

Sağlık Bilimlerinde Teknoloji ve İnovasyonun Kuramsal ve Uygulamalı Temelleri

Anıl Güngördü¹

Özet

Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyon hem klinik hem de yönetsel süreçlerde köklü değişimlere yol açan kritik bir dönüşüm alanıdır. Bu bölümde, söz konusu dönüşüm kuramsal modeller ve uygulama örnekleri üzerinden incelemektedir. İnovasyonun kuramsal temelleri, lineer ve etkileşimli modeller, açık inovasyon yaklaşımı ve teknoloji kabul teorileri çerçevesinde tartışılmaktadır (Rogers, 2003; Venkatesh et al., 2003). Uygulamalı boyutta ise yapay zekâ destekli tanı sistemleri, robotik cerrahi, giyilebilir sağlık teknolojileri ve biyoteknolojik yenilikler, sağlık hizmetlerinde kalite, erişilebilirlik ve maliyet etkinliği açısından analiz edilmektedir (Topol, 2019). Disiplinlerarası iş birliği, inovasyon süreçlerinin hem bilimsel doğruluğunu hem de etik kabul edilebilirliğini artıran temel unsur olarak öne çıkmaktadır. Gelecek perspektifinde, Sağlık 5.0 vizyonu ve dijital ikizler gibi yeni yaklaşımlar, insan merkezli ve sürdürülebilir bir sağlık inovasyonu anlayışını gerektirmektedir.

1. Giriş

Sağlık bilimleri, teknolojik gelişmelerle sürekli olarak dönüşen ve toplumsal ihtiyaçlara göre şekillenen dinamik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda, yapay zekâ, biyoteknoloji, nanoteknoloji, büyük veri analitiği ve giyilebilir cihazlar gibi yenilikçi uygulamalar, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma, maliyetleri düşürme ve hasta merkezli yaklaşımları güçlendirme potansiyeli taşımaktadır (Topol, 2019). Bu bağlamda, teknoloji ve inovasyonun sağlık bilimine entegrasyonu, yalnızca klinik sonuçları değil; aynı zamanda sağlık hizmetlerine erişim, etik standartlar ve sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu etkiler de yaratmaktadır (WHO, 2021). Teknolojinin sağlık bilimlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte, disiplinlerarası

1 Lokman Hekim Üniversitesi SUAM, Ankara Hastanesi, Uzman Hemşire, Ankara, Türkiye

yaklaşımın önemi giderek artmıştır. Sağlık hizmetlerinde yenilikçi çözümler, yalnızca hekim ve hemşirelerin değil; aynı zamanda mühendislerin, bilgisayar bilimcilerin, sosyal bilimcilerin ve etik uzmanlarının katkısıyla şekillenmektedir (Yang et al., 2017). Örneğin, yapay zekâ tabanlı görüntüleme sistemlerinin geliştirilmesinde bilgisayar mühendisliği ile radyoloji disiplinleri arasındaki iş birliği, erken tanıda yüksek başarı oranları sağlamaktadır (Esteve et al., 2017). Bununla birlikte, sağlıkta teknolojik dönüşüm beraberinde çeşitli zorluklarda getirmektedir. Veri güvenliği, mahremiyetin korunması, sağlık çalışanlarının bu sistemlere uyumu ve hastaların teknolojiye erişimindeki eşitsizlikler, bu alandaki tartışmaların merkezinde yer almaktadır (Reddy et al., 2020). Dolayısıyla, sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonu yalnızca teknik boyutuyla değil; sosyal, ekonomik ve etik boyutlarıyla birlikte ele almak kaçınılmazdır.

2. Kuramsal Temeller

Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonun kuramsal temelleri, yenilik süreçlerinin nasıl ortaya çıktığını, hangi aşamalardan geçtiğini ve hangi faktörlerden etkilendiğini açıklamaya yönelik farklı modeller ve yaklaşımlar üzerine kuruludur. İnovasyonun en klasik açıklamalarından biri, araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan bilginin uygulamaya aktarılmasını öngören lineer inovasyon modelidir. Bu model, keşif ve araştırma aşamasından klinik uygulamaya kadar tek yönlü bir süreç varsayar. Ancak sağlık bilimlerinde süreç, çoğunlukla çok daha karmaşık ve etkileşimli olduğundan, lineer yaklaşımın sınırlı kaldığı görülmektedir (Godin, 2006). Buna karşılık etkileşimli inovasyon modeli, farklı disiplinler ve paydaşlar arasında sürekli bilgi akışına dayalıdır. Sağlık hizmetlerinde klinisyenler, mühendisler, bilgisayar bilimciler ve hastalar arasında karşılıklı etkileşim, yeniliklerin daha hızlı ve daha etkin biçimde gelişmesini sağlar. Örneğin, robotik cerrahi sistemlerinin geliştirilmesinde cerrahların klinik deneyimleri ile mühendislerin teknolojik tasarımları arasındaki etkileşim belirleyici rol oynamaktadır (Gawande, 2012).

Son yıllarda öne çıkan bir diğer yaklaşım ise açık inovasyon modelidir. Bu modelde bilgi, yalnızca kurum içinden değil; akademi, sanayi, devlet ve sivil toplum gibi dış aktörlerden de beslenir (Chesbrough, 2003). Sağlık teknolojilerinde açık inovasyon, özellikle yapay zekâ tabanlı uygulamaların geliştirilmesinde sıkça görülmektedir. Örneğin, Google'ın sağlık verilerini anonimleştirerek araştırma kurumlarıyla paylaşması, klinik karar destek sistemlerinin daha güvenilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır (Esteve et al., 2017). Kuramsal temelleri anlamada bir diğer önemli boyut, bireylerin ve kurumların teknolojiyi benimseme süreçleridir. Everett Rogers'ın Yeniliklerin

Yayılmı Teorisi, bireylerin yeniliklere karşı verdikleri tepkileri beş kategoriye ayırır: yenilikçiler, erken benimseyenler, erken çoğunluk, geç çoğunluk ve geride kalanlar (Rogers, 2003). Sağlık teknolojilerinde bu dağılım, örneğin tele-sağlık uygulamalarında açıkça gözlemlenmektedir; bazı hastaneler yeni teknolojileri hızla entegre ederken, bazıları maliyet, güvenlik veya personel eğitimi nedeniyle daha temkinli davranmaktadır. Ayrıca, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) ve onu geliştiren Birleşik Teknoloji Kabul ve Kullanım Teorisi (UTAUT), sağlık çalışanlarının ve hastaların yeni teknolojileri benimseme sürecini açıklamada sık kullanılan çerçevelerdendir (Venkatesh et al., 2003). Bu modeller, algılanan fayda ve kullanım kolaylığının, teknolojinin benimsenmesinde belirleyici olduğunu ortaya koyar. Örneğin, hemşirelerin elektronik sağlık kayıt sistemlerini (EHR) kullanmaya yönelik motivasyonları, sistemin pratik işlevselliği ve zaman kazandırma potansiyeli ile doğrudan ilişkilidir (Holden & Karsh, 2010). Bu durum, sağlık bilimlerinde inovasyonun kuramsal temelleri, tek yönlü bilgi akışından çok aktörlü ve etkileşimli süreçlere doğru evrilmiştir. Bu kuramsal modeller, sağlık alanındaki yeniliklerin yalnızca teknolojik bir ilerleme değil, aynı zamanda sosyal, kültürel ve örgütsel bir dönüşüm olduğunu da göstermektedir. Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonun anlaşılabilmesi için öncelikle bu kavramların kuramsal temellerinin açıklanması gerekmektedir. Teknoloji, genel anlamıyla bilgiyi, beceriyi, yöntemleri ve araçları kullanarak sorunlara çözüm üretme süreci olarak tanımlanırken; inovasyon, mevcut bilgi ve teknolojilerin yaratıcı biçimde yeniden kullanılması veya yeni çözümler geliştirilmesi süreci olarak kabul edilmektedir (Schumpeter, 1934; Rogers, 2003). Sağlık alanında inovasyon, yalnızca yeni tedavi yöntemleri veya cihazların geliştirilmesiyle sınırlı olmayıp; aynı zamanda sağlık hizmetlerinin organizasyonunda, eğitiminde ve yönetiminde yenilikçi yaklaşımları da kapsamaktadır (Omachonu & Einspruch, 2010).

Kuramsal açıdan inovasyon, farklı disiplinlerde çeşitli modellerle ele alınmaktadır. Bunlardan biri Rogers'ın Yeniliğin Yayılmı Teorisi (Diffusion of Innovations Theory)'dir. Bu teoriye göre yeniliklerin benimsenme süreci; yeniliğin algılanan faydası, uyumluluğu, karmaşıklığı, denenebilirliği ve gözlemlenebilirliği gibi faktörlere bağlıdır (Rogers, 2003). Sağlık bilimlerinde bu teori, örneğin elektronik sağlık kayıtlarının (EHR) ya da tele-sağlık uygulamalarının benimsenme süreçlerini açıklamada sıkça kullanılmaktadır. Bir diğer önemli kuramsal yaklaşım, sosyo-teknik sistem teorisidir. Bu teoriye göre, teknolojik yeniliklerin başarısı yalnızca teknik altyapıya değil; aynı zamanda sosyal sistemlerin, iş akışlarının ve insan faktörünün uyumuna bağlıdır (Baxter & Sommerville, 2011). Örneğin, yapay zekâ destekli tanı sistemlerinin klinik pratikte etkin olabilmesi için yalnızca algoritmanın

doğruluğu yeterli değildir; aynı zamanda sağlık çalışanlarının eğitimi, hasta güvenliği protokolleri ve yasal düzenlemeler de uyum içinde olmalıdır.

Sağlık bilimlerinde inovasyonun kuramsal temellerinden biri de disiplinlerarası yaklaşım ile ilişkilidir. Bu yaklaşım, farklı uzmanlık alanlarının etkileşimini esas alır ve özellikle karmaşık sağlık sorunlarının çözümünde kritik rol oynar. Örneğin, kanser tedavilerinde biyomedikal mühendislik, moleküler biyoloji ve klinik onkoloji alanlarının birlikte çalışması; yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesini hızlandırmaktadır (Ferlie & Shortell, 2001). Ayrıca, inovasyon literatüründe açık inovasyon modeli (open innovation) de sağlık bilimlerinde giderek önem kazanmaktadır. Bu model, kurumların yalnızca kendi iç kaynaklarına değil; aynı zamanda dış paydaşlarla (üniversiteler, teknoloji şirketleri, hastalar) iş birliği yaparak yenilikçi çözümler geliştirmesini öngörür (Chesbrough, 2003). COVID-19 pandemisi döneminde aşı geliştirme süreçlerinde görülen uluslararası iş birlikleri, açık inovasyonun sağlık alanındaki en güçlü örneklerinden biridir (Krammer, 2020). Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonun kuramsal temelleri; yeniliğin benimsenme süreçleri, sosyo-teknik uyum, disiplinlerarası iş birliği ve açık inovasyon modelleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bu kuramsal yaklaşımlar, yalnızca teknolojik gelişmeleri anlamlandırmaya değil; aynı zamanda sağlık sistemlerinde sürdürülebilir ve etik temelli yeniliklerin hayata geçirilmesine de katkı sağlamaktadır.

3. Uygulamalı Temeller

Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonun en görünür boyutu, kuramsal modellerin uygulamaya dönüşmesiyle ortaya çıkan pratik çözümlerdir. Günümüzde dijital dönüşüm, klinik karar süreçlerinden hasta bakımına, sağlık yönetiminden eğitim yöntemlerine kadar geniş bir yelpazede etkisini göstermektedir. Uygulamalı temeller, yalnızca teknolojik araçların kullanımıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma, erişilebilirliği genişletme ve maliyet etkinliğini sağlama hedeflerini de kapsamaktadır (Topol, 2019).

3.1. Yapay Zekâ ve Büyük Veri Uygulamaları

Yapay zekâ (YZ), sağlık alanında en hızlı gelişim gösteren teknolojilerden biridir. Özellikle görüntüleme ve tanı alanında yapay zekâ algoritmaları, hekimlere hastalıkların erken tespitinde yardımcı olmaktadır. Örneğin, Google Health tarafından geliştirilen derin öğrenme tabanlı sistemler, diyabetik retinopatiji göz taramalarında uzman hekim düzeyinde doğrulukla teşhis edebilmektedir (Abràmoff et al., 2018). Benzer şekilde, kanser taramalarında yapay zekâ destekli algoritmalar, meme kanseri teşhisinde hata

oranını önemli ölçüde azaltmıştır (McKinney et al., 2020). Bunun yanı sıra büyük veri analitiği, milyonlarca hasta kaydını inceleyerek epidemiyolojik eğilimleri ortaya çıkarabilmekte ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarına katkı sağlamaktadır.

3.2. Robotik Cerrahi ve Biyomedikal Mühendislik

Robotik cerrahi, cerrahlara daha yüksek hassasiyet, küçük kesiler ve daha kısa iyileşme süresi sunan bir inovasyon alanıdır. Özellikle Da Vinci Cerrahi Sistemi, ürolojiden kalp cerrahisine kadar birçok alanda kullanılmakta ve komplikasyon risklerini azaltmaktadır (Lanfranco et al., 2004). Bu sistemin sunduğu üç boyutlu görüntüleme ve hassas hareket kabiliyeti, cerrahların daha karmaşık operasyonları güvenli şekilde gerçekleştirmesini mümkün kılmaktadır. Biyomedikal mühendislik ile birleştiğinde, robotik teknolojiler yalnızca cerrahi alanı değil, aynı zamanda protez tasarımı ve rehabilitasyon uygulamalarını da dönüştürmektedir. Örneğin, biyonik protezler sinir sistemiyle entegre edilerek ampute bireylerin yaşam kalitesi artırılmaktadır (Farina & Aszmann, 2014).

3.3. Giyilebilir Teknolojiler ve Uzaktan Hasta İzleme

Giyilebilir cihazlar, bireylerin günlük sağlık durumlarını takip edebilmelerini sağlayarak sağlıkta öz-yönetim kavramını güçlendirmektedir. Apple Watch ve benzeri akıllı saatlerin sunduğu elektrokardiyografi (EKG) özelliği, atriyal fibrilasyon gibi ritim bozukluklarının erken tespitini mümkün kılmıştır (Perez et al., 2019). Uzaktan hasta izleme sistemleri, özellikle kronik hastalık yönetiminde kritik rol oynamaktadır. COVID-19 pandemisi sırasında evde izlem cihazları ve tele-sağlık uygulamaları, sağlık hizmetlerinin sürekliliğini sağlamış ve hastanelerdeki yükü azaltmıştır (Monaghesh & Hajizadeh, 2020).

3.4. Genetik ve Biyoteknolojik Yenilikler

Genetik mühendisliği ve biyoteknoloji, sağlık bilimlerinde inovasyonun en ileri alanlarından birini oluşturmaktadır. CRISPR-Cas9 gen düzenleme teknolojisi, kalıtsal hastalıkların tedavisinde devrim niteliğinde bir potansiyel sunmaktadır (Doudna & Charpentier, 2014). Ayrıca kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları, bireylerin genetik profillerine göre ilaç tedavilerinin düzenlenmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin, onkolojide tümörün genetik özelliklerine göre belirlenen tedavi planları, hasta yanıt oranlarını artırmakta ve yan etkileri azaltmaktadır (Collins & Varmus, 2015).

4. Sağlık Eğitiminde Simülasyon ve Oyunlaştırma

Sağlık eğitiminde inovasyon, yalnızca klinik uygulamalarda değil, aynı zamanda öğrenme süreçlerinde de kendini göstermektedir. Simülasyon tabanlı eğitim, öğrencilerin hasta güvenliğini riske atmadan klinik beceri kazanmalarını sağlamaktadır (Lateef, 2010). Oyunlaştırma uygulamaları ise sağlık profesyonellerinin motivasyonunu ve katılımını artırmakta, öğrenme sürecini daha etkili hale getirmektedir. Örneğin, acil durum eğitimlerinde kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları, ekip içi koordinasyonu ve hızlı karar verme becerilerini geliştirmektedir (Fitzgerald et al., 2018).

5. Karşılaşılan Zorluklar

Her ne kadar teknoloji ve inovasyon sağlık bilimlerinde önemli kazanımlar sunsa da uygulamada çeşitli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Etik sorunlar, veri güvenliği ve hasta mahremiyeti, yapay zekâ ve büyük veri tabanlı uygulamalarda en çok tartışılan konular arasındadır (Morley et al., 2020). Ayrıca yüksek maliyet, altyapı eksiklikleri ve sağlık çalışanlarının teknolojiye uyum süreçleri de inovasyonun benimsenmesini zorlaştıran faktörlerdir.

6. Disiplinlerarası Yaklaşımın Rolü

Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyonun sürdürülebilir biçimde gelişebilmesi, tek bir disiplinin sınırlarını aşarak farklı bilgi alanlarının ortak katkılarıyla mümkün olmaktadır. Modern sağlık sorunları karmaşık, çok boyutlu ve dinamik özellikler taşıdığından, çözüm üretme sürecinde disiplinlerarası iş birliği kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle biyomedikal mühendislik, bilgisayar bilimleri, tıp, hemşirelik, psikoloji, sosyoloji ve etik gibi farklı alanların birleşimi hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde inovasyonu güçlendirmektedir (Hall et al., 2018). Disiplinlerarası yaklaşım, yalnızca bilgi transferini değil, aynı zamanda kavramsal çerçevelerin yeniden inşasını da mümkün kılar. Örneğin, tele-sağlık uygulamaları, yalnızca bilişim teknolojilerinin değil; klinik tıbbın, sağlık yönetiminin ve iletişim bilimlerinin ortak katkısıyla geliştirilmiştir. Bu sayede kırsal bölgelerde yaşayan hastaların sağlık hizmetlerine erişimi artmış, sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında önemli ilerlemeler sağlanmıştır (Kruse et al., 2017). Benzer şekilde, robotik cerrahi sistemleri disiplinlerarası çalışmanın somut bir ürünüdür. Mekatronik mühendisliği ve yazılım geliştirme uzmanlığı olmadan cerrahi robotların hassasiyet kazanması mümkün olamazdı. Ancak bu teknolojilerin güvenilirliği ve etik yönü, yalnızca teknik yeterlilikle değil; aynı zamanda cerrahların klinik deneyimleri ve etik uzmanlarının değerlendirmeleriyle şekillenmiştir (Yang et al., 2017). Bu örnek, inovasyonun yalnızca teknolojik değil; aynı zamanda sosyal ve etik bir süreç olduğuna işaret etmektedir. Sağlıkta disiplinlerarası yaklaşımın bir diğer güçlü yansıması, yapay zekâ

tabanlı tanı sistemleridir. Derin öğrenme algoritmaları, büyük veri analizi yoluyla görüntüleme bulgularını yorumlarken; radyoloji uzmanları bu sistemlerin klinik geçerliliğini test etmekte, etik uzmanları ise veri gizliliği ve adalet konularını değerlendirmektedir (Topol, 2019). Örneğin, cilt kanseri tanısında yapay zekâ algoritmalarının dermatologlarla benzer doğruluk düzeyine ulaşması, disiplinlerarası katkının gücünü göstermektedir (Esteve et al., 2017). Disiplinlerarası iş birliğinin yalnızca teknoloji geliştirmede değil, aynı zamanda hizmet sunumunda da belirleyici olduğu açıktır. Multidisipliner tümör konseyleri, onkoloji hastalarının tedavi planlamasında hekimler, hemşireler, psikologlar ve sosyal hizmet uzmanlarını bir araya getirerek en uygun kararı kolektif biçimde üretmektedir. Bu uygulama, yalnızca klinik başarı oranlarını değil; hasta memnuniyetini ve tedaviye uyumu da artırmaktadır (Fennell et al., 2018). Disiplinlerarası yaklaşım, sağlık bilimlerinde inovasyonun hem bilimsel hem de insani boyutunu kapsayan bir çerçeve sunar. Teknolojik ilerlemeler, ancak farklı bilgi alanlarının karşılıklı katkılarıyla bütüncül bir anlam kazanmakta ve toplumsal faydaya dönüşebilmektedir. Bu nedenle, geleceğin sağlık profesyonelleri yalnızca kendi alanlarında değil; farklı disiplinlerle iş birliği yapabilecek donanım ile yetiştirilmeli, inovasyon süreçleri çok aktörlü bir yapıda tasarlanmalıdır.

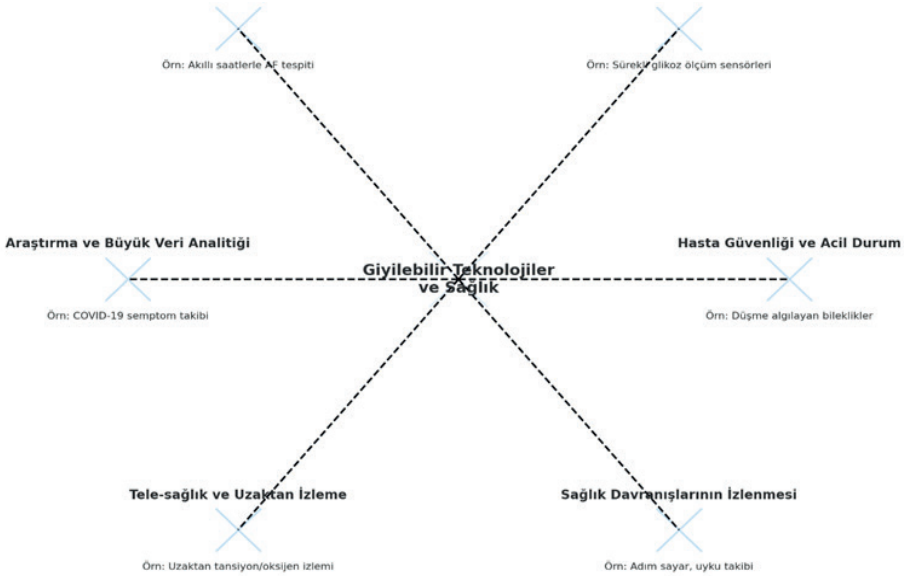
7. Gelecek Perspektifleri

Sağlık bilimlerinde teknoloji ve inovasyon, geleceğe yönelik stratejilerde yalnızca bilimsel ilerlemelerle değil; aynı zamanda sosyal, ekonomik ve etik boyutlarıyla da şekillenmektedir. Önümüzdeki yıllarda dijital sağlık, biyoteknoloji, yapay zekâ ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları, sağlık sistemlerinin dönüşümünde belirleyici rol oynamaya devam edecektir (Topol, 2019). Kişiselleştirilmiş tıp, geleceğin en önemli eğilimlerinden biridir. Genomik dizileme teknolojilerindeki maliyet düşüşleri sayesinde bireylerin genetik profillerine dayalı tedavi planlamaları daha ulaşılabilir hale gelmektedir. Örneğin, onkolojide tümörlerin genetik özelliklerine göre belirlenen hedefe yönelik tedaviler hem tedavi başarısını hem de hasta yaşam kalitesini artırmaktadır (Collins & Varmus, 2015). Yapay zekâ destekli karar sistemleri de sağlıkta geleceğin şekillendirici unsurları arasında yer almaktadır. Büyük veri analitiği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, klinik karar verme süreçlerinde hekime destek sağlayarak tanı süresini kısaltmakta ve hata oranlarını azaltmaktadır. Örneğin, kardiyojoloji alanında yapay zekâ tabanlı algoritmalar, EKG verilerini analiz ederek atriyal fibrilasyonu klinisyenlerden daha yüksek doğrulukla tespit edebilmektedir (Attia et al., 2019). Bununla birlikte, bu sistemlerin yaygınlaşması veri

güvenliği, etik sorumluluk ve hukuki çerçeve açısından yeni düzenlemeler gerektirecektir.

Giyilebilir teknolojiler, sensörler, yazılımlar ve kablosuz iletişim altyapılarıyla donatılmış, bireylerin günlük yaşam aktiviteleri sırasında vücutlarına entegre edilebilen cihazlardır. Akıllı saatler, bileklikler, giyilebilir EKG cihazları, kan şekeri ölçüm sensörleri, nabız oksimetreleri ve hatta akıllı tekstiller bu kategoride değerlendirilmektedir (Piwek et al., 2016). Sağlık bilimlerinde bu teknolojilerin kullanılmasının temel amacı, bireylerin sağlık parametrelerinin sürekli, kesintisiz ve kişiselleştirilmiş biçimde izlenmesini sağlamaktır.

8. Giyilebilir Teknolojiler ve Sağlık Alanındaki Amaçları



Şekil 1. Giyilebilir teknolojilerin sağlık alanındaki başlıca kullanım alanları. Diyagramda, önleyici sağlık, kronik hastalık yönetimi, hasta güvenliği, sağlık davranışlarının geliştirilmesi, tele-sağlık ve büyük veri analitiği gibi başlıklar gösterilmiştir.

8.1. Önleyici Sağlık ve Erken Tanı

Giyilebilir cihazlar, bireylerin sağlık verilerini sürekli kaydederek olası riskleri önceden belirleme imkânı sunmaktadır. Kalp atım hızı, solunum paterni, uyku düzeni, stres düzeyi ve aktivite miktarı gibi parametrelerin anlık takibi, erken tanı ve önleyici sağlık hizmetlerinde kritik rol

oynamaktadır. Örneğin, atriyal fibrilasyon (AF) gibi kalp ritim bozuklukları çoğu zaman fark edilmeden ilerler ve inme riskini artırır. Akıllı saatlerde bulunan elektrokardiyografi (EKG) uygulamaları, AF gibi düzensiz ritimleri saptayarak bireyleri sağlık kuruluşuna yönlendirebilmektedir (Perez et al., 2019). Benzer şekilde, uyku apnesi riski taşıyan bireylerde oksijen satürasyonu ve solunum düzeni ölçümleri sayesinde erken tanı konulabilmektedir. Bu durum, sağlık sistemlerinin yalnızca tedavi odaklı değil, aynı zamanda proaktif bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır.

8.2. Kronik Hastalık Yönetimi

Diyabet, hipertansiyon ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi hastalıkların yönetiminde giyilebilir cihazlar önemli bir destek sunmaktadır. Sürekli glikoz ölçüm (CGM) sensörleri, diyabetli bireylerde kan şekeri dalgalanmalarını anlık izleyerek hipoglisemi ve hiperglisemi risklerini azaltmakta; insülin dozlarının bireyselleştirilmiş biçimde ayarlanmasına yardımcı olmaktadır (Battelino et al., 2019). Hipertansiyon yönetiminde ise giyilebilir tansiyon ölçerler, günlük yaşamda kan basıncını izleyerek “beyaz önlük hipertansiyonu” gibi klinikte fark edilemeyen durumların tespit edilmesine olanak tanır. KOAH hastalarında kullanılan akıllı sensörler, solunum hızını ve oksijen satürasyonunu takip ederek alevlenmelerin erken fark edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle komplikasyonların önüne geçilmekte, hastaneye yatış oranları azaltılmaktadır.

8.3. Hasta Güvenliği ve Acil Durum Yönetimi

Giyilebilir teknolojiler, özellikle yaşlı bireyler ve kronik hastalıkları olan kişiler için hasta güvenliğini artırıcı bir rol üstlenmektedir. Düşme algılama özelliğine sahip akıllı bileklikler veya saatler, birey düştüğünde otomatik olarak acil çağrı merkezine ya da aile üyelerine uyarı gönderebilmektedir (Wang et al., 2020). Bu durum, yalnız yaşayan yaşlı bireylerde ciddi yaralanmalar sonrası zamanında müdahale edilmesini mümkün kılarak hayat kurtarıcı etki yaratmaktadır. Ayrıca, epilepsi hastalarında nöbetleri önceden tahmin etmeye çalışan biyosensör tabanlı giyilebilir cihazlar, acil müdahale süreçlerini hızlandırarak sağlık hizmetlerinde önemli bir dönüşüm yaratmaktadır.

8.4. Sağlık Davranışlarının İzlenmesi ve Geliştirilmesi

Giyilebilir cihazlar, bireylerin sağlık davranışlarını düzenlemede motivasyon aracı olarak kullanılmaktadır. Günlük adım sayısı, kat edilen mesafe, enerji harcaması, uyku süresi ve uyku kalitesi gibi verilerin kaydedilmesi, bireyleri daha aktif bir yaşam tarzına yönlendirmektedir.

(Piwek et al., 2016). Örneğin, obezite riski taşıyan bireyler için aktivite takip cihazları, günlük hareket hedefleri belirleyerek davranış değişikliğini destekler. Aynı zamanda bu cihazların mobil uygulamalarla entegre edilmesi, bireylere anlık geribildirimler sunarak sağlıklı alışkanlıkların pekişmesine katkı sağlar.

8.5. Tele-sağlık ve Uzaktan İzleme

Giyilebilir teknolojilerin tele-sağlık sistemleriyle entegrasyonu, sağlık hizmetlerinin mekândan bağımsız sunulmasına olanak tanımaktadır. Özellikle kırsal bölgelerde yaşayan, ulaşım güçlüğü çeken veya pandemi gibi olağanüstü durumlarda sağlık hizmetlerine erişimi sınırlı olan bireyler için bu entegrasyon kritik öneme sahiptir. Uzaktan kalp ritmi, oksijen saturasyonu ve tansiyon izlemleri sayesinde hekimler, hastalarının durumunu sürekli olarak takip edebilmekte; tedavi planlarını gerçek zamanlı olarak güncelleyebilmektedir (Keesara et al., 2020). Böylece sağlık eşitsizliklerinin azaltılması ve hizmetin erişilebilirliğinin artırılması mümkün olmaktadır.

8.6. Araştırma ve Büyük Veri Analitiği

Giyilebilir cihazlardan elde edilen veriler yalnızca bireysel sağlık yönetimi için değil; aynı zamanda toplum sağlığının izlenmesi için büyük veri kaynağı niteliği taşımaktadır. Örneğin, COVID-19 pandemisi sırasında giyilebilir cihazlardan elde edilen kalp atım hızı ve uyku düzeni verileri, semptomların erken tespitinde ve salgının yayılımının tahmin edilmesinde kullanılmıştır (Quer et al., 2020). Ayrıca bu cihazlardan sağlanan büyük ölçekli veri setleri, epidemiyolojik araştırmaların yanı sıra yapay zekâ tabanlı algoritmaların geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır. Böylece hastalıkların seyrini öngörmek, kişiselleştirilmiş tedavi protokolleri oluşturmak ve toplum sağlığını korumak için güçlü bir altyapı sağlanmaktadır (Steinhubl et al., 2015). Giyilebilir teknolojiler, sağlık bilimlerinde önleyici yaklaşımı güçlendiren, hasta merkezli bakım anlayışını destekleyen ve sağlık hizmetlerini bireyselleştiren önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu cihazların yaygın kullanımında etik, veri güvenliği ve gizlilik konularının da dikkate alınması gerekmektedir (WHO, 2021).

Giyilebilir teknolojilerin sağlık alanındaki uygulamaları, bireysel sağlık yönetiminden toplum sağlığına kadar geniş bir yelpazede etkiler yaratmaktadır. Tabloya bakıldığında, bu cihazların yalnızca erken tanı ve önleyici sağlık hizmetlerinde değil, aynı zamanda kronik hastalık yönetimi, hasta güvenliği, sağlık davranışlarının geliştirilmesi ve tele-sağlık entegrasyonu gibi çok boyutlu işlemlere sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin yaygın kullanımında **etik sorunlar, veri güvenliği, maliyet**

ve erişilebilirlik gibi sınırlılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin, sürekli veri toplayan giyilebilir sensörler, mahremiyet ve kişisel sağlık verilerinin korunması açısından yeni tartişmaları gündeme getirmektedir (Piwek et al., 2016). Ayrıca, düşük gelirli bölgelerde yaşayan bireylerin bu teknolojilere erişiminin sınırlı olması, sağlık eşitsizliklerini azaltmak yerine artırma riskini taşımaktadır (Keesara et al., 2020). Dolayısıyla giyilebilir teknolojilerin sunduğu fırsatların yanı sıra, sınırlılıkların da göz önünde bulundurulduğu dengeli bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, sağlık profesyonelleri, teknoloji geliştiricileri ve politika yapıcıların disiplinlerarası iř birliği ile hareket etmesi, bu alandaki inovasyonun sürdürülebilirliği için kritik önemdedir.

Kaynakça

- Abràmoff, M. D., Lavin, P. T., Birch, M., Shah, N., & Folk, J. C. (2018). Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices. *NPJ Digital Medicine*, 1(1), 39. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0040-6>
- Attia, Z. I., Noseworthy, P. A., Lopez-Jimenez, F., Asirvatham, S. J., Deshmukh, A. J., Gersh, B. J., ... & Friedman, P. A. (2019). An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: A retrospective analysis of outcome prediction. *The Lancet*, 394(10201), 861–867. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31721-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31721-0)
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- Battelino, T., Danne, T., Bergenstal, R. M., Amiel, S. A., Beck, R., Biester, T., ... Phillip, M. (2019). Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: Recommendations from the international consensus on time in range. *Diabetes Care*, 42(8), 1593–1603. <https://doi.org/10.2337/dci19-0028>
- Chesbrough, H. (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press.
- Collins, F. S., & Varmus, H. (2015). A new initiative on precision medicine. *New England Journal of Medicine*, 372(9), 793–795. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1500523>
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Farina, D., & Aszmann, O. (2014). Bionic limbs: Clinical reality and academic promises. *Science Translational Medicine*, 6(257), 257ps12. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3010453>
- Ferlie, E. B., & Shortell, S. M. (2001). Improving the quality of health care in the United Kingdom and the United States: A framework for change. *The Milbank Quarterly*, 79(2), 281–315. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.00206>

- Gawande, A. (2012). Two hundred years of surgery. *The New England Journal of Medicine*, 366(18), 1716–1723. <https://doi.org/10.1056/NEJMr1202392>
- Godin, B. (2006). The linear model of innovation: The historical construction of an analytical framework. *Science, Technology, & Human Values*, 31(6), 639–667. <https://doi.org/10.1177/0162243906291865>
- Fitzgerald, M., Milstein, A., & Snyder, C. (2018). The future of health care: Global trends worth watching. *Stanford Social Innovation Review*, 16(2), 34–39.
- Fennell, M. L., Prabhu Das, I., Clauser, S., Petrelli, N., & Salner, A. (2018). The organization of multidisciplinary care teams: Modeling internal and external influences on cancer care quality. *Journal of the National Cancer Institute Monographs*, 2010(40), 72–80. <https://doi.org/10.1093/jncimonographs/lgq010>
- Hall, K. L., Vogel, A. L., Huang, G. C., Serrano, K. J., Rice, E. L., Tsakraklides, S. P., & Fiore, S. M. (2018). The science of team science: A review of the empirical evidence and research gaps on collaboration in science. *American Psychologist*, 73(4), 532–548. <https://doi.org/10.1037/amp0000319>
- Holden, R. J., & Karsh, B. T. (2010). The technology acceptance model: Its past and its future in health care. *Journal of Biomedical Informatics*, 43(1), 159–172. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2009.07.002>
- Keesara, S., Jonas, A., & Schulman, K. (2020). Covid-19 and health care’s digital revolution. *New England Journal of Medicine*, 382(23), e82. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2005835>
- Krammer, F. (2020). SARS-CoV-2 vaccines in development. *Nature*, 586(7830), 516–527. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2798-3>
- Kruse, C. S., Krowski, N., Rodriguez, B., Tran, L., Vela, J., & Brooks, M. (2017). Telehealth and patient satisfaction: A systematic review and narrative analysis. *BMJ Open*, 7(8), e016242. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016242>
- Lanfranco, A. R., Castellanos, A. E., Desai, J. P., & Meyers, W. C. (2004). Robotic surgery: A current perspective. *Annals of Surgery*, 239(1), 14–21. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d>
- McKinney, S. M., Sienick, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., ... & Suleyman, M. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89–94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>
- Monaghesh, E., & Hajizadeh, A. (2020). The role of telehealth during COVID-19 outbreak: A systematic review based on current evidence. *BMC Public Health*, 20(1), 1193. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09301-4>
- Morley, J., Machado, C. C. V., Burr, C., Cows, J., Joshi, I., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: A mapping review.

- Social Science & Medicine, 260, 113172. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113172>
- Omachonu, V. K., & Einspruch, N. G. (2010). Innovation in healthcare delivery systems: A conceptual framework. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 15(1), 1–20.
- Perez, M. V., Mahaffey, K. W., Hedlin, H., Rumsfeld, J. S., Garcia, A., Ferris, T., ... Turakhia, M. P. (2019). Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *New England Journal of Medicine*, 381(20), 1909–1917. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1901183>
- Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2016). The rise of consumer health wearables: Promises and barriers. *PLoS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
- Quer, G., Radin, J. M., Gadaleta, M., Baca-Motes, K., Ariniello, L., Ramos, E., ... Topol, E. J. (2020). Wearable sensor data and self-reported symptoms for COVID-19 detection. *Nature Medicine*, 27(1), 73–77. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1123-x>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development*. Harvard University Press.
- Steinhubl, S. R., Muse, E. D., & Topol, E. J. (2015). Can mobile health technologies transform health care? *JAMA*, 313(5), 459–460. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.15025>
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Wang, R., Blackburn, G., Desai, M., Phelan, D., Gillinov, L., Houghtaling, P., ... Gillinov, M. (2020). Accuracy of wrist-worn heart rate monitors. *JAMA Cardiology*, 2(1), 104–106. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.3340>
- World Health Organization (WHO). (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
- Yang, G. Z., Cambias, J., Cleary, K., Daimler, E., Drake, J., Dupont, P. E., ... & Vermesh, O. (2017). Medical robotics—Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy. *Science Robotics*, 2(4), eaam8638. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aam8638>