmakta ve postoperatif komplikasyonları önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sonuçlar, robotik cerrahinin sadece bir yenilik değil, aynı zamanda sağlık sisteminde kalıcı bir değişim aracı olduğunu göstermektedir.

Gelecek için öneriler, robotik cerrahinin etkinliğini artırmaya yönelik teknolojik gelişmeleri ve eğitim süreçlerini içermektedir. Robotik cerrahinin sınırlamalarını aşmak ve bu alandaki teknik zorlukları çözmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Yapay zeka, makine öğrenimi ve veri analitiği gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu, robotik cerrahinin gelecekte daha da geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Ayrıca, eğitim programlarının ve simülasyon teknolojilerinin güçlendirilmesi, cerrahların robotik sistemlerden en iyi şekilde faydalanmalarını sağlayacak ve hasta sonuçlarını iyileştirecektir.

Sonuç olarak, robotik sistemlerin cerrahi alanındaki önemi her geçen gün artmaktadır. Sağlık hizmetlerinde sağladığı yenilikler ve hasta sonuçlarındaki olumlu etkileri, bu teknolojinin gelecekteki araştırmalar ve gelişmeler için güçlü bir temel oluşturduğunu göstermektedir. Robotik cerrahinin potansiyelinden en iyi şekilde yararlanmak için, araştırma alanlarının genişletilmesi ve eğitim süreçlerinin güçlendirilmesi kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- AlSajri, Abdulazeez AlSajri, ve Nour Hariry. 2024. “The Future of Surgery: Robotic-Assisted Procedures and Their Impact”. *SHIFAA* 2024: 52-55. doi:10.70470/SHIFAA/2024/006.
- Arney, Lucas A., Randall G. Bissette, Jordan M. Smith, ve Christopher E. Bayne. 2024. “Implementation and Utility of the Da Vinci SP (Single Port) in Pediatric Urology”. *Current Urology Reports* 26(1): 8. doi:10.1007/s11934-024-01231-7.
- Burbano, Juan Carlos Rojas, Nicolás Idárraga Ruiz, Gustavo Andrés Rojas Burbano, José Sebastián Guacho Inca, Carlos Alejandro Arragan Lezama, Manuel Sánchez González, Juan Carlos Rojas Burbano, vd. 2025. “Robot-Assisted Surgery: Current Applications and Future Trends in General Surgery”. *Cureus* 17. doi:10.7759/cureus.82318.
- Celotto, Francesco, Niccolò Ramacciotti, Alberto Mangano, Giacomo Danieli, Federico Pinto, Paula Lopez, Alvaro Ducas, vd. 2024. “Da Vinci Single-Port Robotic System Current Application and Future Perspective in General Surgery: A Scoping Review”. *Surgical Endoscopy* 38(9): 4814-30. doi:10.1007/s00464-024-11126-w.
- Chatterjee, Swastika, Soumyajit Das, Karabi Ganguly, ve Dibyendu Mandal. 2024. “Advancements in Robotic Surgery: Innovations, Challenges and Future Prospects”. *Journal of Robotic Surgery* 18(1): 28. doi:10.1007/s11701-023-01801-w.
- Correia, Américo, Sancho Oliveira, ve Américo Correia. 2024. “Robotics Application in the Hospital Domain: Operator-

Patient- Robot Interface”.
doi:10.20944/preprints202406.1161.v1.

- Díaz, Carlos Eduardo, Roemi Fernández, Manuel Armada, ve Felipe de Jesús García Gutiérrez. 2015. “State of the art in robots used in minimally invasive surgeries. Natural Orifice Transluminal Surgery (NOTES) as a particular case”. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application* 42(6): 508-32. doi:10.1108/IR-03-2015-0055.
- Gharagozloo, Farid, Barbara Tempesta, Mark Meyer, Duy Nguyen, Stephan Gruessner, ve Jay Redan. 2021. “History of Robotic Surgery”. İçinde *Robotic Surgery*, ed. Farid Gharagozloo, Vipul R. Patel, Pier Cristoforo Giulianotti, Robert Poston, Rainer Gruessner, ve Mark Meyer. Cham: Springer International Publishing, 21-29. doi:10.1007/978-3-030-53594-0_3.
- Ilic, Dragan, Sue M Evans, Christie Ann Allan, Jae Hung Jung, Declan Murphy, ve Mark Frydenberg. 2017. “Laparoscopic and Robotic-Assisted versus Open Radical Prostatectomy for the Treatment of Localised Prostate Cancer” ed. Cochrane Urology Group. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2017(9). doi:10.1002/14651858.CD009625.pub2.
- Innocenti, Bernardo, ve Edoardo Bori. 2021. “Robotics in Orthopaedic Surgery: Why, What and How?” *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 141(12): 2035-42. doi:10.1007/s00402-021-04046-0.
- Ju, Guan-Qun, Zhi-Jun Wang, Jia-Zi Shi, Zong-Qin Zhang, Zhen-Jie Wu, Lei Yin, Bing Liu, Lin-Hui Wang, ve Dong-Liang Xu. 2021. “A Comparison of Perioperative Outcomes between Extraperitoneal Robotic Single-Port and Multiport Radical Prostatectomy with the Da Vinci Si

- Surgical System”. *Asian Journal of Andrology* 23(6): 640. doi:10.4103/aja.aja_50_21.
- Kalan, Satyam, Sanket Chauhan, Rafael F. Coelho, Marcelo A. Orvieto, Ignacio R. Camacho, Kenneth J. Palmer, ve Vipul R. Patel. 2010. “History of Robotic Surgery”. *Journal of Robotic Surgery* 4(3): 141-47. doi:10.1007/s11701-010-0202-2.
- Matsuura, Motoki, Masato Tamate, Shutaro Habata, ve Tsuyoshi Saito. 2025. “A New Surgical Technique for Robotic Hysterectomy Using the Da Vinci SP® System”. *Updates in Surgery*. doi:10.1007/s13304-025-02282-2.
- Moglia, Andrea, Konstantinos Georgiou, Evangelos Georgiou, Richard M. Satava, ve Alfred Cuschieri. 2021. “A Systematic Review on Artificial Intelligence in Robot-Assisted Surgery”. *International Journal of Surgery* 95: 106151. doi:10.1016/j.ijssu.2021.106151.
- Peters, Brian S., Priscila R. Armijo, Crystal Krause, Songita A. Choudhury, ve Dmitry Oleynikov. 2018. “Review of Emerging Surgical Robotic Technology”. *Surgical Endoscopy* 32(4): 1636-55. doi:10.1007/s00464-018-6079-2.
- Rivero-Moreno, Yeisson, Sophia Echevarria, Carlos Vidal-Valderrama, Luigi Stefano-Pianetti, Jesus Cordova-Guilarte, Jhon Navarro-Gonzalez, Jessica Acevedo-Rodríguez, vd. 2023. “Robotic Surgery: A Comprehensive Review of the Literature and Current Trends”. *Cureus*. doi:10.7759/cureus.42370.

BİYOİNFORMATİK ARAÇLAR KULLANILARAK MPOX (MAYMUN ÇİÇEĞİ) VİRÜSÜNE YÖNELİK PROTEİN HEDEFLERİN BELİRLENMESİ

Ayşe Banu PAK¹

1. GİRİŞ

Bu çalışma, maymun çiçeği virüsü (MPXV) enfeksiyonunda protein hedeflerinin belirlenmesi için gerekli biyolojik temelleri ve güncel yaklaşımları özetlemektedir. MPXV proteinlerinin işlevlerini ve yapısal özelliklerini ayrıntılı biçimde ele alırken, özellikle hücre dışı zarflı virüs (EEV) ve hücre içi olgun virüs (IMV) formlarında yer alan proteinlere odaklanmaktadır. Çalışma, klinik bulguların benzerliği nedeniyle tanı ve klinik yönetimde ortaya çıkan güçlüklerin ve dünya genelinde artan vakalar bağlamında hedefe yönelik antiviral stratejiler geliştirmek için doğru protein hedeflerinin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, protein veri bankası (PDB) kullanılarak protein hedefleri belirlenmiş ve bunlara ait bazı bilgiler sunulmuştur. MPXV proteinlerinin daha iyi anlaşılmasının, yeni protein hedeflerinin tanımlanması ve bu hedeflere dayalı alternatif tedavi yaklaşımlarının (geliştirilmesi için kritik olduğu düşünülmektedir).

Mpox (eski adıyla monkeypox), Poxviridae ailesinin Orthopoxvirus (OPXV) cinsine ait olan maymun çiçeği virüsünün neden olduğu zoonotik bir bulaşıcı hastalıktır (Choudhury et al., 2023). Bildirilen vakaların yaklaşık %72'si zoonotik kaynaklardan kaynaklanmaktadır (Krishna et al., 2024). Hastalık

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Trabzon Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-9490-3504 .

genellikle döküntü, ateş, baş ağrısı ve sırt ağrısıyla belirtileri başlar, devamında sistemik döküntü ve kabarcıklar gelişmektedir. Genellikle 2-4 hafta süren, çiçek hastalığına benzer semptomlarla insanları etkileyen bulaşıcı bir viral hastalıktır (Shi et al., 2022). Diğer virüs ailelerinden kaynaklanan enfeksiyonlara benzerliğinden dolayı teşhis edilmesi zordur (Sagdat et al., 2024). Mpox potansiyel olarak ölümcül sonuçlara yol açabilen bir enfeksiyondur (Adalja & Inglesby, 2022). Bu virüs ilk kez 1958 yılında Danimarka’da tanımlanmıştır (Moatasim et al., 2025). İnsandaki ilk vakası 1970’te Demokratik Kongo Cumhuriyeti’nde dokuz aylık bir bebekte (erkek) bildirilmiştir (Moatasim et al., 2025). İlk ortaya çıktığından bu yana, mpox salgınlarında bir artış olmuş ve bunlar büyük bir oranla Afrika kıtasında meydana gelmiştir. Mayıs 2022’den itibaren ise mpox vakaları Avrupa ve Kuzey Amerika’da da rapor edilmeye başlanmıştır. Türkiye’de ilk doğrulanmış mpox vakası, Haziran 2022’de Sağlık Bakanlığı tarafından duyurulmuştur (Reuters, 2022).

MPXV, zarflı çift sarmallı (ds) DNA genoma sahip bir Orthopoxvirus olup genom büyüklüğü yaklaşık olarak 197 kb’dır ve genom genel olarak 180–190 protein/ORF kodlayacak şekilde raporlanmaktadır (Lum et al., 2022) (NCBI, Aralık 2025). Virüsün takson adı ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses) sınıflandırmasına göre “Orthopoxvirus monkeypox” olarak ifade edilmektedir (ICTV, Aralık 2025).

Artan küresel vaka sayıları nedeniyle DSÖ, 23 Temmuz 2022’de MPXV’yi uluslararası öneme sahip bir halk sağlığı acil durumu olarak ilan etmiştir. Dünya genelinde, mpox hastalığı, 24 Mayıs 2023 itibarıyla dünya çapında 87.543’ten fazla laboratuvar onaylı vakaya ulaşarak, daha önce endemik olmayan 110’dan fazla ülkede görülmüştür (Brown et al., 2023). 2022’deki MPXV salgını, aşılar üzerinde yoğunlaşarak tedavi yöntemlerinin araştırma ve geliştirilmesini hızlandırarak 2023’te bir düşüş

göstermiştir. Ancak Mpox'un 2024 yılında yeniden ortaya çıkması nedeniyle, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Mpox'u ikinci kez Uluslararası Öne Sıran Sahip Halk Sağlığı Acil Durumu olarak ilan etmiştir (Dutta et al., 2025). Son salgında, dünyanın dört bir yanındaki 118 farklı konumda toplam 97.281 vaka ve 184 ölüm bildirilmiştir (Dutta et al., 2025). Günümüzde (2025 yılı) MPXV enfeksiyonuna yönelik tam anlamıyla spesifik ve kanıt düzeyi yüksek bir tedavi seçeneği bulunmadığından, koruyucu önlemlerin geliştirilmesi zorunlu bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Choudhury et al., 2023). Ancak mpox enfeksiyonunda spesifik tedavi seçeneklerinin sınırlı olması nedeniyle, semptomların kontrolünde destekleyici tedavi yaklaşımları klinik açıdan önemini korumaktadır. Ayrıca çiçek aşısının mpox'a karşı kısmi (~%85) koruma sağlayabildiği bildirilmektedir. Klinik uygulamada ise başlangıçta çiçek hastalığına karşı geliştirilen tecovirimat, cidofovir ve brincidofovir gibi bazı antiviral ilaçlar, MPXV enfeksiyonunun antiviral tedavisinde kullanılmaktadır (Choudhury et al., 2023).

Yeni protein hedeflerine duyulan ihtiyaç; klinik çalışmaların bazı popülasyonlarda sınırlı fayda göstermesi, klad1 ve klad2 arası biyoloji/virülans farklılıklarının tedavi yanıtını değiştirebilmesi ve tek hedefe odaklanmanın direnç gelişimi riskini artırmasıyla açıklanmaktadır. Bu kapsamda alanyazında virüsün giriş/bağlanma, hücre içi hareketlilik ve zarf oluşumu/çıkış süreçlerinde rol alan proteinlere yönelik hedef önerileri ve taramaları öne çıkmaktadır. Çalışmalarda bu hedef proteinlere yönelik yeni tedavi seçenekleri önerilmektedir. Mpox proteinlerinin rolleri ve yapısal özellikleri üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, hızlı MPXV tespiti ve hedefe yönelik alternatif yaklaşımların geliştirilmesi açısından önemli imkanlar sağlamaktadır (Sagdat et al., 2024). Özellikle A29L, H3L, E8L, M1R, L1R, C19L, F13, A35R ve B6R gibi proteinler, virüsün yaşam döngüsündeki kritik rolleri ve hedeflenebilir yapısal

bölgeleri nedeniyle potansiyel hedefler olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, söz konusu proteinler hedef protein belirleme ve yapı-temelli değerlendirme bakış açısıyla ele alınmıştır.

2. ENFEKSİYON HASTALIKLARINDA BİYOİNFORMATİK ARAÇLARIN ROLÜ

Biyoinformatik, Mpox gibi hızla yayılan ve enfeksiyon dinamiği değişebilen patojenlerde hem izleme ve erken uyarı hem de ilaç/hedef keşfi açısından kritik bir “hızlandırıcı” rol oynamaktadır. Ayrıca biyoinformatik yaklaşımlar, Mpox gibi enfeksiyonlarda hem salgın yönetimini hem de tedavi geliştirmeyi hızlandırmaktadır. Ek olarak; biyoinformatik ve yapısal yaklaşımlar, yeni tedavi ve teşhis araçlarının geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Örneğin, FDA onaylı ilaçları hedeflemek için yüksek verimli sanal tarama gibi biyoinformatik yöntemler, hedef proteinlere karşı yüksek bağlanma afinitesine sahip ilaçları tanımlamak için kullanılmaktadır.

ICTV, NCBI Taxonomy, NCBI Virus/GenBank/RefSeq, UniProt, RCSB PDB, PubMed (NCBI) vb. biyoinformatik araçlar kullanılarak virüs hakkında ayrıntılı bilgilere erişim sağlanabilir. Ek olarak, virüs proteinlerinin aile, domen, motif ve fonksiyon özelliklerini belirlemek amacıyla InterPro/Pfam (domen–motif anotasyonu), NCBI CDD (korunmuş domen analizi) ve eggNOG (ortolog/işlev çıkarımı) gibi araçlardan yararlanılmaktadır. Yapı tahmini, yapı karşılaştırma ve cep analizi kapsamında ise AlphaFold/ColabFold (PDB’de olmayan proteinler için 3B yapı tahmini), SWISS-MODEL (homoloji modelleme), PDBe-KB (yapı–fonksiyon yorum katmanı; PDB üstü bilgi), DALI (yapısal benzerlik arama), fpocket/DoGSiteScorer/PrankWeb (bağlanma cebi/ilaçlanabilirlik tahmini) kullanılmaktadır. Ancak bu çalışma

kapsamında, yalnızca IMV proteinleri, EEV proteinleri, ile profilin benzeri protein (A42R) için PDB veritabanı üzerinden tarama/araştırma gerçekleştirilmiştir.

Alanyazında, kenetlenme ve moleküler dinamik simülasyonları gibi yapısal biyoinformatik yaklaşımlar ile F13 (VP37) zarf proteininin tecovirimat'ın temel hedeflerinden biri olduğu ve ilacın bu proteinle etkileşimine dayalı antiviral etkisinin yapısal kanıtlarla desteklendiği gösterilmiştir (Li et al., 2022). MPXV proteinlerinin yapı ve fonksiyonlarının daha iyi anlaşılması, tanı/teşhis yöntemlerinin geliştirilmesi açısından temel öneme sahiptir. Bu doğrultudaki çalışmalar, son yıllarda giderek artan bir ivmeyle sürdürülmektedir. Bu çalışma da söz konusu çabalara katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

3. MPOX'A YÖNELİK POTANSİYEL PROTEİN HEDEFLER

MPXV yapısal proteinlerini kodlayan genler, oldukça korunmuş merkezi genomik bölgede yer almaktadır ve mpox virüsünün farklı formlarında ifade edilmektedir. Bir başka ifade ile Mpox virüsünün yapısal proteinlerinin genleri, son derece korunmuş merkezi genomik bölgede yer alır ve hücre içi olgun virüs (IMV) ve hücre dışı zarflı virüs (EEV) dahil olmak üzere çeşitli Mpox virüs formlarında bulunmaktadır (Chaudhary et al., 2025). Alanyazında en sık iki enfeksiyöz form öne çıkarılmakta olup bunlar IMV ve EEV formlarıdır. IMV, hücre içinde oluşan “olgun” virionu temsil etmektedir. Ayrıca bu genellikle en bol üretilen formdur ve çevresel koşullara görece daha dayanıklı kabul edilmektedir. IMV'nin bir kısmı, hücre içinde ek bir zar kazanarak IEV formuna dönüşmektedir. IEV, virionun hücre içinde taşınması ve hücre yüzeyine yönlendirilmesinde işlev görmektedir. Bu sürecin devamında virion hücre yüzeyinde bağlı kaldığında CEV (cell-associated enveloped virion), hücre dışına

salındığında ise EEV formu oluşmaktadır. Dolayısıyla IEV ve CEV, IMV ile EEV arasındaki geçiş basamaklarını temsil eden ara/ilişkili formlar olarak tanımlanmaktadır. IMV ve EEV'de, viral parçacıklar zarf zarı ve yüzey glikoproteinlerinin bileşiminde farklılık göstermektedir (Chaudhary et al., 2025). IMV tek zarlı bir yapıya sahipken, EEV çift zarlı bir yapıya sahiptir. Hem EEV hem de IMV, virüsün konakçı hücrelere girişi ve çoğalması için çok önemlidir (Kushwaha et al., 2025).

Sagdat ve ark. yapmış oldukları 2024 çalışmalarında MPXV proteinleri ve özelliklerini ayrıntılı olarak açıklamışlardır (Sagdat et al., 2024). MPXV'de IMV proteinleri A29, H3L, E8L, M1R ve L1R'yi; EEV proteinleri F13, A35R, B6R ve C19L dâhil olmak üzere toplam 25 membran proteinini; ve profilin benzeri proteinler ise A42R'yi kapsamaktadır (Sagdat et al., 2024). EEV tipi 25 farklı membran proteini içerirken, IMV tipi M1R ve A29'un yanı sıra L1R, H3L ve E8L gibi çeşitli diğer proteinleri de ifade etmektedir (Kushwaha et al., 2025). Olgun virüsler, bağışıklık tepkisini tetikleyen ve böylece enfeksiyonu engelleyen L1R proteinini taşımaktadırlar. Bu çalışma kapsamında, MPXV'nin IMV ve EEV formlarında yer alan seçili proteinlere yönelik hedef proteinlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma özelinde Protein Data Bank (PDB) veritabanı kullanılarak ilgili hedef proteinlere ilişkin yapı kayıtları taranmıştır. Aşağıda, IMV proteinleri (A29, H3L, E8L, M1R ve L1R), EEV proteinleri (F13, A35R, B6R ve C19L) ile profilin benzeri protein (A42R) için gerçekleştirilen arama sonuçları sunulmaktadır.

3.1. IMV proteinleri (IMV proteins)

Bu başlık altında, IMV proteinleri kapsamında yer alan proteinlere ilişkin kısa bilgiler sunulmuş; ayrıca PDB veritabanında anahtar kelime temelli tarama yapılarak ilgili

proteinler için üç boyutlu yapı kaydı bulunup bulunmadığı araştırılmıştır.

3.1.1. A29 protein

A29L, maymun çiçeği virüsünden elde edilen IMV ile ilişkili viral zarf üzerinde bulunan bir proteindir (Kushwaha et al., 2025). A29, viral replikasyon döngüsünde ve virüs–konak etkileşimlerinde rol oynayan IMV ilişkili proteinlerden biridir. Bu proteinin MPXV'nin immünolojik yöntemlerle tespitine yönelik çalışmalarda hedef proteinler arasında ele alındığı bildirilmiştir (Shi et al., 2022). Perk ve ark. , A29 hedef proteinleri ile heparan sülfat reseptörü arasındaki etkileşimi tanıyarak Mpox virüsünü tespit etmek için Au nanopartikül tabanlı kolorimetrik bir POC biyosensörü bildirmiştir (Chaudhary et al., 2025). A29 hücresel giriş için çok önemlidir, ancak A35 ve B6R virüsün yüzeyinde iletimde rol oynamaktadır (Kushwaha et al., 2025).

PDB'de “A29” anahtar kelimesiyle (Aralık 2025) yapılan taramada A29'a ait herhangi bir deneysel yapı kaydına rastlanmamıştır. Bu bulgu, A29'un üç boyutlu yapısının PDB'de henüz raporlanmamış olabileceğine veya veritabanında farklı bir adlandırma/ORF kodu ile yer alabileceğine işaret etmektedir.

3.1.2. H3L protein

H3L, maymun çiçeği virüsünün hücre içi olgun virüslerinde (IMV) ifade edilen önemli bir antijendir ve virüsün girişinde ve konakçı hücrelerin bağışıklık aktivasyonunda rol oynadığı bilinmektedir (Kushwaha et al., 2025). H3L antijeni, konak hücrelere bağlanmayı kolaylaştıran ve enfektiviteyi artıran olgun virüs (mature virion (MV)), formunda ifade edilmektedir. Alanyazındaki bulgular, MPXV antijeni H3L'nin mpox enfeksiyonundan iyileşen bireylerde H3L'ye özgü antikor yanıtını ve B hücresi yanıtını uyardığını göstermektedir. (Yefet et al., 2023; Sagdat et al., 2024). H3L, MPXV ile ilgili hücresel bağışıklığın ana hedefi olarak tanımlanmaktadır.

PDB veritabanında “H3L” anahtar kelimesiyle yapılan taramada H3L’ye ait herhangi bir deneysel yapı kaydına rastlanmamıştır (Aralık 2025). Bu bulgu, H3L’nin üç boyutlu yapısının PDB’de henüz raporlanmamış olabileceğine veya veritabanında farklı bir adlandırma/ORF kodu ile yer alabileceğine işaret etmektedir.

3.1.3.E8L protein

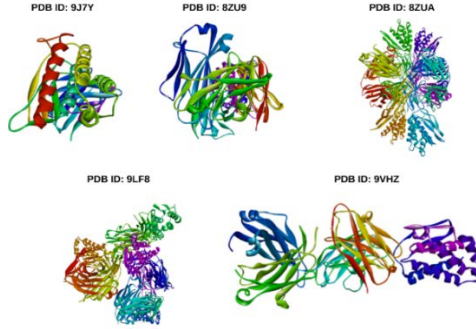
E8L, IMV, MPXV yüzey membran proteinidir (Kushwaha et al., 2025). E8L, 304 amino asitten oluşan bir IMV yüzey membran proteinidir (Shchelkunov et al., 2002). Alanyazında MPXV E8L proteinindeki gangliosid bağlayıcı alanı tanımlanmıştır (Fantini et al., 2022).

PDB veritabanında benzer şekilde “E8L” anahtar kelimesiyle (Aralık 2025) yapılan taramada E8L’ye ait herhangi bir deneysel yapı kaydına rastlanmamıştır. Bu bulgu, H3L’nin üç boyutlu yapısının PDB’de henüz raporlanmamış olabileceğine işaret etmektedir.

3.1.4.M1R protein

Maymun çiçeği virüsünün (MPXV) M1R proteini, IMV bulunan ve VACV L1R proteinine homolog olan miyristoylanmış bir yüzey membran proteinidir (Kushwaha et al., 2025). MPXV’nin M1R proteini, virüsün hücreye giriş/füzyonla ilişkili yüzey proteinleri arasında yer aldığı için nötralizan antikorların hedefi olarak öne çıkmaktadır. M1R proteini, viral partikülün bir araya getirilmesi ve konak hücreye girmesi için hayati öneme sahiptir (Kushwaha et al., 2025). Bu nedenle PDB’de yer alan M1R kompleks yapıları, M1R’nin işlevsel bir hedef olduğunu göstermesi ve yapı-temelli tasarım çalışmalarına temel oluşturması açısından önemli kanıtlar sunmaktadır. Bu yapılar, M1R’nin yüzeyinde bağışıklık moleküllerinin tutunduğu bölgelerin üç boyutlu olarak gösterilmesi sayesinde, gelecekte kaçış mutasyonlarına daha dayanıklı antikor tasarımları ile antijen

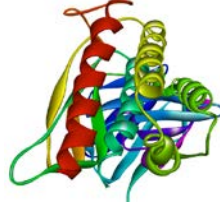
temelli tanı reaktiflerinde hedef bölge seçimine bilimsel dayanak sağlayabilir. Bu kapsamda PDB veri bankasında “M1R” anahtar kelimesi ile yapılan aramada toplam 8 adet yapı belirlenmiştir. PDB kimlikleri sırasıyla 9J7Y (pdb_00009j7y), 8ZU9 (pdb_00008zu9), 8ZUA (pdb_00008zua), 9LF8 (pdb_00009lf8), 9VHZ (pdb_00009vhz), 7X43 (pdb_00007x43), 6USX (pdb_00006usx) ve 2I5L (pdb_00002i5l) şeklindedir. Bu yapılar içerisinde ilk beş yapı, MPXV ile ilişkili kompleks yapıları temsil etmektedir. Organizması “Homo Sapiens” olan proteinleri üç boyutlu görsel yapıları aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. M1R’nin PDB’deki Biological Assembly 1 3B gösterimi.

PDB veritabanından sağlanan bilgiler doğrultusunda PDB ID 9J7Y olan protein, MPXV’nin giriş/füzyonla ilişkili M1R (OPG095) proteini ile M1R-01 nanobody arasındaki kompleksin üç boyutlu yapısını temsil etmektedir (PDB DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb9J7Y/pdb>). Proteinin yapısı, X-ışını kırınımı yöntemiyle 2.59 Å çözünürlükte çözülmüştür ve “viral protein/immune system” sınıfında yer almaktadır. Protein yapısı içerisinde mutasyon yoktur. Ekspresyon sistemi olarak E. coli BL21-Gold(DE3) pLysS olarak raporlanmıştır. Kompleksin kristalografik düzeni C1 asimetrik olup global stokiyometri hetero dimer (A1B1) şeklindedir. Model doğrulama ölçütleri, Rwork=0.226 ve Rfree≈0.270 değerlerini göstermektedir. Başlangıç modelinin “in silico” olarak belirtilmesi, deneysel yoğunluk verisiyle rafine edilmiş bir modelleme yaklaşımının

kullanıldığını göstermektedir. Yapıya ait Biological Assembly 1'in üç boyutlu temsili aşağıdaki şekilde ye almaktadır (Şekil 2). Bu yapıdan yararlanılarak, yapı-temelli sanal tarama ve bağlanma cebi analizleri aracılığıyla potansiyel aday moleküller belirlenerek alternatif tedavi seçeneklerinin geliştirilmesine katkı sağlanabilir.



Şekil 2. PDB'de 9J7Y yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

PDB'de **8ZU9** kaydı, MPXV **M1R** proteini ile nötralizan **A129** antikorunun kompleksine ait üç boyutlu yapıyı göstermektedir (PDB DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb8ZU9/pdb>). Protein yapısı X-ışını kristalografisi ile 2.17 Å çözünürlükte çözülmüştür ve “antiviral protein/immune system” sınıfında raporlanmaktadır. Bu yapı içerisinde de mutasyon bulunmadığı belirtilmiştir. Organizmalar Homo sapiens ve Monkeypox virus, ekspresyon sistemleri ise Homo sapiens ve Spodoptera frugiperda olarak bildirilmiştir. Kompleksin kristalografik düzeni C1 asimetric olup global stokiyometri hetero trimer (A1B1C1) şeklindedir. Model kalitesi Rwork=0.211 ve Rfree≈0.262 olarak raporlanmış; başlangıç modeli “experimental” olarak belirtilmiştir. Yapıya ait Biological Assembly 1'in üç boyutlu temsili aşağıdaki şekilde ye almaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. PDB'de 8ZU9 yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

PDB’de 8ZUA kaydı, MPXV M1R proteini ile nötralizan A138 antikoru oluşturduğu kompleksin üç boyutlu yapısını göstermektedir (PDB DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb8ZUA/pdb>). Protein yapısı, X-ışını kristalografisi yöntemiyle 3.49 Å çözünürlükte çözülmüştür ve “antiviral protein/immune system” sınıfında raporlanmıştır. Organizma bilgisi Homo sapiens ve Monkeypox virus olarak verilmiştir. Ekspresyon sistemleri Homo sapiens ve Spodoptera frugiperda şeklinde bildirilmiştir. Kompleksin kristalografik düzeni C1 asimetrik olup global stokiyometri hetero trimer (A1B1C1) şeklindedir. Model kalitesine ilişkin ölçütler Rwork=0.237 ve Rfree≈0.286 olarak raporlanmış, başlangıç modeli “experimental” olarak tanımlanmıştır. Yapıya ait Biological Assembly 1’in üç boyutlu temsili aşağıdaki şekilde yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. PDB’de 8ZUA yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

PDB veritabanından sağlanan bilgiler doğrultusunda PDB’de 9LF8 kimliğiyle yer alan protein, MPXV’nin giriş/füzyonla ilişkili M1R proteini ile mMM1-16 Fab arasındaki kompleksin üç boyutlu yapısını göstermektedir (PDB DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb9LF8/pdb>) (Zhao et al., 2025). Protein yapısı X-ışını kristalografisi ile 2.70 Å çözünürlükte çözülmüş ve “viral protein/immune system” sınıfında raporlanmıştır. Organizma bilgisi Monkeypox virus ve Mus musculus olarak

verilmiş; ekspresyon sistemleri Homo sapiens ve E. coli BL21 (DE3) şeklinde bildirilmiştir. Yapıda mutasyon bulunmadığı belirtilmektedir. Kompleksin kristalografik düzeni C1 asimetrik olup global stokiyometri hetero trimer (A1B1C1) şeklindedir. Model kalitesi göstergeleri $R_{work}=0.202$ ve $R_{free}\approx 0.274$ değerleriyle raporlanmıştır ve başlangıç modelleri “experimental” olarak tanımlanmıştır. Bu yapı, M1R’nin antikor/Fab tarafından tanınan bağlanma arayüzünün atomik düzeyde değerlendirilmesine imkân vererek, M1R’nin hedeflenebilirliğini destekleyen yapısal kanıt sağlamaktadır. Yapıya ait Biological Assembly 1’in üç boyutlu temsili aşağıdaki şekilde ye almaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. PDB’de 9LF8 yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

MPXV’nin giriş-füzyonla ilişkili M1R (OPG095) proteini ile hmMM1-40 Fab arasındaki kompleksin kristal yapısı, PDB’de 9VHZ kimliğiyle raporlanmıştır (PDB DOI: <https://doi.org/10.2210/pdb9VHZ/pdb>) (Zhao et al., 2025). Bu yapı X-ışını kırınımı yöntemiyle çözülmüş olup çözünürlük 2.80 Å’dır. “viral protein/immune system” sınıfında yer almaktadır. Yapı, Monkeypox virus ve Mus musculus kaynaklı makromolekülleri içermekte; ekspresyon sistemleri olarak Homo sapiens ve E. coli BL21(DE3) bildirilmektedir. Kayıta mutasyon bulunmadığı belirtilmiştir. Model kalitesi $R_{work}=0.207$ ve $R_{free}\approx 0.296$ olarak raporlanmış; başlangıç modeli “experimental” olarak belirtilmiştir. Yapının üç boyutlu yapısı

aşağıda görselde yer almaktadır (Şekil 6). 9VHZ yapısı, C1 simetrisinde asimetrik bir düzen sergilemekte olup asimetrik birimde hetero 3-mer (A1B1C1) stokiyometrisi raporlanmıştır; bu bulgu kompleksin üç farklı zincirden oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 6. PDB’de 9VHZ yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

M1R (OPG095) proteini için yayımlanan antikor/nanobody kompleks yapıları, MPXV’de hedef doğrulama ve nötralizan epitopların belirlenmesi açısından güçlü bir yapısal kanıt seti oluşturmaktadır. Özellikle M1R-01 nanobody’si (PDB: 9J7Y) ile A129 ve A138 nötralizan antikorlarıyla (PDB: 8ZU9, 8ZUA) çözülen kompleksler, M1R yüzeyinde bağışıklık moleküllerinin bağlandığı arayüzleri ortaya koyarak nötralizasyon mekanizmasının moleküler temeline kaynak sağlamaktadır. Benzer biçimde mMM1-16 ve hmMM1-40 Fab kompleksleri (PDB: 9LF8, 9VHZ), epitop ayak izi ve bağlanma geometresi üzerinden hem terapötik antikor geliştirme hem de antijen temelli tanı yaklaşımlarında hedef bölge seçimi için rasyonel bir çerçeve sunmaktadır.

3.1.5. L1R protein

L1R, hem IMV hem de EEV ile ilişkili ancak ikincisinin zarfına yakın konumda bulunan, miristik asit içeren sekiz adet 23-29 kDa’lık bir protein molekülüdür (Kushwaha et al., 2025). L1R proteini için PDB veri bankasında “L1R” anahtar kelimesi ile yapılan arama yapılmıştır ve aramada toplam 3 adet yapı

belirlenmiştir. Bu yapılara ait PDB kimlikleri sırasıyla 2VIP (pdb_00002vip), 4U6H (pdb_00004u6h) ve 2I9L (pdb_00002i9l) şeklindedir. L1R” anahtar kelimesiyle listelenen bazı kayıtlar ligand kodu nedeniyle (örn. 2VIP) MPXV ile ilişkili değildir; buna karşın vaccinia L1–Fab kompleks yapıları (örn. 4U6H, 2I9L), MPXV L1R için orthopoxvirus düzeyinde yapısal ve antikör tanınmasına ilişkin çıkarımlara olanak veren referans yapılar olarak değerlendirilebilir.

3.2. EEV proteinleri (EEV proteins)

Bu başlık altında, EEV proteinleri kapsamında yer alan proteinlere ilişkin kısa bilgiler sunulmuş; ayrıca PDB veritabanında anahtar kelime temelli tarama yapılarak ilgili proteinler için üç boyutlu yapı kaydı bulunup bulunmadığı araştırılmıştır.

3.2.1. F13 protein

PDB veri bankasında “F13” anahtar kelimesi ile yapılan aramada toplam 10 adet protein listelenmiştir. Bunların PDB kimlikleri sırasıyla 3G35 (pdb_00003g35), 9FHK (pdb_00009fhk), 9FJ0 (pdb_00009fj0), 9FJA (pdb_00009fja), 9FHS (pdb_00009fhs), 9FIZ (pdb_00009fiz), 9FJ1 (pdb_00009fj1), 9HAH (pdb_00009hah), 6RLC (pdb_00006rlc) ve 4V5T (pdb_00004v5t) şeklindedir. Bu kayıtlar doğrudan MPXV’ye ait olmamakla birlikte, orthopoxviruslarda F13 (OPG057/VP37) proteininin yapısını ve özellikle tecovirimat bağlanmasını atomik düzeyde ortaya koymaları nedeniyle MPXV F13 için yapı-temelli çıkarımlar ve hedef doğrulama açısından önemli bir referans seti sunmaktadır. Bununla birlikte, mevcut sonuçlar içerisinde MPXV’ye ait F13 proteiniyle ilişkili bir yapı kaydı yer almamaktadır. Kayıtların bir bölümü vaccinia virüsü F13 gibi orthopoxvirus homologlarına ait yapıları içerirken, bazı kayıtlar ise “F13” ifadesinin ligand/fragman etiketi olarak

kullanılması nedeniyle mpox ile doğrudan ilişkili olmayan yapılardan oluşmaktadır.

3.2.2. A35R protein

Maymun çiçeği virüsünün (MPXV) zarf glikoproteini A35R, Vaccina virüsünün (VACV) A33R proteini ile aynıdır ve bu da yakın bir evrimsel bağlantıyı düşündürmektedir (Kushwaha et al., 2025). A35R proteini, A33R ve B5R'yi içeren üç proteinli bir kompleksin parçasıdır.

PDB veri bankasında “A35R” anahtar kelimesi ile yapılan aramada toplam 4 adet protein yapısı listelenmiştir. Bu yapılara ait PDB kimlikleri sırasıyla 8XA4 (pdb_00008xa4), 9MSN (pdb_00009msn), 9MSO (pdb_00009mso) ve 9MSP (pdb_00009msp) şeklindedir. Elde edilen kayıtların tamamı MPXV A35R (OPG161) proteininin insan kaynaklı antikorlarla kompleks hâlinde çözümlenmiş yapılarıdır. Bu durum, A35R'nin konak bağışıklık yanıtı tarafından tanınan ve antikorla hedeflenebilir bir yüzey antijeni olduğuna ilişkin doğrudan yapısal kanıt sunmaktadır. Bu yapıların yöntem ve çözünürlükleri incelendiğinde, 8XA4 kaydının elektron mikroskopisi ile 3.08 Å çözünürlükte elde edildiği ve MPXV A35'nin mAb981 ile kompleksini temsil ettiği görülmektedir. Buna ek olarak 9MSN, 9MSO ve 9MSP kayıtları, MPXV A35R'nin sırasıyla EV35-2, EV35-6 ve EV35-7 nötralizan antikorlarıyla oluşturduğu komplekslerin X-ışını kristalografisi ile 2.92 Å, 3.18 Å ve 2.19 Å çözünürlüklerde çözümlenmiş yapılarıdır. Özellikle 9MSP'nin daha yüksek çözünürlükte olması (2.19 Å), A35R–antikor bağlanma arayüzünün ve olası epitop bölgelerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayabilir. Bu bağlamda, A35R'ye ait çoklu kompleks yapılarının bulunması; epitop çeşitliliğinin karşılaştırılmasını, yapısal olarak korunmuş bağlanma bölgelerinin belirlenmesini ve hedefe yönelik

immünoterapi/tanı tasarımlarının rasyonel biçimde geliştirilmesini destekleyen bir veri zemini oluşturmaktadır.

3.2.3. B6R protein

Enfekte hücre yüzey zarları ve EEV'ler, hücre zarına protein transferi için gerekli palmitoylanmış glikoprotein B6R'yi ifade etmektedir (Kushwaha et al., 2025).

PDB veri bankasında “B6R” anahtar kelimesi ile yapılan aramada toplam 3 adet poretin yapısı listelenmiştir (Aralık 2025). Bu yapılara ait PDB kimlikleri sırasıyla 6LP7 (pdb_00006lp7), 9LF8 (pdb_00009lf8) ve 9VHZ (pdb_00009vhz) şeklindedir. Ancak yapıların içerikleri incelendiğinde, bu sonuçların MPXV B6R proteininin üç boyutlu yapısını doğrudan temsil etmediği görülmektedir. Öncelikle 6LP7, “B6R” ifadesinin protein adı olarak değil, insan DHODH yapısında yer alan ligand/kimyasal bileşen kodu olarak geçtiği bir kayıttır; bu nedenle mpox ile doğrudan ilişkili değildir. Ancak 9LF8 ve 9VHZ ise MPXV'ye ait olmakla birlikte “B6R” hedefini değil, MPXV'nin M1R (OPG095) proteininin farklı Fab'larla (mMM1-16 ve hmMM1-40) oluşturduğu kompleksleri göstermektedir. Bu bulgu, anahtar kelime temelli PDB taramalarında “B6R” ifadesinin bazı kayıtlara etiket/ikincil eşleşme yoluyla yansiyebileceğini ve MPXV B6R için yorum yapılırken “Macromolecule/Protein adı” alanının ayrıca doğrulanması gerektiğini göstermektedir. Bu çerçevede, mevcut tarama çıktıları MPXV B6R proteini için doğrudan bir deneysel yapı kaydını işaret etmemekte; dolayısıyla B6R'nin yapı-temelli analizi için PDB'de OPG kodu/alternatif adlandırmalar üzerinden ek tarama yapılması veya tahminsel modelleme yaklaşımlarından yararlanılması önerilmektedir.

3.2.4. C19L protein

PDB veritabanında “C19L” anahtar kelimesiyle (Aralık 2025) yapılan taramada A29'a ait herhangi bir deneysel yapı kaydına rastlanmamıştır. Bu bulgu, C19L'un üç boyutlu yapısının

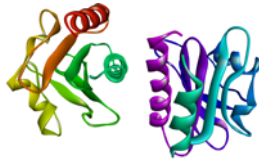
PDB’de henüz raporlanmamış olabileceğine veya veritabanında farklı bir adlandırma/ORF kodu ile yer alabileceğine işaret etmektedir.

3.3.Profilin benzeri proteinler (Profilin-like proteins)

3.3.1. A42R protein

A42R proteini, MPXV virüsünün gp153 lokusu tarafından kodlanmaktadır ve amino asit dizisi profilin proteinlerine oldukça benzemektedir (Minasov et al., 2022). Buna ek olarak MPXV virüsünün gp153 lokusundan üretilen 191 amino asit uzunluğundaki A42R proteininin, profilin proteinlerine çarpıcı bir benzerlik gösterdiği kanıtlanmıştır (Kushwaha et al., 2025). MPXV A42R ile %98 oranında benzerlik göstermektedir.

PDB veri bankasında “Profilin-like proteins, A42R” anahtar kelimeleri ile arama yapıldığında PDB ID: 4QWO (pdb_00004qwo) olan tek bir protein gelmektedir (Minasov et al., 2022). Bu protein bilinen ilk MPXV kodlu proteindir (Wu & Guo, 2025). Proteinin üç boyutlu yapısı aşağıda şekilde yer almaktadır (Şekil 7). Ayrıca, protein içinde bulunan referans liganda göre bağlanma bölgesi koordinatları $x = 12$, $y = 5$, $z = 13$ olarak belirlenmiştir. PDB ID: 4QWO olan bu protein, A ve B zincirleri olmak üzere iki polipeptit zincirinden oluşan asimetric bir yapıya sahiptir. A zinciri, 133 amino asit kalıntısı içeren tam uzunlukta bir zincirdir. Tütün mozaik virüsü proteazından kaynaklanan N-terminal alanin ile başlanmaktadır. B zincirinde ise N-terminal alanin bulunmaz ve ikinci amino asitten 133. amino aside kadar devam etmektedir.



Şekil 7. PDB’de 4QWO yapısının Biological Assembly 1 3B gösterimi.

4. BİYOİNFORMATİK YAKLAŞIMLARIN MPOX TEDAVİSİNDEKİ ÖNEMİ

Küresel çapta artan maymun çiçeği enfeksiyonu yükü ve tedavi seçeneklerindeki sınırlamalar göz önüne alındığında, maymun çiçeği aşılı alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarına öncelik verilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Takip edilmesi, erken teşhisi, topluluk katılımını, sağlık hizmetlerine erişimi ve aşılamayı iyileştirmeye yönelik devam eden çabalar ve genel sağlık sistemini güçlendirme çabaları, savunmasız nüfusları korumak ve gelecekteki salgınları önlemek için kritik önem taşımaktadır. (Rwibasira et al., 2025; Muvunyi et al., 2024). Hızla değişebilen ve küresel yayılım gösterebilen mpox, diğer bulaşıcı hastalıklarla semptom benzerlikleri nedeniyle tanı koymada güçlükler yaratabilmektedir. Hastalığın endemik olmayan bölgelerde ortaya çıkma potansiyeli dikkate alındığında, mpox'un devam eden tehdidine karşı önlem almak zorunlu bir gereklilik olarak düşünülmektedir. Bu nedenle küresel yayılımın kontrolü için hızlı ve özgül tespit yöntemlerinin geliştirilmesi kritik önemdedir. Bu doğrultuda gelişen biyoinformatik araçlar, hedef seçimi ve önceliklendirme ile aday molekül taraması süreçlerini hızlandırarak yeni tedavi geliştirme döngüsünü kısaltmaktadır. Yapısal biyoinformatik yaklaşımlar, hedef proteinlerin bağlanma bölgelerini ve potansiyel ilaçlanabilir ceplerini tanımlamaya; ayrıca antikor/nanobody bağlanma yüzeylerini ortaya koyarak hem immünoterapi hem de yapı-temelli küçük molekül tasarımı için rasyonel bir çerçeve sunmaya olanak vermektedir. Bu yönüyle, PDB tabanlı yapısal veri derlemeleri ve yapı temelli taramalar, mpox için yeni antiviral adaylarının belirlenmesinde deneysel çalışmaları tamamlayan, maliyet-etkin ve hızlı bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda kullanılan veritabanlarınd: aday hedef proteinlerin kimliklendirilmesi için ICTV ve NCBI Taxonomy gibi taksonomik kaynaklar; genom ve protein

dizilerinin elde edilmesi için NCBI Virus/GenBank/RefSeq; fonksiyonel anotasyon ve çapraz referanslar için UniProt; yapısal veriye erişim için RCSB PDB; güncel bulguların derlenmesi için PubMed gibi platformlardan yararlanılmaktadır. hedef proteinlerin korunmuşluğu ve evrimsel bağlamını değerlendirmek için BLAST tabanlı benzerlik aramaları ve çoklu dizi hizalama araçları ve Filogenetik analiz araçları kullanılmaktadır. Fonksiyonel bölgelerin tanımlanması ve olası biyolojik rollerin güçlendirilmesi için InterPro/Pfam (domen–motif anotasyonu), NCBI CDD (korunmuş domen analizi) ve eggNOG (ortolog/işlev çıkarımı) gibi vb. kaynaklar kullanılarak protein aileleri ve motifler yorumlanmaktadır. PDB’de deneysel yapısı bulunmayan hedefler için AlphaFold/ColabFold (3B yapı tahmini) ve SWISS-MODEL (homoloji modelleme) kullanılmaktadır. Hedefin “ilaçlanabilirliği” ve aday molekül önceliklendirmesi için moleküler kenetlenme analiz araçları kullanılmaktadır. Daha ayrıntılı analizler için moleküler dinamik simülasyonları kullanılmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, hedef proteinlerin yalnızca “varlığını” değil; korunmuşluk, işlevsel zorunluluk, hedeflenebilirlik ve ilaçlanabilirlik gibi ölçütler üzerinden rasyonel biçimde önceliklendirilmesini mümkün kılmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında PDB veritabanı kullanılarak IMV proteinleri (A29, H3L, E8L, M1R, L1R), EEV proteinleri (F13, A35R, B6R, C19L) ve profilin benzeri protein (A42R) için anahtar kelime temelli tarama yapılmıştır. Tarama sonucunda, söz konusu proteinler bakımından üç boyutlu yapı kaydı bulunup bulunmadığı belirlenmiş ve proteinlerin olası biyolojik rolleri hakkında kısaca bilgiler özetlenmiştir. Çalışmada ayrıca mpoxun patogenezi ve biyolojik özellikleri çerçevesinde, MPXV’nin zar

ile ilişkili proteinlerinin (A29L, H3L, E8L, M1R, L1R, C19L, A35R, B6R ve A42R) karakterizasyonu ele alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen yapısal veriler, yalnızca PDB üzerinden derlenmiş ve değerlendirilmiştir. Derlenen yapısal bulguların, MPXV'ye yönelik yeni ve alternatif tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine ve aday moleküllerin seçimi/önceliklendirilmesine katkı sunması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda yapısal biyoinformatik yaklaşımlar, hedef proteinlerin hızlı biçimde değerlendirilmesine ve aday etkileşimlerin kısa sürede taranmasına olanak sağlayarak tedavi geliştirme sürecini hızlandırmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, mpox proteinlerinin karakterizasyonuna ve MPXV'nin tespiti için hızlı tekniklerin geliştirilmesine ilişkin alanyazına bütüncül bir bakış sağlamaktadır. Özellikle patogeneze bağlamında EEV proteinleri (C19L, A35R, B6R), IMV proteinleri (A29, M1R, E8L, H3L, L1R) ve profilin benzeri protein (A42R) özelinde proteinlerin rolleri ve yapısal özellikleri vurgulanmıştır. Bununla birlikte, mevcut ilerlemelere karşın mpox proteinlerinin önemli bir bölümüne ilişkin yapı-işlev bilgisinde hâlen dikkate değer boşluklar bulunmaktadır. Bu nedenle, mpox proteinlerinin yapısı ve işlevine yönelik daha kapsamlı çalışmaların sürdürülmesi; tanı araçlarının geliştirilmesi ve virüsün hedef proteinleriyle etkileşime girebilen aday antiviral moleküllerin tanımlanması açısından kritik önem taşıdığı düşünülmektedir. Maymun çiçeği virüsünü hedefleme, protein inhibisyonu üzerine moleküler kenetlenme çalışmaları için stratejiler geliştirilmekte ve yürütülmektedir (Kushwaha et al., 2025).

KAYNAKÇA

- Adalja, A., & Inglesby, T. (2022). A novel international monkeypox outbreak. In *Annals of internal medicine* (Vol. 175, Issue 8, pp. 1175–1176). American College of Physicians.
- Brown, B., Imarogbe, C., Fricke, I., Gonzalez, A., & Mensah, P. (2023). Immunopathogenesis of Orthopoxviridae: Insights into immunology from smallpox to monkeypox (mpox).
- Chaudhary, V., Lucky, L., Sable, H., & Bhalla, N. (2025). Interdisciplinary approach to Monkeypox prevention: Integrating nanobiosensors, nanovaccines, artificial intelligence, visual arts, and social sciences. *Small Structures*, 2400647.
- Choudhury, A., Chandra, A., Dawoud, T. M., Nafidi, H.-A., Singh, N., & Bourhia, M. (2023). Immunoinformatics and reverse vaccinology approach in designing a novel highly immunogenic multivalent peptide-based vaccine against the human monkeypox virus. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 10, 1295817.
- Dutta, S., Ghosh, R., Dasgupta, I., Sikdar, P., Santra, P., Maity, D., Pritam, M., & Lee, S. G. (2025). Monkeypox: A comprehensive review on mutation, transmission, pathophysiology, and therapeutics. *International Immunopharmacology*, 146, 113813.
- Dünya Sağlık Örgütü. (2024, 14 Ağustos). *WHO Director-General declares mpox outbreak a public health emergency of international concern*. World Health Organization. <https://www.who.int/news/item/14-08-2024-who-director-general-declares-mpox-outbreak-a-public-health-emergency-of-international-concern>

- Fantini, J., Chahinian, H., & Yah, N. (2022). A vaccine strategy based on the identification of an annular ganglioside binding motif in monkeypox virus protein E8L. *Viruses*, 14(11), 2531.
- Krishna, S., Teotia, D., Yadav, M., Mahilkar, S., Suchiita, A., Saxena, A., Sonkar, S. C., Chandra, L., & Koner, B. C. (2024). Monkeypox (mpox): diagnosis and emerging challenges. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 97(4), 529.
- Kushwaha, J. M., Rani, M. S. S., & Singh, S. (2025). Targeting monkeypox virus (MPXV): strategies for molecular docking studies on protein inhibition. *Virus Genes*, 1–12.
- Li, D., Liu, Y., Li, K., & Zhang, L. (2022). Targeting F13 from monkeypox virus and variola virus by tecovirimat: Molecular simulation analysis. *Journal of Infection*, 85(4), e99–e101.
- Lum, F.-M., Torres-Ruesta, A., Tay, M. Z., Lin, R. T. P., Lye, D. C., Rénia, L., & Ng, L. F. P. (2022). Monkeypox: disease epidemiology, host immunity and clinical interventions. *Nature Reviews Immunology*, 22(10), 597–613.
- Minasov, G., Inniss, N. L., Shuvalova, L., Anderson, W. F., & Satchell, K. J. F. (2022). Structure of the Monkeypox virus profilin-like protein A42R reveals potential functional differences from cellular profilins. *Structural Biology and Crystallization Communications*, 78(10), 371–377.
- Moatasim, Y., Kutkat, O., Gomaa, M., Elshaier, Y. A. M. M., Nabil, M., El-Rashedy, A. A., Roshdy, W. H., Kayali, G., Ali, M. A., & El-Shesheny, R. (2025). Repurposing of FDA-Approved Antiviral Drugs Against Monkeypox

- Virus: Comparative In Vitro Screening and Structure Based In Silico Studies. *Pharmaceuticals*, 18(12), 1857.
- Muvunyi, C. M., Bigirimana, N., Tuyishime, A., Mukagatare, I., Ngabonziza, J. C., & Ahmed, A. (2024). Initiatives and Strategies to Strengthen the National, Regional, and International Global Health Security: A Case Study of Rwanda Biomedical Centre. *Regional, and International Global Health Security: A Case Study of Rwanda Biomedical Centre*.
- Reuters. (2022, June 30). *Turkey records first case of monkeypox – health minister*. Reuters. <https://www.reuters.com/world/middle-east/turkey-records-first-case-monkeypox-health-minister-2022-06-30/>
- Rwibasira, G., Dzinamarira, T., Ngabonziza, J. C. S., Tuyishime, A., Ahmed, A., & Muvunyi, C. M. (2025). The Mpox Response Among Key Populations at High Risk of or Living with HIV in Rwanda: Leveraging the Successful National HIV Control Program for More Impactful Interventions. *Vaccines*, 13(3), 307.
- Sagdat, K., Batyrkhan, A., & Kanayeva, D. (2024). Exploring monkeypox virus proteins and rapid detection techniques. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1414224.
- Shchelkunov, S. N., Totmenin, A. V, Safronov, P. F., Mikheev, M. V, Gutorov, V. V, Ryazankina, O. I., Petrov, N. A., Babkin, I. V, Uvarova, E. A., & Sandakhchiev, L. S. (2002). Analysis of the monkeypox virus genome. *Virology*, 297(2), 172–194.
- Shi, D., He, P., Song, Y., Cheng, S., Linhardt, R. J., Dordick, J. S., Chi, L., & Zhang, F. (2022). Kinetic and structural

aspects of glycosaminoglycan–monkeypox virus protein A29 interactions using surface plasmon resonance. *Molecules*, 27(18), 5898.

Wu, J., & Guo, D. (2025). Systematic analysis of traditional Chinese medicine prescriptions provides new insights into drug combination therapy for pox. *Journal of Ethnopharmacology*, 337, 118842.

Yefet, R., Friedel, N., Tamir, H., Polonsky, K., Mor, M., Cherry-Mimran, L., Taleb, E., Hagin, D., Sprecher, E., & Israely, T. (2023). Monkeypox infection elicits strong antibody and B cell response against A35R and H3L antigens. *IScience*, 26(2).

Zhao, R., Wu, L., Zhang, Y., Ma, J., Liu, D., Zheng, Y., Kong, T., Ma, R., Gao, Z., & Chai, Y. (2025). Anti-M1R/B6R antibody characterization and bispecific design for enhanced orthopoxvirus protection. *EMBO Molecular Medicine*, 17(10), 2713.

TÜRKİYE VE DÜNYADA
SAĞLIK BİLİŞİMİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com