SAĞLIKTA ROBOTİK UYGULAMALAR VE OTOMASYON

Sinan TARSUSLU[1]

Giriş

21. yüzyılın ikinci çeyreği sağlık sistemlerinde dijitalleşmenin yoğunlaştığı, yapay zekâ (AI), büyük veri, nesnelerin interneti (IoT) ve robotik teknolojilerin klinik karar alma, hizmet sunumu ve hasta bakımında köklü dönüşümler yarattığı bir dönem olarak öne çıkmaktadır. Bu dönüşüm yalnızca teknolojik bir ilerlemeyi değil aynı zamanda sağlık hizmetlerinin doğasını, organizasyonunu ve etik çerçevesini de derinden etkilemektedir. Özellikle robotik uygulamalar ve otomasyon sistemleri; sağlık sektörünün operasyonel verimliliğini artırma, insan hatasını azaltma, kaynak kullanımını optimize etme ve hasta güvenliğini sağlama potansiyeliyle dikkat çekmektedir (Cresswell, Cunningham-Burley & Sheikh, 2018; Kauttonen, Rousi & Alamäki, 2025).

Sağlıkta robotik sistemlerin kullanımı, başlangıçta yüksek hassasiyet gerektiren cerrahi işlemlerle sınırlıyken günümüzde rehabilitasyon, yaşlı bakımı, laboratuvar hizmetleri, ilaç taşıma, dezenfeksiyon, hasta yönlendirme, tanı ve görüntüleme gibi pek çok alana yayılmış durumdadır. Bununla birlikte, robotik teknolojilerin sadece fiziksel bir yardım aracı değil aynı zamanda yapay zekâ algoritmaları ile entegre biçimde öğrenebilen, yorum yapabilen ve karar alabilen sistemlere evrildiği gözlenmektedir. Mevcut durum klinisyenlerin ve sağlık yöneticilerinin teknolojiyi nasıl değerlendirdiğini, güven ilişkilerini ve kullanıcı kabulünü de önemli ölçüde etkilemektedir (Song vd., 2025; Kauttonen vd., 2025).

Bu bölümde sağlık hizmetlerinde robotik uygulamaların gelişimi, çeşitliliği ve etkileri çok yönlü bir şekilde ele alınacaktır. Öncelikle robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık sistemlerine entegrasyon süreci tarihsel ve teknolojik bağlamda incelenecek; ardından cerrahi robotlar, hasta destek sistemleri,

1 Dr.Öğr.Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, sinan.tarsuslu@erzincan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-0018-1430

laboratuvar otomasyon çözümleri, yapay zekâ destekli robotik sistemler ve tele-tıp uygulamaları detaylandırılacaktır. Bunun yanı sıra sağlık alanındaki etik, hukuki ve sosyo-teknik zorluklar, insan-robot etkileşimi bağlamında değerlendirilecek Türkiye ve dünya ölçeğinde çeşitli uygulama örneklerine yer verilecektir.

Robotik sistemlerin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, yalnızca mühendislik temelli bir inovasyon değil aynı zamanda sağlık çalışanlarının mesleki rollerinde hasta ile kurulan ilişkilerde ve kurum içi iş akışlarında yapısal değişiklikler yaratmaktadır. Bu sistemlerin güvenilirliği, hasta mahremiyetine etkisi, veri güvenliği ve etik ikilemler üzerine yapılan tartışmalar alanda çok-disiplinli bir yaklaşım gerekliliğini ortaya koymaktadır (Penelope vd., 2025). Ayrıca, sağlık profesyonellerinin teknolojiye yönelik algıları, sistemlere olan güven düzeyi ve kullanım deneyimleri de bu teknolojilerin başarısını doğrudan etkilemektedir (Song vd., 2025).

Her ne kadar sağlık robotikleri alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, bu sistemlerin yaygınlaşması önünde teknik sınırlılıklar, maliyet engelleri, hukuki düzenlemeler ve toplumsal kabullenme gibi önemli bariyerler mevcuttur. Bu nedenle, sağlıkta robotik uygulamaların sürdürülebilir ve güvenli biçimde entegre edilmesi için teknolojik gelişmelerin yanı sıra, yönetişim, eğitim, etik normlar ve kullanıcı merkezli tasarım gibi alanlarda da ilerlemeler sağlanmalıdır (Kaur, 2023).

Bu kitap bölümünün amacı, sağlık hizmetlerinde robotik uygulamaların kapsamını çok yönlü bir bakış açısıyla ele almak hem teknik hem de toplumsal boyutlarını analiz ederek alana sistematik bir katkı sunmaktır. Bölüm kapsamında şu başlıklar ele alınacaktır: Sağlıkta robotik sistemlerin tarihsel gelişimi, cerrahi robotlar, rehabilitasyon teknolojileri, hastane otomasyon sistemleri, tanı ve görüntüleme robotları, yapay zekâ ile bütünleşmiş robotik sistemler, tele-robotik çözümler, etik ve hukuki boyutlar ile Türkiye ve dünyadan uygulama örnekleri. Son olarak, gelecekte bu teknolojilerin sağlık sistemlerinde nasıl bir evrim geçirebileceğine dair değerlendirmeler yapılacaktır.

Bu kapsamlı yaklaşım, yalnızca mevcut uygulamaların anlaşılmasına değil aynı zamanda sağlık teknolojilerinin gelecek vizyonunun şekillendirilmesine de katkı sunmayı hedeflemektedir. Robotik ve otomasyon sistemlerinin sağlıkta yarattığı dönüşümün sürdürülebilir, etik ve insan odaklı bir yapıya kavuşması için disiplinler arası iş birliklerinin artırılması önemlidir. Bu bölüm söz konusu dönüşüm sürecini farklı boyutlarıyla analiz ederek sağlık robotikleri alanına sistemli bir giriş sağlamayı amaçlamaktadır.

Sağlıkta Robotik ve Otomasyonun Tarihçesi

Robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık alanında kullanımı yalnızca teknolojik bir ilerleme değil aynı zamanda tıbbın işleyiş biçiminde önemli bir değişimi temsil etmektedir. Sağlık hizmetlerinin kalite, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik düzeyini artırma arayışı özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren robotik sistemlerin klinik ortamlarda entegre edilmesi sürecini hızlandırmıştır (Okamura, Matarić & Christensen, 2010). Bu tarihsel gelişim; mühendislikteki mekanik yenilikler ile sağlık bilimlerinin ihtiyaçlarının kesişim noktasında şekillenmektedir.

Sağlıkta robotik uygulamaların ilk örnekleri; 1980'li yıllarda endüstriyel robotların tıbbi alana uyarlanmasıyla başlamıştır. Özellikle PUMA 560 adlı robot, 1985 yılında beyin biyopsisi sırasında kullanılmak üzere modifiye edilmiş ve sağlıkta robotik cerrahinin öncülerinden biri olmuştur (Shivaji vd., 2013). Bu uygulama; insan elinin sınırlı olduğu alanlarda yüksek hassasiyetli müdahalelere imkân tanıyarak robotların klinik değeri konusunda önemli bir kanıt olmuş ve yeni bir dönemin başlangıcını oluşturmuştur. 1990'lı yıllarda bu alanda yaşanan en önemli gelişmelerden biri robotik destekli laparoskopik cerrahinin yaygınlaşması ve 2000 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan "da Vinci Cerrahi Sistemi" olmuştur. Bu sistem, minimal invaziv cerrahide devrim niteliğinde bir değişim yaratmış ve robotik cerrahinin yaygınlaşmasının önünü açmıştır (Aggarwal, Gupta & Saini, 2019).

2000'li yıllarla birlikte robotik sistemlerin yalnızca cerrahi müdahalelerde değil rehabilitasyon, tanı, ilaç dağıtımı ve hasta izleme gibi alanlarda da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Rehabilitasyon robotları özellikle felç geçirmiş ya da travma sonrası hareket kabiliyetini kaybetmiş bireylerde fizyoterapi süreçlerini daha etkili hale getirmeyi hedeflemiştir (Van der Loos, Reinkensmeyer & Guglielmelli, 2016; Sadeghnejad, Abadi & Jafari, 2023). Bu dönemde ayrıca servis robotları hastanelerde malzeme taşıma ve sterilizasyon gibi destek görevlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Ugajin, 2023). Bu gelişmelerle paralel olarak, otomasyon sistemleri de klinik karar destek, hasta kayıt yönetimi ve laboratuvar analizlerinde etkili olmaya başlamış böylece insan kaynaklı hataların azaltılması (malpraktis) ve süreç verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir (Ingole & Sonwane, 2024). Bu süreçte Sağlıkta Endüstri 4.0 kavramı ön plana çıkmış; sensör teknolojileri, yapay zekâ, IoT ve veri analitiği ile entegre çalışan sistemlerin tasarımı, "Healthcare 4.0" değişiminin ve dönüşümünün temel yapı taşlarını oluşturmuştur (Pang vd., 2018; Demet, 2023).

2020'li yıllara gelindiğinde sağlık robotik sistemlerinin gelişimi hızlanarak çok daha bütüncül bir yapıya kavuşmuştur. Yapay zekâ destekli robotlar artık

yalnızca programlanmış görevleri değil öğrenme ve karar verme yetenekleriyle karmaşık klinik ortamlarda aktif rol üstlenebilmektedir (Lodhi & Zeb, 2025). Bu noktada; insan-robot etkileşimi, güvenlik, etik ve kabul gibi yeni araştırma alanları doğmuş ve robotların sağlık personeliyle iş birliği içinde çalıştığı "sosyo-teknik sistemler" yaygınlaşmıştır (Maibaum vd., 2022; Li, 2024). Pandemi sonrası dönemde, robotların hasta ile doğrudan temas kurmadan hizmet verebilme potansiyeli, temas kaynaklı bulaşı önleme ve sağlık personelinin güvenliği açısından önem kazanmıştır. Dezenfeksiyon robotları, temasız ilaç dağıtım sistemleri ve uzaktan izleme teknolojileri, COVID-19 sürecinde kritik rol oynamıştır (Irshad vd., 2025).

Tarihsel süreçte robotik sistemlerin gelişimi yalnızca teknolojik bir ilerleme değil aynı zamanda sağlık profesyonellerinin iş tanımları, hasta bakım süreçleri ve sağlık hizmet sunum modelleri üzerinde de derin etkiler yaratmıştır. Örneğin; hemşirelik hizmetlerinde kullanılan otomatik ilaç dağıtım sistemleri sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakla kalmamış aynı zamanda hasta güvenliğini de artırmıştır (Nwazor & Orakwue, 2023). Öte yandan mevcut dönüşüm sürecinde etik ve hukuki çerçevenin yetersizliği, regülasyon süreçlerinin teknoloji hızına yetişememesi, hasta mahremiyeti ve robotik sistemlerin sorumluluğuna ilişkin tartışmalar da gündeme gelmiştir (Terry, 2019). Bu nedenle robotik uygulamaların tarihsel gelişimi yalnızca mühendislik başarılarıyla değil aynı zamanda sağlık politikaları, toplumsal algı ve etik normlarla birlikte değerlendirilmelidir.

Robotik ve otomasyon teknolojilerinin sağlık sektöründe geçirdiği evrim, sağlık hizmetlerinin hem niteliğini hem de niceliğini dönüştürmüştür. Erken dönemlerde sınırlı alanlarda uygulanan sistemler günümüzde çok daha entegre, zeki ve esnek bir yapıya kavuşmuştur. Klinik ortamlarda robotların varlığı artık istisnai bir durum olmaktan çıkmış ve özellikle gelişmiş sağlık sistemlerinde bir norm haline gelmeye başlamıştır (Husainy, Mangave & Patil, 2023; Bhatia, Acharjee & Sengupta, 2025). Önümüzdeki yıllarda bu dönüşümün daha da hızlanması beklenmekte olup robotik sağlık sistemlerinin tasarımı ve kullanımı multidisipliner bir iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Zira bu sistemler yalnızca mühendislik ve yazılım alanlarının ürünleri olarak değil aynı zamanda klinik gereksinimler, hasta güvenliği, etik normlar, sosyoteknik yapılar ve sağlık politikalarıyla doğrudan etkileşim içinde geliştirilmektedir. Sağlık robotik sistemlerinin başarılı şekilde entegre edilmesi için mühendisler, yazılımcılar, sağlık çalışanları, hasta ve sağlık çalışan temsilcileri, hukukçular ve etik uzmanları arasında sürekli ve uyumlu bir etkileşim gerekmektedir. Bu bağlamda geleceğin sağlık sistemleri; teknolojik yeterliliğin yanı sıra insan-merkezli tasarımı, güvenilirlik ve kabul edilebilirlik düzeyi yüksek sistemleri

ve etkin eğitim stratejilerini esas alan bütüncül bir yaklaşımla şekilleneceği düşünülmektedir.

Cerrahi Robotik Sistemler

Cerrahi uygulamalar robotik teknolojilerin sağlık alanında en erken ve en yaygın kullanıldığı alanlardan biri olmuştur. Bu sistemler hassasiyetin, kontrol edilebilirliğin ve minimal invaziv tekniklerin ön plana çıktığı ortamlarda, cerrahın yeteneklerini artırmayı hedefleyen karmaşık mekatronik ve yazılım entegrasyonlarından oluşur. Cerrahi robotlar özellikle laparoskopik ve endoskopik girişimlerde cerrahın el becerisini artırmak, titreşimi azaltmak ve üç boyutlu görüş sunmak gibi avantajlar sağlayarak hem operasyonel başarıyı artırmış hem de hasta iyileşme süreçlerini hızlandırmıştır (Clancy vd., 2017; Armijo vd., 2018).

Cerrahi robotların tıptaki kullanımı, 1980'li yıllarda *PUMA 560* robotunun beyin biyopsisi için modifiye edilerek kullanılmasıyla başlamış ve bu gelişme robot destekli cerrahinin potansiyelini ortaya koymuştur (Shivaji vd., 2013). Bunu izleyen dönemde geliştirilen ve 2000 yılında FDA onayı alan "da Vinci Cerrahi Sistemi", robotik cerrahiyi klinik pratiğin merkezine taşıyan bir dönüm noktası olmuştur (Marescaux & Diana, 2015). da Vinci sistemi, cerrahın bir konsol aracılığıyla robotik kolları yönlendirdiği, üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlayan bir platform olarak mikro düzeyde müdahaleleri güvenli şekilde gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır. Sistemin özellikle laparoskopik prosedürlerde sağladığı ergonomi, hareket kabiliyeti ve sabitlik gibi özellikler cerrahların daha karmaşık işlemleri daha az invaziv yollarla gerçekleştirmesini mümkün kılmıştır (Armijo vd., 2018; Rha & Koukourikis, 2021).

Robotik sistemlerin yalnızca genel cerrahide değil üroloji, jinekoloji, nöroşirürji, kardiyotorasik cerrahi, kulak burun boğaz ve plastik cerrahi gibi birçok tıbbi uzmanlık alanında yaygınlaşması bu teknolojilerin çok yönlü uygulama potansiyelini gözler önüne sermektedir (Das vd., 2024; Marcaccini vd., 2025). Örneğin radikal prostatektomi gibi hassasiyet gerektiren prosedürlerde robotik cerrahi kanama kontrolünü artırmakta ve ameliyat sonrası fonksiyonların korunmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde robotik mikroskopiyle desteklenen süper-mikrocerrahi teknikleri, plastik ve rekonstrüktif cerrahi uygulamalarında 0.3 mm çapındaki damarların dahi güvenli şekilde onarılmasını mümkün kılmaktadır (Marcaccini vd., 2025).

Teknolojik gelişmelerin etkisiyle, robotik sistemler yalnızca uzaktan yönlendirilen cihazlar olmaktan çıkıp belirli düzeyde karar destek sunabilen, hatta bazı görevlerde yarı-otonom hareket edebilen "akıllı sistemlere" dönüşmektedir. Mevcut dönüşüm özellikle yapay zekâ, görüntü işleme ve

makine öğrenmesi algoritmalarının cerrahi robotlara entegre edilmesiyle ivme kazanmıştır (Lovell vd., 2020). Örneğin; kamera yönlendirmesi, hedef doku tanıma ve doku ayrıştırma gibi görevlerde yapay zekâ desteğiyle robotik sistemlerin cerraha yardımcı olduğu ve böylece cerrahın bilişsel yükünün hafifletildiği ve işlem süresinin optimize edildiği bildirilmektedir (Ostroushko vd., 2024). Bu teknolojik yetenekler, özellikle robotik sistemlerin ameliyathane içi koordinasyonunu artırmakta ve cerrahi süreçlerin daha güvenli, daha öngörülebilir hale gelmesini sağlamaktadır.

Bu gelişmelere rağmen, robotik cerrahi sistemlerinin yaygınlaşmasında çeşitli sınırlılıklar da söz konusudur. Öncelikle sistemlerin yüksek kurulum ve bakım maliyetleri bu teknolojilerin özellikle düşük ve orta gelirli sağlık sistemlerinde erişilebilirliğini sınırlandırmaktadır (Razzoli & Cepolina, 2022). Ayrıca robotik cerrahinin öğrenme düzeyinin geleneksel cerrahiye göre daha dik olması yani daha hızlı gelişim göstermesi cerrahların eğitim süreçlerinde kapsamlı simülasyonlar ve sürekli mesleki gelişim programlarına ihtiyaç duymasına neden olmaktadır (Das vd., 2024). Bunun yanı sıra robotik sistemlerde yaşanabilecek teknik arızalar ya da yazılım sorunları, özellikle karmaşık cerrahi prosedürlerde operasyonel riski artırabilmekte bu durum, yedek sistemler ve güvenli geri dönüş protokolleri gerekliliğini gündeme getirmektedir.

Etik ve hukuki boyutta ise cerrahi robotların otonomi düzeyi arttıkça "karar verme sorumluluğu" gibi yeni tartışmalar ortaya çıkmaktadır. Cerrahın müdahale ettiği hangi aşamada sistemin otonom işlevi ne kadar rol oynadı? Oluşan bir komplikasyonda sorumluluk kimdedir? Bu ve benzeri sorular, henüz yasal çerçevelerle tam olarak yanıtlanamamış olup robotik cerrahinin klinik entegrasyonu kadar düzenleyici sistemlerle uyumu da kritik önemdedir (Kolpashchikov vd., 2021; Maibaum vd., 2022).

Geleceğe yönelik bakıldığında robotik cerrahi teknolojilerinin yalnızca ameliyat esnası ile sınırlı kalmayacağı preoperatif planlamadan postoperatif izleme süreçlerine kadar bütünleşik bir yapıya kavuşacağı öngörülmektedir. Gelişmiş haptik geri bildirim sistemleri, artırılmış gerçeklik entegrasyonları ve 5G gibi yüksek hızlı iletişim teknolojileri sayesinde robotik sistemlerin çok merkezli operasyonlarda kullanılması mümkün hale gelmektedir (Lovell vd., 2020; Pang vd., 2018). Bu durum özellikle kırsal bölgelerde yaşayan hastaların uzman cerrahlara erişimini kolaylaştıracak tele-tıp destekli robotik cerrahi modellerini gündeme getirmektedir.

Sonuç olarak cerrahi robotik sistemler yalnızca teknik bir yenilik değil aynı zamanda sağlık hizmetlerinin organizasyon yapısında ve hasta bakım modellerinde köklü bir dönüşümün öncüsü olabilmektedir. Bu sistemlerin

başarılı biçimde hayata geçirilmesi; teknolojik ilerlemenin yanı sıra etik ilkelerin gözetilmesi, sağlık profesyonellerinin eğitilmesi, hasta güvenliğinin sağlanması ve erişilebilirliğin artırılmasıyla mümkün olacaktır. Geleceğin ameliyathaneleri, insan-makine iş birliğinin en yüksek düzeyde yaşandığı hibrit ortamlara dönüşürken cerrahın uzmanlığı ile robotun hassasiyeti arasında kurulan mevcut denge modern tıbbın sınırlarını yeniden tanımlamaya devam edeceği düşünülmektedir.

Hastane Otomasyon Sistemleri ve Servis Robotları

Modern hastane ortamları artan hasta sayısı, hizmet çeşitliliği ve operasyonel karmaşıklık nedeniyle süreçlerin daha etkin, verimli ve güvenli biçimde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada hastane otomasyon sistemleri ve entegre servis robotları yalnızca idari ve lojistik süreçlerde değil hasta bakım kalitesinin artırılmasında da kilit rol oynamaktadır. Robotik sistemlerin bu alandaki kullanımı; veri yönetimi, malzeme ve ilaç taşınması, temizlik, güvenlik, hasta rehberliği ve oda servisleri gibi çok yönlü operasyonel görevleri insan kaynaklı hataları azaltarak ve süreklilik sağlayarak optimize etmektedir (Mathew vd., 2021; Holland vd., 2021).

Hastanelerdeki otomasyon sistemlerinin evrimi başlangıçta temel dijital kayıtların yönetimi ve laboratuvar analizlerinde otomatikleşme ile başlamış ve zamanla akıllı robotik sistemlerin sürece entegre edilmesiyle dinamik ve otonom bir yapıya bürünmüştür. Bu süreçte gelişen teknolojiler, robotların yalnızca programlanmış görevleri yerine getiren araçlar olmaktan çıkarak, algılayıcı sistemlerle çevresini tanıyan, karar verebilen ve görevler arasında öncelik sıralaması yapabilen akıllı ajanlara dönüşmesini mümkün kılmıştır (Correia vd., 2024). Özellikle depo yönetimi, sterilizasyon alanları ve yoğun bakım üniteleri gibi hassas bölgelerde robotlar; zamana duyarlı, hijyenik ve hatasız hizmet sunumu açısından ön plana çıkmaktadır.

Servis robotları, hastane ortamında farklı kategorilerde işlev görmektedir. Taşıma robotları (ilaç, laboratuvar örneği, malzeme), rehberlik robotları (ziyaretçi yönlendirme), hasta odası robotları (yiyecek-içecek servisi) ve destek hizmet robotları (temizlik, atık yönetimi) gibi işlevsel ayrımlar bunlardan bazılarıdır (Fan vd., 2009; Wise vd., 2022). Örneğin; hattı izleyen (line follower) robotlar, katlar arasında ilaç ve ekipman taşımada programlanabilir rotalar üzerinden hareket ederek hem sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakta hem de taşıma sırasında yaşanan gecikmeleri ortadan kaldırmaktadır (Wise vd., 2022).

Bu sistemlerin uygulanabilirliği özellikle COVID-19 pandemisi sonrası süreçte daha da önem kazanmıştır. Personel temasını azaltmak, steril ortamları korumak ve bulaşıcı hastalık riskini azaltmak için kullanılan mobil servis

robotları hasta odalarına yemek, ilaç ya da doküman taşıma gibi görevlerde sıkça tercih edilmiştir (Masnavi vd., 2022). Mobil robot filolarının birlikte çalışabilirlik düzeyi, hastane içi ağ sistemlerine entegre edilerek tüm görevlerin merkezi bir yazılım platformu üzerinden koordine edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen "hospOS" gibi robot orkestrasyon platformları, çoklu robotların görev paylaşımı ve öncelik sıralaması yaparak birlikte çalışmasını sağlayan yazılım çözümleri arasında dikkat çekmektedir (Wahl vd., 2024).

Bununla birlikte servis robotlarının etkin kullanımı sadece donanım ve yazılım yeterliliğine değil aynı zamanda insan-robot etkileşiminin ergonomisine, hasta ve sağlık personelinin kabul düzeyine ve sistemin genel iş akışıyla uyumuna bağlıdır. Nitekim yapılan çalışmalar servis robotlarına duyulan güvenin, onların işlevselliği ve görev performansının yanı sıra hastane çalışanlarıyla olan etkileşimlerinin kalitesiyle de doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir (Holland vd., 2021; Kauttonen, Rousi & Alamäki, 2025). Robotların hastane koridorlarında öngörülemeyen insan hareketlerine tepki verebilmesi, dar alanlarda yön değiştirme kapasitesi, görevler arası geçişi kesintisiz gerçekleştirebilmesi gibi fonksiyonlar hem operasyonel başarıyı hem de çalışan memnuniyetini doğrudan etkileyebileceği de ayrıca düşünülmektedir. Ancak bu sistemlerin entegrasyonu birtakım risk ve zorlukları da beraberinde getirmektedir. Özellikle veri güvenliği, siber saldırılara karşı koruma, sistem arızalarının kritik hizmetleri aksatması ve robotların hasta mahremiyetine yönelik tehdit oluşturma potansiyeli gibi sorunlar dikkatle ele alınmalıdır (Bernhard vd., 2024). Ayrıca maliyet-fayda analizlerinin yapılması, robotların satın alma, bakım ve yazılım güncelleme maliyetlerinin uzun vadeli sağlık hizmetlerine katkısı bağlamında değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Correia vd., 2024).

Sonuç olarak hastane otomasyon sistemleri ve servis robotları, çağdaş sağlık yönetiminin dijitalleşme ekseninde dönüşmesini sağlayan önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu sistemler yalnızca operasyonel verimliliği değil aynı zamanda hasta güvenliği, personel memnuniyeti ve hizmet sürekliliği açısından da yüksek katkı sunmaktadır. Geliştirilen mobil robot sistemleri, entegre yazılımlar ve insan-robot uyumluluğuna yönelik tasarımlar sayesinde, hastane ortamları daha esnek, dirençli ve hasta odaklı hale gelmektedir. Bu dönüşüm gelecekte dijital hastane modelinin temel yapı taşlarından biri olarak robotik teknolojileri daha da görünür kılacaktır.

Tele tıp ve Tele-robotik Uygulamalar

Dijitalleşme, iletişim teknolojileri ve robotikteki gelişmeler sağlık hizmetlerinin mekân ve zamandan bağımsız olarak sunulabilmesini mümkün

kılan yeni paradigma değişimlerine zemin hazırlamıştır. Bu dönüşümün en çarpıcı yansımalarından biri olan teletıp (telemedicine), özellikle pandemi sonrası dönemde hasta ve hekim arasındaki fiziksel mesafenin ortadan kalktığı zamana duyarlı müdahalelerin gerçekleştirilebildiği ve erişilebilirliğin artırıldığı hibrit bir sağlık hizmeti sunumunu temsil etmekte ve bu önemli teknolojik dönüşümün de en temel yapı taşı olmaktadır. Bu yapının bir ileri aşaması olan tele-robotik sistemler ise yalnızca tanı ve takip hizmetlerini değil cerrahi müdahale gibi yüksek teknik uzmanlık gerektiren eylemleri de uzaktan gerçekleştirme potansiyeline sahiptir (Evans, Medina & Dwyer, 2018).

Tele-robotik sistemlerin temel amacı; robotik cihazların uzaktan kontrol edilerek farklı lokasyonlardaki hastalara müdahale edilmesini sağlamaktır. Bu bağlamda tele-robotlar, robotik sistemlerin hassasiyeti ile uzaktan erişimin avantajlarını birleştirerek sağlık hizmetlerinin coğrafi sınırlarını ortadan kaldırmaktadır (Avgousti vd., 2016). Özellikle kırsal ve erişimi kısıtlı bölgelerde uzman hekimlerin müdahalesine imkân tanınması bu teknolojilerin sağlık eşitsizliklerini azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır. Tele-robotik cerrahi, kalp-damar cerrahisi, üroloji, ortopedi ve genel cerrahi gibi alanlarda başarıyla uygulanmaya başlanmıştır (Slama vd., 2019). Bu sistemlerde en kritik faktörlerden biri robot-hekim arayüzünün gecikmesiz, kesintisiz ve yüksek güvenlikli bir iletişim altyapısı ile desteklenmesidir (Hannaford vd., 2010). Son yıllarda geliştirilen ileri düzey tele-robotik sistemler kuvvet geri beslemesi (haptic feedback), üç boyutlu görüntüleme, yapay zekâ destekli kontrol sistemleri ve makine öğrenmesi algoritmaları ile donatılmıştır. Bu sayede hekim yalnızca görsel değil dokunsal bir farkındalık da kazanarak daha hassas müdahalelerde bulunabilmektedir (Liu vd., 2020). Bu teknolojilerin gelişiminde küresel birlikte çalışabilirlik (interoperability) standartlarının oluşturulması da büyük önem arz etmektedir. Nitekim 2009 yılında gerçekleştirilen "Plugfest" etkinliği farklı üreticilere ait tele-robotik sistemlerin birbiriyle entegre çalışabilmesine yönelik küresel test protokollerinin geliştirilmesi açısından önemli bir adım olmuş ve sağlıktaki dönüşümün de en önemli sac ayağı olmuştur (Hannaford vd., 2010). Ayrıca sosyal tele-robotlar başta gelişimsel ve davranışsal pediatri olmak üzere birçok klinik alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, çocukların duygusal ihtiyaçlarına uzaktan cevap verebilecek şekilde tasarlanmakta hem gözlem hem de terapi süreçlerine entegre edilerek çocuk dostu bir tedavi ortamı sağlamaktadır (Marcin & Ahumada-Newhart, 2022). Tele-robotik sistemlerin nörolojik rehabilitasyon, psikiyatri ve yaşlı bakım hizmetlerinde de kullanım potansiyeli giderek artmaktadır.

Tele-robotik sistemlerin yaygınlaşmasında en önemli teknik gereksinimlerden biri ise ağ iletişim teknolojilerinin kapasitesidir. Bu bağlamda 6G gibi yeni nesil kablosuz iletişim altyapıları, ultra düşük gecikme

süresi, yüksek bant genişliği ve güvenli veri iletimi gibi avantajlar sağlayarak tele-robotik sistemlerin çok daha karmaşık ve hassas görevleri uzaktan gerçekleştirmesini mümkün kılacaktır (Bernhard vd., 2024). Özellikle uzaktan tanı, biyopsi alma ve endoskopik müdahalelerde bu kapasitenin pratik etkisi şimdiden gözlemlenmeye başlamıştır. Bununla birlikte, tele-robotik sistemlerin uygulamaya geçirilmesi bazı etik, hukuki ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir. Uzaktan yapılan bir müdahale sırasında oluşabilecek hata veya gecikmelerde sorumluluğun kime ait olacağı, hastanın rızası ve veri güvenliği gibi unsurlar hâlen tartışmalıdır (Evans, Medina & Dwyer, 2018). Ayrıca bu sistemlerin maliyeti, bakım süreçleri, eğitim gereksinimleri ve altyapı ihtiyaçları gibi konular da yaygın kullanımı sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak tele-tıp ve tele-robotik uygulamalar, sağlık hizmetlerinin erişilebilirliğini artıran uzmanlık gerektiren müdahaleleri mekânsal sınırların ötesine taşıyan ve yeni bakım modellerini mümkün kılan teknolojik ilerlemelerdir. Bu sistemlerin potansiyelinin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için sadece teknik değil aynı zamanda etik, sosyokültürel ve organizasyonel düzeylerde de bütüncül bir yaklaşım gerekmektedir. Geliştirilecek stratejiler hem teknoloji altyapısının güçlendirilmesini hem de bu teknolojilerin kabulünü artıracak farkındalık çalışmalarını içermelidir. Böylelikle tele-robotik sistemler geleceğin hasta merkezli, bütüncül ve sürdürülebilir sağlık hizmetleri vizyonunun vazgeçilmez bir parçası olacaktır.

Etik, Hukuki ve İnsan-Robot Etkileşimi

Sağlık hizmetlerinde robotik sistemlerin kullanımı arttıkça bu teknolojilerin etik, hukuki ve sosyo-kültürel etkileri de daha görünür ve önemli hâle gelmektedir. Klinik ortamlarda insan-robot etkileşiminin doğrudan hasta güvenliği, mahremiyet, karar verme özerkliği ve insani değerlerle ilişkili olması sağlık robotlarının yalnızca teknik değil aynı zamanda etik tasarım ilkeleriyle de şekillendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yu & Ding, 2019). Hasta-robot etkileşimlerinde ortaya çıkan başlıca etik meselelerden biri mahremiyetin korunmasıdır. Servis robotlarının hasta odalarında hareket etmesi, hasta bilgilerinin dijital ortamda işlenmesi veya sosyal tele-robotların duygusal destek sunması gibi uygulamalar, kişisel veri güvenliği ve özel yaşamın gizliliği açısından riskler barındırmaktadır. Bu nedenle robotların iletişim kurma biçimleri, veri toplama yöntemleri ve geri bildirim mekanizmaları özel olarak düzenlenmeli ve etik tasarım prensipleri bu sürece entegre edilmelidir (Francesconi & Weng, 2023). Ayrıca özellikle yaşlı bireyler ve bilişsel yetersizliği olan hastalarla kurulan robotik etkileşimlerde, robotların insanlar üzerinde duygusal veya davranışsal yönlendirme gücü etik bir sorun alanı olarak öne çıkmaktadır. Bazı durumlarda robotların insan gibi davranması,

hastaların robotlarla sosyal bağ kurmasına neden olmakta ve bu bağ ise bakım sürecinde yanlış bir öznellik algısına yol açabilmektedir (Graaf, 2016). Bu durum hem insan hakları bağlamında hem de psikososyal etki bakımından dikkatle yönetilmelidir.

İnsan-robot etkileşiminde karşılıklı güven, açıklık ve sınırların netliği önemlidir. Robotların görev tanımlarının açık biçimde belirlenmesi, hastaların bilgilendirilmiş onamı doğrultusunda kullanılmaları ve gerektiğinde insan desteği ile takviye edilmeleri bu bağlamda önem arz etmektedir (Yu & Ding, 2019). Aynı zamanda robotların sağlık personeli ile olan ilişkisi de değerlendirilmelidir. Özellikle otomasyonun yoğun olduğu hastane ortamlarında, çalışanların mesleki rollerinin değersizleşmesi, iş güvencesi kaygısı veya duygusal tükenmişlik gibi etkiler göz ardı edilmemelidir.

Sonuç olarak sağlık hizmetlerinde kullanılan robotik sistemler yalnızca teknolojik araçlar değil aynı zamanda sosyal etkileşim aktörleri olarak da değerlendirilmelidir. Bu nedenle insan haklarına saygılı, şeffaf, hesap verebilir ve değer temelli bir robotik tasarım anlayışı benimsenmeli; etik ilkeler klinik uygulamalarla bütünleşik biçimde ele alınmalıdır.

Türkiye ve Dünyada Uygulama Örnekleri

Robotik sistemlerin sağlık alanında kullanımı, dünya genelinde hızla yaygınlaşmakta olup hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde farklı ölçeklerde uygulama örnekleri sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Güney Kore ve Almanya gibi ülkeler; robot destekli cerrahi, hasta taşıma sistemleri ve otomatik ilaç dağıtım üniteleri gibi alanlarda öncü rol üstlenmektedir. Özellikle Da Vinci cerrahi sistemi, Amerika ve Avrupa'daki birçok hastanede yaygın olarak kullanılmakta, minimal invaziv cerrahilerde başarı oranlarını artırmaktadır (Armijo vd., 2018). Japonya ise yaşlanan nüfusu nedeniyle sosyal robotların bakım evlerinde kullanımına öncülük etmektedir. Pepper, Paro gibi robotlar yaşlı bakımında duygusal destek sağlamada etkili bir rol üstlenirken, Güney Kore'de COVID-19 sürecinde temassız hizmet sunan robot sistemleri ön plana çıkmıştır (Mathew vd., 2021).

Türkiye'de sağlık alanında robotik uygulamaların gelişimi son yıllarda ivme kazanmış, kamu ve özel sektör destekli girişimlerle robot destekli sağlık hizmetleri önemli bir konum kazanmıştır. Özellikle robotik cerrahi uygulamaları büyük şehirlerdeki kamu hastaneleri ve özel sağlık kurumlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2012 yılından bu yana Da Vinci robotik cerrahi sistemini kullanarak üroloji, jinekoloji, genel cerrahi ve kalp-damar cerrahisi alanlarında başarılı operasyonlara imza atmaktadır. Kurumda şu ana dek binlerce hasta robot destekli cerrahi ile tedavi edilmiştir (Ege Üniversitesi, 2024).

Ankara Şehir Hastanesi, ülkenin en büyük ve teknolojik açıdan donanımlı kamu hastanelerinden biri olarak, robotik cerrahiyi aktif şekilde uygulayan önemli merkezlerden biridir. Hastanede üroloji, kadın doğum, genel cerrahi ve kulak burun boğaz branşlarında robot destekli operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Sağlık profesyonelleri sistemin öğrenme eğrisine hızla uyum sağlayarak cerrahi başarı oranlarını yükseltmektedir (Ankara Şehir Hastanesi, 2024).

Öte yandan Liv Hospital ve Acıbadem Sağlık Grubu gibi önde gelen özel hastaneler ileri düzey robotik sistemleriyle karaciğer nakli, obezite cerrahisi ve onkolojik operasyonlar gibi yüksek hassasiyet gerektiren müdahalelerde hizmet sunmaktadır. Bu merkezlerde robotik cerrahinin getirdiği minimal invaziv tekniklerin, hastaların iyileşme sürecini hızlandırdığı ve komplikasyon riskini azalttığı gözlemlenmiştir (Liv Hospital, 2024; Medical Center Turkey, 2024).

Türkiye'nin ulusal sağlık sisteminde tele-robotik cerrahinin de potansiyel kazandığı görülmektedir. Anadolu Ajansı'nın (2019) haberine göre, bazı vakalarda robotik cerrahi sistemleri uzaktan kontrol edilerek ameliyatların farklı şehirlerdeki hekimlerce gerçekleştirilmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu gelişme Türkiye'nin sağlık hizmetlerinde teknolojik bütünleşmeye yönelik kararlı adımlar attığını göstermektedir. Ayrıca TÜBİTAK destekli projeler ve üniversite–sanayi iş birlikleriyle yerli üretim robotik sistemlerin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir. Özellikle servis robotları ve hasta yönlendirme robotları bazı üniversite hastanelerinde test edilmekte ve sağlık personelinin iş yükünü hafifletmeye yönelik çözümler sunmaktadır (Bastug vd., 2023).

Bu gelişmeler Türkiye'nin robotik sağlık teknolojileri alanında yalnızca kullanıcı değil aynı zamanda geliştirici konumuna gelme hedefiyle hareket ettiğini ortaya koymaktadır. Önümüzdeki dönemde bu alandaki uygulamaların daha fazla yaygınlaşması ve bölgesel sağlık hizmeti sunumunda Türkiye'nin bir çekim merkezi haline gelmesi mümkündür.

Sonuç

Robotik uygulamalar ve otomasyon teknolojileri, sağlık sektöründe yalnızca teknik bir dönüşümü değil aynı zamanda organizasyonel, etik ve insani boyutları içeren çok katmanlı bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. Cerrahiden rehabilitasyona hastane hizmetlerinden uzaktan sağlık uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede entegre edilen bu sistemler, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmakta, süreçleri hızlandırmakta ve insan hatasını azaltarak hasta güvenliğini güçlendirmektedir.

Bu kitap bölümünde, robotik sistemlerin tarihsel gelişimi ve sağlık alanındaki evrimi kapsamlı bir şekilde incelenmiş; cerrahi robotlardan hasta

destek cihazlarına, servis robotlarından tele-robotik sistemlere kadar birçok uygulama alanı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sürecinde yalnızca teknolojik yenilikler değil aynı zamanda insan-robot etkileşimi, mahremiyet, etik tasarım ve sağlık profesyonellerinin rollerindeki dönüşüm gibi kritik ve önemli konulara da değinilmiştir.

Sağlık alanında robotik sistemlerin etkin biçimde uygulanabilmesi teknolojik yeterlilik kadar örgütsel hazırlık, kullanıcı kabulü, multidisipliner iş birliği ve toplum temelli etik anlayışa da bağlıdır. Bu noktada robotik sağlık sistemlerinin geliştirilmesinde mühendislik kadar tıp, hukuk, etik ve sosyal bilimler perspektiflerinin de sürece entegre edilmesi gerekmektedir.

Türkiye örneklemi üzerinden yapılan değerlendirmeler, ülkenin bu alanda artan bir farkındalık ve kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Robot destekli cerrahi uygulamaların giderek daha fazla sağlık kuruluşunda yer bulması yerli robot teknolojilerine yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin ivme kazanması ve ulusal sağlık politikalarında dijitalleşmeye verilen önemin artması bu gelişimin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Geleceğe yönelik olarak sağlıkta robotik ve otomasyon sistemlerinin daha da entegre, esnek ve yapay zekâ destekli yapılara evrilmesi beklenmektedir. Bununla birlikte mevcut teknolojilerin sağlık hizmetlerine katkısını maksimize edebilmek için; etik sınırların belirlenmesi, hukuki çerçevenin güncellenmesi, kullanıcıların eğitimi ve teknolojilere olan güvenin güçlendirilmesi öncelikli gündem maddeleri olmalıdır. Sonuç olarak, robotik ve otomasyon sistemleri sağlık hizmetlerinin geleceğini şekillendiren temel bileşenlerden biri haline gelmiştir. Bu dönüşüm sürecini sağlıklı, kapsayıcı ve insan odaklı bir yaklaşımla yönetmek yalnızca teknolojik değil aynı zamanda toplumsal bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır.

Kaynakça

Aggarwal, S., Gupta, D., & Saini, S. (2019). A literature survey on robotics in healthcare. *2019 4th Int. Conf. on Information Systems and Computer Networks*, IEEE, 55–58.

Anadolu Ajansı. (2019). *Robotic surgery offers operations made from distance*. https://www.aa.com.tr/en/health/robotic-surgery-offers-operations-made-from-distance/1619935 (Erişim tarihi: 27.06.2025)

Ankara Şehir Hastanesi. (2024). *Robotic Surgery Applications*. https://ankarasehir.saglik.gov.tr/EN-834592/robotic-surgery.html (Erişim tarihi: 27.06.2025)

Armijo, P., Oleynikov, D., Peters, B., Krause, C., & Choudhury, S. (2018). *Review of emerging surgical robotic technology*. Surgical Endoscopy, 32, 1636–1655. https://doi.org/10.1007/s00464-018-6079-2

Avgousti, S., Vieyres, P., Voskarides, S., Panayides, A., Nouaille, L., Christoforou, E., Pattichis, C., & Novales, C. (2016). *Medical telerobotic systems: current status and future trends*. BioMedical Engineering OnLine, 15. https://doi.org/10.1186/s12938-016-0217-7

Bastug, Y., Yazıcıoğlu, O., & Borat, O. (2023). Robotik Cerrahi Uygulamalarının İncelenmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 22(43), 233-247. https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1104591

Bernhard, L., Hofmann, J., Wilhelm, D., Knoll, A., & Schwingenschlögl, P. (2024). *Boosting the hospital by integrating mobile robotic assistance systems: a comprehensive classification of the risks to be addressed*. Autonomous Robots, 48, 1–17. https://doi.org/10.1007/s10514-023-10154-0

Bernhard, L., Jurosch, F., Wilhelm, D., Kröger, N., Mehmeti, F., Kellerer, W., Madden, A., & Kolb, S. (2024). *6G in medical robotics: development of network allocation strategies for a telerobotic examination system*. Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery, 20, 167–178. https://doi.org/10.1007/s11548-024-03260-6

Bhatia, D., Acharjee, T., & Sengupta, A. (2025). *Robotics in healthcare: A review*. Innovation and Emerging Technologies, 12, 2530001.

Clancy, O., Grover, V., Ashrafian, H., & Darzi, A. (2017). *The evolution of robotic surgery: surgical and anaesthetic aspects*. BJA, 119, i72–i84. https://doi.org/10.1093/bja/aex383

Correia, A., Cruz, E., & Oliveira, S. (2024). *Robotics Applications in the Hospital Domain: A Literature Review*. Applied System Innovation. https://doi.org/10.3390/asi7060125

Cresswell, K., Cunningham-Burley, S., & Sheikh, A. (2018). Health care robotics: Qualitative exploration of key challenges and future directions. *Journal of Medical Internet Research, 20*(7). https://doi.org/10.2196/10410

Das, S., Ganguly, K., Chatterjee, S., & Mandal, D. (2024). *Advancements in robotic surgery: innovations, challenges and future prospects*. Journal of Robotic Surgery, 18(1), 28. https://doi.org/10.1007/s11701-023-01801-w

Demet, E. N. (2023). Endüstri 4.0'ın Sağlıkta Dönüşüm Programı ve Sağlık Hizmeti Sunumu Üzerine Etkisi. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Gelişmeler*, 299.

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi. (2024). *Robotik Cerrahi*. https://egehastane.ege.edu.tr/eng-10246/robotik_cerrahi.html (Erişim tarihi: 27.06.2025)

Evans, C., Medina, M., & Dwyer, A. (2018). *Telemedicine and telerobotics: from science fiction to reality*. Updates in Surgery, 70, 357–362. https://doi.org/10.1007/s13304-018-0574-9

Fan, Z., Dawids, S., Christensen, K., Kristensen, J., Ozkil, A., & Aanes, H. (2009). *Service robots for hospitals: A case study of transportation tasks in a hospital*. IEEE ICAL, 289–294. https://doi.org/10.1109/ICAL.2009.5262912

Francesconi, E., & Weng, Y. (2023). *Ethical Design for Privacy-related Communication in Human-Robot Interaction*. 2023 IEEE RO-MAN, 2427–2432. https://doi.org/10.1109/RO-MAN57019.2023.10309553

Graaf, M. (2016). *An Ethical Evaluation of Human–Robot Relationships*. International Journal of Social Robotics, 8, 589–598. https://doi.org/10.1007/s12369-016-0368-5

Hannaford, B., vd. (2010). *Plugfest 2009: Global interoperability in Telerobotics and telemedicine*. 2010 IEEE ICRA, 1733–1738. https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509422

Holland, J., Kingston, L., McConnell, M., McCarthy, C., O'Dwyer, P., Merz, F., & Armstrong, E. (2021). *Service Robots in the Healthcare Sector*. Robotics, 10, 47. https://doi.org/10.3390/ROBOTICS10010047

Husainy, A., Mangave, S., & Patil, N. (2023). A review on robotics and automation in the 21st century. *Asian Review of Mechanical Engineering*, 12(2), 41–45.

Ingole, A., & Sonwane, S. (2024). Robotics and Automation in Healthcare. *2024 Int. Conf. on Healthcare Innovations, Software and Engineering Technologies (HISET)*, IEEE, 78–81.

Irshad, A. vd. (2025). Integration of robotics in healthcare management: a narrative review. *Anaesthesia, Pain & Intensive Care*, 29(2), 331–336.

Kaur, J. (2023). Robotic process automation in healthcare sector. *Les Ulis: EDP Sciences*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101008

Kauttonen, J., Rousi, R., & Alamäki, A. (2025). Trust and acceptance challenges in the adoption of AI applications in health care: Quantitative survey analysis. *Journal of Medical Internet Research, 27*. https://doi.org/10.2196/65567

Kauttonen, J., Rousi, R., & Alamäki, A. (2025). *Trust and acceptance challenges in the adoption of AI applications in health care: Quantitative survey analysis*. Journal of Medical Internet Research, 27. https://doi.org/10.2196/65567

Kavidha, V., Gayathri, N., & Kumar, S. R. (2021). AI, IoT and robotics in the medical and healthcare field. *AI and IoT-Based Intelligent Automation in Robotics*, 165–187.

Kolpashchikov, D., Gerget, O., & Meshcheryakov, R. (2021). *Robotics in healthcare*. In Handbook of Artificial Intelligence in Healthcare: Vol 2. Springer.

Li, C. (2024). A Review of Identity and Roles of Robotics in the Healthcare Industry. *Journal of Biomedical and Sustainable Healthcare Applications*, 22–32.

Liu, F., Pham, M., Lelevé, A., Atashzar, S., & Mehrdad, S. (2020). *Review of Advanced Medical Telerobots*. Applied Sciences. https://doi.org/10.3390/app11010209

Liv Hospital. (2024). *Robotic Surgery in Turkey*. https://www.livhospital.com/en/robotic-surgery-in-Turkey (Erişim tarihi: 27.06.2025)

Lodhi, S. K., & Zeb, S. (2025). Ai-Driven Robotics and Automation: The Evolution of Human-Machine Collaboration. *Journal of World Science*, 4(4), 422–437.

Lovell, N., Wong, S., Nho, T., Thai, M., & Phan, P. (2020). *Advanced Intelligent Systems for Surgical Robotics*. Advanced Intelligent Systems, 2. https://doi.org/10.1002/aisy.201900138

Maibaum, A., Bischof, A., Hergesell, J., & Lipp, B. (2022). A critique of robotics in health care. *AI & Society*, 1–11.

Marcaccini, G., vd. (2025). *Use of Robotic Surgery in Plastic and Reconstructive Surgery: A Narrative Review*. Biomimetics, 10. https://doi.org/10.3390/biomimetics10020097

Marcin, J., & Ahumada-Newhart, V. (2022). *Telehealth Frontiers: Social Telerobots in Developmental and Behavioral Pediatrics*. Iproceedings. https://doi.org/10.2196/41060

Marescaux, J., & Diana, M. (2015). *Robotic surgery*. British Journal of Surgery, 102. https://doi.org/10.1002/bjs.9711

Masnavi, H., Põlluäär, R., Singh, A., Valner, R., Aabloo, A., Rybalskii, I., Kõiv, E., & Kruusamäe, K. (2022). *Scalable and heterogeneous mobile robot fleet-based task automation in crowded hospital environments—a field test*. Frontiers in Robotics and AI, 9. https://doi.org/10.3389/frobt.2022.922835

Mathew, J., Lygerakis, F., Chaitanya, K., Makedon, F., Babu, A., Kyrarini, M., Sevastopoulos, C., Nambiappan, H., & Rajavenkatanarayanan, A. (2021). *A Survey of Robots in Healthcare*. Technologies. https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES9010008

Medical Center Turkey. (2024). *Best Clinics for Robotic Surgery in Turkey*. https://www.medicalcenterturkey.com/best-clinics-for-robotic-surgery-in-turkey/ (Erişim tarihi: 27.06.2025)

Nwazor, N. O., & Orakwue, S. I. (2023). Enhancing healthcare through automation and robotics. In *Modernity in Health and Disease Diagnosis*, Springer Nature, 59–67.

Okamura, A. M., Matarić, M. J., & Christensen, H. I. (2010). Medical and healthcare robotics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 17(3), 26–37.

Ostroushko, A., vd. (2024). *Automated robotic systems in surgical practice*. Science and Innovations in Medicine. https://doi.org/10.35693/sim540155

Pang, Z., Yang, G., Khedri, R., & Zhang, Y. T. (2018). *Healthcare 4.0*. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 11, 249–259.

Penelope, I., Ioannis, V., Haritou, M., Rania, P., Miloulis, S. T., Ioannis, K., Konstantinos, B., Matsopoulos, G. K., & Koutsouris, D. D. (2025). HEalthcare Robotics' ONtology (HERON): An Upper Ontology for Communication, Collaboration and Safety in Healthcare Robotics. *Healthcare, 13*(9), 1031. https://doi.org/10.3390/healthcare13091031

Razzoli, R., & Cepolina, F. (2022). *An introductory review of robotically assisted surgical systems*. International Journal of Medical Robotics, 18. https://doi.org/10.1002/rcs.2409

Rha, K., & Koukourikis, P. (2021). *Robotic surgical systems in urology: What is currently available?* Investigative and Clinical Urology, 62(1), 14–22. https://doi.org/10.4111/icu.20200387

Sadeghnejad, S., Abadi, V. S. E., & Jafari, B. (2023). Rehabilitation robotics: History and applications. *Medical and Healthcare Robotics*, 63–85.

Shivaji, B. S. vd. (2013). Medical Robotics and Automation. *Int. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2(4), 112–118.

Slama, E., Guetter, C., Knight, S., Huang, E., Davis, C., Crandall, M., & Moller, M. (2019). *Telemedicine and telementoring in the surgical specialties: A narrative review*. American Journal of Surgery. https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.07.018

Song, J., Sridhar, R. I., Rogers, D. M., Hiddleson, C., Davis, C., Holden, T. L., ... Kamaleswaran, R. (2025). Clinicians' perceptions and potential applications of robotics for task automation in critical care: Qualitative study. *Journal of Medical Internet Research, 27*. https://doi.org/10.2196/62957

Terry, N. (2019). Of regulating healthcare AI and robots. *Yale Journal of Law & Technology*, 21, 133.

Ugajin, A. (2023). Automation in hospitals and health care. In *Springer Handbook of Automation*, 1209–1233.

Van der Loos, H. M., Reinkensmeyer, D. J., & Guglielmelli, E. (2016). Rehabilitation and health care robotics. *Springer Handbook of Robotics*, 1685–1728.

Wahl, F., Schmidt, S., Sommer, D., & Greiler, T. (2024). *hospOS: A Platform for Service Robot Orchestration in Hospitals*, 221–228. https://doi.org/10.5220/0012692200003699

Wise, C., Sulthana, F., & Sundaramoorthy, A. (2022). *Line follower robot based room service automation in hospital environment*. ICRAMER 2021 Proceedings. https://doi.org/10.1063/5.0097033

Yu, L., & Ding, S. (2019). *Ethics and risks between human and robotic interaction*. Interaction Studies. https://doi.org/10.1075/IS.18009.YU