

22. BÖLÜM / CHAPTER 22

TIBBİ NESNELERİN İNTERNETİ#

INTERNET OF MEDICAL THINGS

Nilgün BOZBUĞA*, Murat TEKBAŞ, Sevinç GÜLSEÇEN*****

*Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Anabilim Dalı,
İstanbul, Türkiye

E-mail: nilgun.bozbuga@istanbul.edu.tr

**MSc., İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-mail: murattekbas@outlook.com

***Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi, Enformatik Bölümü, İstanbul, Türkiye

E-mail: gulsecen@istanbul.edu.tr

#Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje numarası: SBA-2019-29686

DOI: 10.26650/B/ET07.2021.003.22

ÖZ

Sağlık alanında kullanılan internet temelli teknolojiler, tıbbi nesnelerin interneti uygulamaları olarak tanımlanmaktadır. Tıbbi nesnelerin interneti (*IoMT*), sağlık kurumlarının etkinliklerinde, toplum sağlığı alanlarında ve kişisel sağlık alanında verilerin insan müdahalesine gerek kalmadan, çeşitli sensörler aracılığıyla toplanıp, akıllı cihazlardan ön işlemeden geçerek, ağ geçitlerinden aktarılıp ve sunucu üzerinden analiz edilip, sunucudan sunucuya çok kısa süreler içinde iletebilmesi esasına dayanmaktadır. Sağlık endüstrisinde çalışan tüm cihazların haberleşmesi ancak iyi tasarlanmış ve yapılandırılmış bir ağ içerisinde mümkündür. Bu haberleşme genel olarak sensörler, kablosuz ağlar ve çeşitli haberleşme protokolleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Hasta vücuduna yerleştirilen sensörler vasıtasıyla gerçekleştirilen uzaktan takip sistemleri, *BAN* (*body area network*, vücut alan ağları)/ *WBAN* (*wireless body area network*, kablosuz vücut alan ağları) olarak adlandırılan vücut alan ağları teknolojilerinden yararlanmaktadır. Vücut alan ağları kronik hastalıklar başta olmak üzere, hastanın sağlık durumunun görüntülenmesi ve hayati önem taşıyan bilgilerin anında izlenmesi temeline dayanır. Nesnelerin interneti aracılığıyla sağlık kurumlarının altyapı sistemleri birbirleriyle haberleşebilen sistemler tarafından kontrol edilebilmekte; böylece kaynak ve zaman tasarrufu sağlanabilmektedir. Tıbbi nesnelerin internetinin kullanım amaçlarının başında düşük maliyetle bakım hizmetlerinin sağlanması, verimsiz çalışma koşullarının giderilmesi, hastalıklarla mücadelede erken tanı ve tedavi protokollerinde daha etkin süreçlerin izlenmesi ve hasta memnuniyetinin artırılması gelmektedir. Sağlığı koruma, geliştirme ve sağlıklı yaşama destek verilmesi gibi sağlık hizmetlerini ilgilendiren birçok alanda tıbbi nesnelerin interneti teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Giyilebilir teknolojilerle kişilere ait tıbbi değerler izlenebilmekte ve bu veriler

uzaktan sağlık personelleriyle paylaşılabilir. Bu sayede uzaktan hasta bakımının mümkün hale gelmesi sağlık kurumlarında kalış süresini azaltabilmekte ve maliyetlerin düşmesine yardımcı olabilmektedir. Sonuç olarak nesnelere interneti sağlık hizmeti veren personellere destek vermek, hizmet alan bireylerin iyileşme süreçlerine yardımcı olmak, memnuniyet oranını arttırmak, kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak ve sağlıklı yaşama destek vermek amacıyla kullanılmaktadır. Bu bölümde sağlık alanındaki nesnelere interneti temelli uygulamalara ve faydalarına değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri, nesnelere interneti, tıbbi nesnelere interneti, biyosensör, dijital hastane

ABSTRACT

Internet-based technologies used in health care are defined as the Internet of Medical Things (IoMT). IoMT is based on the principle that the data are collected through various sensors, pre-processed from smart devices, transferred through gateways, and analyzed through the server. Then, data are transmitted from a server to another server in a very short time in the activities of health institutions, community health, and personal health. The communication of all devices working in the health industry is possible only in a well-designed and structured network. This communication is generally carried out with the help of sensors, wireless networks, and various communication protocols. Remote monitoring systems realized by sensors placed in a patient's body utilize the technology of body area networks (BANs)/wireless body area network. BANs are based on the visualization of the patient's health status and the instant monitoring of vital information, especially chronic diseases. Infrastructure systems of health institutions can be controlled by systems that can communicate with each other through the IoMT; thus, resource and time saving could be achieved. The primary purpose of using IoMT is to provide health care services at lower costs, to eliminate inefficient working conditions, to monitor more effective processes in early diagnosis and treatment protocols, and to increase patient satisfaction. IoMT technology is utilized in many areas related to health services such as health protection, health development, and support for healthy life. Health measurement data of individuals can be monitored with wearable technologies, and these data can be shared with health care professionals remotely. In this way, enabling remote patient care can reduce the length of stay in health care institutions and help reduce costs. As a result, the IoMT is used to support health care personnel, help individuals heal, increase the satisfaction rate, ensure an efficient use of resources, and support healthy living. This section explores the IoT applications and their benefits in health care.

Keywords: Data, internet of things, internet of medical things, biosensor, digital hospital

1. Sağlıkta Nesnelere İnterneti Teknolojisi

Bilim ve teknolojiye hızlı gelişmeler, sağlık koruma ve hastalıklarla mücadelede daha hızlı ve etkin davranılabilmesini sağlamaktadır. Verileri toplayan sensörler, birbirine iletişim ağlarıyla bağlanan ürünler, cihazlar, kurumlar, nesnelere akan verilerin aktarımı, işlenmesi, depolanması kavramlarını merkezine oturtan endüstri 4.0 vizyonundan ve nesnelere interneti (*Internet of Things-IoT*) teknolojisinden en çok fayda sağlanan alanların başında sağlık sektörü gelmektedir. Sistemlerin, çeşitli arayüzler üzerinden farklı ağlara bağlanıp farklı servislerle iletişim kurmasını esas alan endüstri 4.0 ve nesnelere interneti siber-fiziksel süreçlerinin ana bileşenleri dijitalleşme ve iletişimdir. Nesnelere interneti, fiziksel nesnelere birbirlerini ürün kimlikleri ile görme ve karar verebilmeleri için bilgi paylaşma olanağı vermektedir (Gatouillat, 2018).

Tıp bilişimi alanında endüstriyel bilgisayar ve sunucu sistemleri, veritabanı yönetim sistemleri ve büyük veri, veri güvenliği, iş zekası ve performans yönetimi, bulut sistemleri gibi en güncel teknolojileri kullanmaktadır. Nesnelerin interneti, bulut bilişim, geniş bant kablosuz bağlantılar ve karar destek sistemleri gibi gelişen teknolojiler, sağlık profesyonellerinin, önleyici sağlık hizmeti verebilmesini, hızlı tanı ve etkin tedavi uygulayabilmesini, tedavi sonrası hizmetleri verimli biçimde sürdürmesini sağlamaktadır.

Tıbbi nesnelerin interneti (*Internet of Medical Things-IoMT*) olarak adlandırılan yeni teknolojik akıllı sağlık kurumlarının etkinliklerinde, toplum sağlığı alanlarında ve kişisel sağlık alanında verilerin insan müdahalesine gerek kalmadan çeşitli sensörler aracılığıyla toplanıp, akıllı cihazlardan ön işlemeden geçerek ağ geçitlerinden aktarımı ve sunucu üzerinden analiz edilip, sunucudan sunucuya çok kısa bir süreler içinde iletebilmesi esasına dayanmaktadır. Sağlık alanında nesnelerin interneti, sağlık uygulamalarında nesnelerin interneti teknolojisi uyumlu cihazlar, haberleşme protokolleri, algılayıcı ağlar, internet protokol ve uygulamaları gibi temel teknolojilerin desteğiyle, geleneksel olan sistemlerin akıllı olanına dönüşümüdür (Magsi, 2019). Sağlık alanında nesnelerin ürün kimlikleriyle tanıtımını sağlayan otomatik tanımlama sistemleri, bu haberleşmeyi sağlayan iletişim ağları, büyük boyutta verinin uzak sunuculara gönderilerek analiz edilmesini sağlayan bulut bilişim sistem katmanları, tıbbi nesnelerin interneti tekno sistemini oluşturmaktadır (Joyia, 2017). Nesnelerin internetinin sağlık hizmetlerine uygulama alanları; insanların insanlarla (hastaların sağlık personelleriyle, sağlık personellerinin hizmet sunumunda (konsültasyon) ve bilgi paylaşımında birbirleriyle iletişimleri), insanların kurumlarla, insanların nesnelerle ve nesnelerin nesnelerle kimlik tanımlama (*identification*) ve kimlik doğrulamaları (*authentication*), uzaktan algılama ve otomatik veri toplama olarak sınıflanabilir.

Tıbbi nesnelerin interneti, sağlık kurumlarında internet erişimi olan her cihazın birbiriyle veri paylaşabilmesinden, hasta veya sağlıklı herhangi bir birey tarafından gündelik hayatında kullanılan, giyilebilir teknoloji özelliği taşıyan cihazlarla sağlığına ilişkin verileri toplamasına kadar geniş bir alanda, iletilen ve analiz edilen verilerden kişinin sağlık yönünden erişilebilir olmasını sağlamaktadır. Teknolojik erişilebilirlik ve tıbbi nesnelerin interneti sayesinde kesintisiz bir şekilde izlenebiliyor olması, kişilerin alacağı sağlık hizmetinin daha hızlı, kalitesi yüksek, daha etkin ve verimli bir düzeye ulaşmasını, belki de hayat kurtaracak erken tanı ve tedavi olanağını yaratacaktır. Ayrıca sağlık kurumlarının altyapı sistemlerinin, birbirleriyle haberleşebilen sistemler tarafından kontrol edilebilmesiyle, kaynak ve zaman tasarrufu sağlanacaktır. Sağlığı koruma, geliştirme ve sağlıklı yaşama destek verilmesi gibi sağlık hizmetlerini ilgilendiren birçok alanda tıbbi nesnelerin interneti teknolojilerinden yararlanılmaktadır

(Alqahtani, 2018). Sağlık alanında kullanılan nesnelerin interneti temelli teknolojiler genel olarak tıbbi nesnelerin interneti uygulamaları olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde doğumda beklenen ortalama yaşam sürelerinin artarak demografik yapının toplumun yaşlanması yönünde değişiyor olması, toplumda hastalık yükü içerisinde kronik hastalıkların oranının artışı, sağlık hizmeti kapasite genişlemesine yol açmaktadır. Sağlık hizmeti kapasite genişlemesi, sağlık hizmeti sunumunda insan kaynakları ve mali kaynakların artışı zorlamakta, kritik süreçlerin yürütüldüğü sağlık kurumlarının personelinin yükünün ve harcamalarının artışıyla sonuçlanmaktadır. Sağlık sektörü, mevcut durum karşısında paradigma değişimine uğrayarak, teknolojik çözümlerle sağlık konseptinde köklü değişikliğe yol açan daha hızlı ve daha verimli çözümlere evrilmiş; hastane odaklılıktan hasta odaklı yaklaşımla sağlığın dijitalleşmesi dönüşümü gerçekleştirmiştir. Tıbbi nesnelerin interneti, sağlık hizmetlerinin yürütülmesinde genel sağlık yönetimi, kitlesel önleyici ve tamamlayıcı sağlık hizmeti sunma, kişiye özel tedavi planlama, klinik karar destekleri, sağlık hizmeti sunumunda verimli kapasite kullanımı etkinliklerinde katkı sağlamaktadır. Sürekli artış gösteren sağlık giderlerinin düşmesi, hasta memnuniyetinin artmasıyla daha iyi bir sağlık sistemi kurgulanabilecektir.

Tıbbi nesnelerin internetinin kullanım amaçlarının başında düşük maliyetle bakım hizmetlerinin sağlanması, verimsiz çalışma koşullarının giderilmesi, hastalıklarla mücadelede erken tanı ve tedavi protokollerinde daha etkin süreçlerin izlenmesi ve hasta memnuniyetinin artırılması gelmektedir. Nesnelerin interneti aracılığıyla sağlık kurumlarının altyapı sistemleri birbirleriyle haberleşebilen sistemler tarafından kontrol edilebilmekte; böylece kaynak ve zaman tasarrufu sağlanabilmektedir. Sağlık alanında kullanılan nesnelerin interneti temelli teknolojiler, genel olarak tıbbi nesnelerin interneti uygulamaları olarak tanımlanmakta, özellikle *tıbbi nesnelerin interneti* teknolojisinin yapay zekâ ile birleştirilmesiyle geniş bir uygulama yelpazesi bulunmakta ve her geçen gün yenilikçi çalışmalara devam edilmektedir.

1.1. Tıbbi Nesnelerin İnternetinde Kullanılan Teknolojiler

Sağlık endüstrisinde çalışan tüm cihazların haberleşmesi ancak iyi tasarlanmış ve yapılandırılmış bir ağ içerisinde mümkündür. Bu haberleşme genel olarak sensörler, kablosuz ağlar ve çeşitli haberleşme protokolleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Hasta vücuduna yerleştirilen sensörler vasıtasıyla gerçekleştirilen uzaktan takip sistemleri, *BAN/WBAN* olarak adlandırılan vücut alan ağları teknolojisinden yararlanmaktadır.

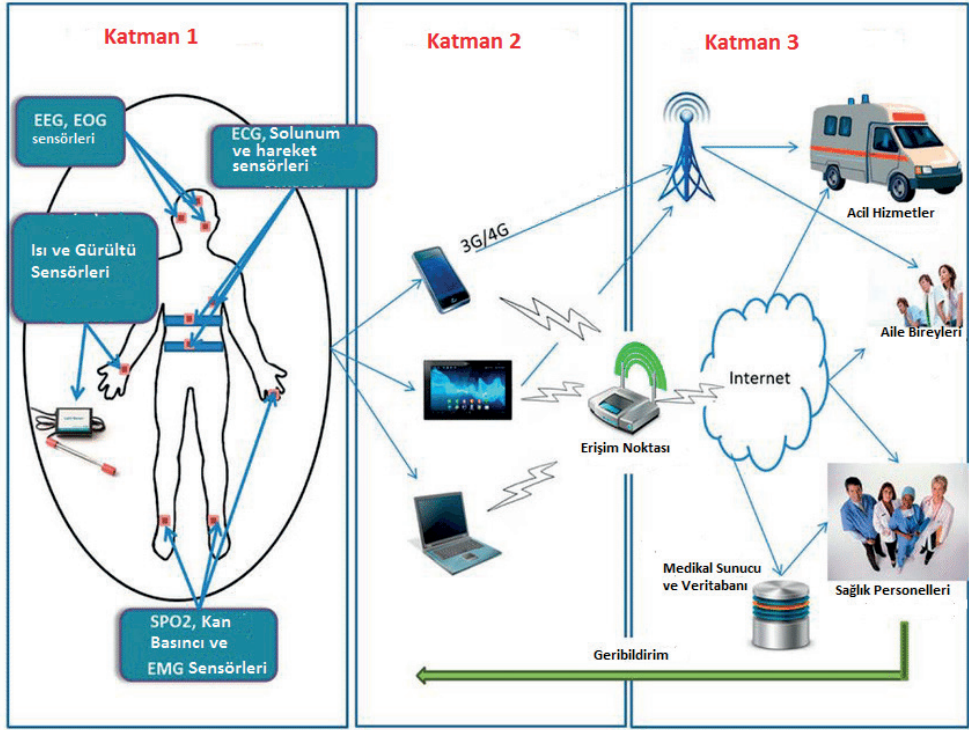
BAN (*body area network*, vücut alan ağları)/*WBAN* (*wireless body area network*, kablosuz vücut alan ağları); hasta vücuduna yerleştirilerek çeşitli elektrolit, kan gazları, enzim, nükleik asit ve diğer önemli biyolojik maddeleri tespit ederek ağ üzerinden uzak sunucuya gönderen

sistemlerdir. Vücut üzerinde bulunan sensörlerden veriyi kablosuz aktaran sistemler *WBAN*, kablo üzerinden aktaran sistemler ise *BAN* olarak adlandırılır. *WBAN* sistemler sayesinde bireylerin hareket kabiliyetinin kısıtlanması önlenmektedir. Gelişen teknolojiyle *WBAN* sistemlerin uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Vücut alan ağları (*BAN/WBAN*), kronik hastalıklar başta olmak üzere, hastanın sağlık durumunun görüntülenmesi ve hayati önem taşıyan bilgilerin anında izlenmesi temeline dayanır. Vücut alan ağları uygulamalarında kullanılan elemanlar, küçültülmüş vücut sensörleri ile vücut merkez birimi arasındaki kablosuz iletişimi olanaklı kılar. Vücut alan ağları internet üzerinden ucuz ve gerçek zamanlı tıbbi kayıt güncellemesi imkanı sunan kontrollü alanlardır. Acil bir durum tespit edilirse doktor ve/veya hastanın sağlığıyla ilgili kişi hemen hastaya bir alarm veya mesaj gönderir. Birden fazla yapay zekaya sahip ve sağlık durumlarında erken müdahale imkanı sunan fizyolojik sensörler, giyilebilir kablosuz sensör ağlara eklenebilir. Bu tür uzaktan takip sistemlerinin temelinde sensörler bulunmaktadır. Hasta vücudunda bulunan bu sensörlerden gelen veriler hasta izleme merkezinde bulunan sunuculara aktarılarak verilerin analizi sonucunda medikal bilgiye erişilir.

Uzaktan izleme sistemleri genellikle 3 katmanlı bir mimariden oluşmaktadır. İlk katman *BAN* katmanıdır. Bu katmanda vücut üzerinde bulunan sensörlerden veriler toplanır.

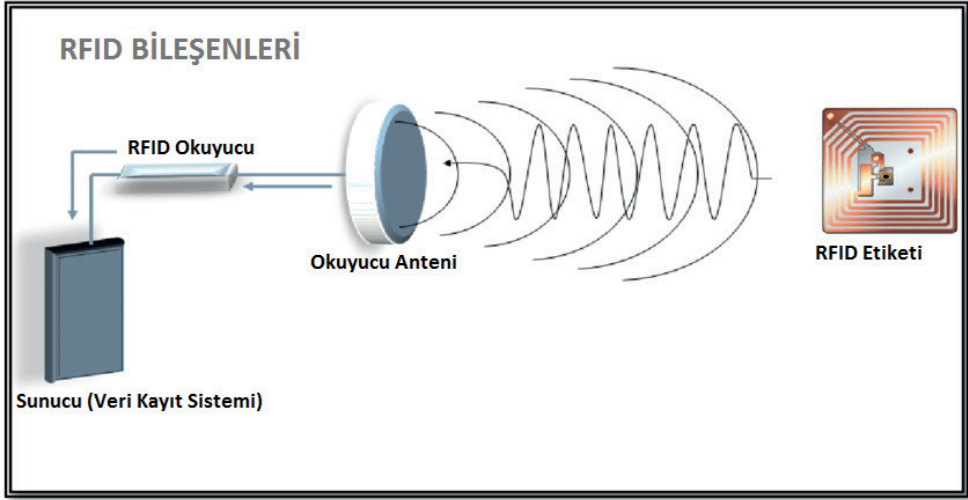
İkinci katman sensörler için sunucu işlevi gören *BAN* sunucusu katmanıdır. Bu katmanda sensörlerden toplanan veriler, işlenmek üzere *BAN* sunucusu tarafından medikal sunucuya gönderilir. *BAN* sunucusu cep telefonu, *PDA* (*personel data assistant*, kişisel veri asistanı) veya kişisel bilgisayar gibi bir cihaz olabilir. Sensörler ile *BAN* sunucusu arasındaki kablosuz haberleşme için düşük güç tüketen *Bluetooth*, *UWB* (*ultra-wideband*, ultra geniş bant), *ZigBee* gibi iletişim yöntemleri tercih edilmektedir.

Üçüncü katman verilerin işlendiği medikal sunucu katmanıdır. Medikal sunucuda yapılan analiz sonucuna göre gerektiği takdirde bireyin belirlemiş olduğu yakınlarına, doktoruna veya acil müdahale ekiplerine bilgi verilebilir. *BAN* sunucusu ve medikal sunucu arasındaki kablosuz haberleşme için geniş alan ağı, *GSM/GPRS* gibi iletişim yöntemleri tercih edilmektedir.



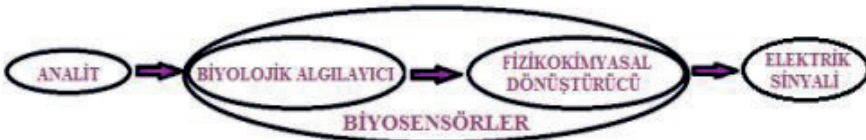
Şekil 1. Vücut Alan Ağı Mimarisi

Bir ortamda bulunan cihazların ya da canlı/cansız değerli varlıkların takibi otomatik olarak yapılmak istendiğinde otomatik tanımlama sistemlerinden yararlanır. Otomatik tanımlama; canlı/cansız nesnelere otomatik olarak belirlemeyi sağlayan teknolojilere verilen genel bir tanımdır. Bu sistemler içerisinde *RFID* teknolojisi; güç gereksiniminin az olması ve bilgi saklama kapasitesinin diğer tanımlama sistemlerine göre daha yüksek olması sebebiyle tıbbi nesnelere interneti uygulamalarında tercih edilmektedir. *RFID* etiketi bulunan bir karta, yenidoğanlardan Alzheimer hastalarına kadar çok değişik spektrumda takip gerektiren hastalara ait tanımlayıcı bilgiler yüklenebilmektedir. Stok sayım işlemleri için harcanan süre ve kaynak tüketimi en aza indirgenmektedir. İnsan kaynaklı veri-giriş hataları önlenmekte ve gerçek zamanlı varlık takibi mümkün hale gelmektedir. *RFID*, nesnelere radyo dalgaları yardımıyla tanımlamaya olanak sağlayan bir teknolojidir. Sistem, *RFID* etiketleri ve okuyuculardan oluşmaktadır. *RFID* etiketi içerisinde bir mikroçip üzerinde varlığa ait tanımlayıcı bilgiler ve bu çipe bağlı bir anten bulunmaktadır. Anten, çipin içerisinde bulunan bilgiyi okuyucuya iletir. Okuyucu ise *RFID* etiketinden almış olduğu bu bilgiyi kontrol sistemine iletir.



Şekil 2. RFID Bileşenleri

Biyosensörler, ortamda bulunan biyolojik numunelere karşı seçici özellik gösteren, numunelerin yapı ve yoğunluk bilgilerini ölçülebilir ve işlenebilir elektrik sinyaline dönüştüren analitik cihazlardır (Tüylek, 2017). Bir başka deyişle biyosensör; kimyasal ya da biyolojik sinyali, içeriğinde bulunan dönüştürücü ile ölçülebilir ve işlenebilir elektriksel sinyale dönüştürmekte ve böylece biyolojik ve kimyasal maddeleri tespit etmeye olanak sağlamaktadır. Bir biyosensör biyolojik algılayıcı ve fizikokimyasal dönüştürücüden oluşmaktadır. Biyolojik algılayıcının görevi analiz edilecek maddeyle etkileşime girerek tanımlama yapmaktır. Biyolojik algılayıcıda kullanılan biyoalgılama materyalleri arasında elektrolitler, enzimler, antikolar, nükleik asitler, tam hücreler, reseptörler, dokular ve organeller gibi materyaller sayılabilir (Bulut, 2011). Fizikokimyasal dönüştürücünün görevi ise bu tanımlamayı ölçülebilir bir fiziksel değere çevirmektir.



Şekil 3. Biyosensörlerin Blok Diyagramı (Tüylek, 2017)

Tıbbi nesnelere interneti uygulamalarına dahil cihazların ve varlıkların oluşturduğu verilerin bir sunucu üzerinde tutulması yüksek sunucu maliyetlerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca tüm bu verilerin analiz edilmesi, analiz sonucu kararlar verilmesi ve bu kararların uygulanması içinde hesaplama gücü yüksek sunuculara ihtiyaç duyulmaktadır. Bakım maliyetlerinin yüksek oluşu, teknolojinin gelişmesiyle belirli aralıklarla sunucuların yenilenmesi gerekliliği, gerektiği durumlarda hızlıca kapasite artırımının sağlanabilmesi gibi durumlardan ötürü bulut bilişim adı verilen bir teknolojiden yararlanılmaktadır. Bulut bilişim, ihtiyaç duyulan bilişim hizmetlerinin (veritabanı, sunucu, yazılım vb.) internet üzerinden kurumlara, şirketlere, bireylere sağlanmasıdır. Tüm bu fiziki donanımlar uzak bir konumda bulunmakta olup bakım ve yedekleme gibi işlemler hizmetin alındığı servis sağlayıcı tarafından yapılmaktadır. Kullanılan kaynak kadar maliyet oluştuğundan gerektiği takdirde kapasite artırımını ya da azaltımı mümkün hale gelmektedir. Nesnelere internetiyle oluşan veriler büyük veri olarak tabir edilen yapıyı oluşturmaktadır. Tüm bu verilerin tutulması için ihtiyaca göre bulut bilişim veri depolama çözümleri sunulmaktadır. Büyüyen veri boyutuna göre dinamik olarak genişleyen esnek bir yapının sağlanması iş süreçlerinin devamlılığı için gerekli olup maliyetler göz önüne alındığında bulut bilişim teknolojileri önde gelen seçeneklerden birini oluşturmaktadır.

2. Sağlıkta Nesnelere İnterneti Kullanımı

Tıpta bir yandan bilgi üretim sürecinin üstel bir hızla ilerlemesiyle ortaya çıkan devasa büyüklükte bilgi kümesi, diğer yandan sağlık alanında veri kataloglama işlemlerine tabi tutulmamış olağanüstü büyüklükteki veri nedeniyle sağlık bilimlerini bilişim teknolojilerinden bağımsız düşünmek mümkün değildir. Dijital görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, tanı ve teşhis süreçlerinde akıllı yaklaşımların kullanılması, cerrahi alanında robotik sistemlerden yararlanılması, bilgisayarların bilgi işleme kapasitelerinde iyileşmeler, modelleme ve benzetim teknolojileri ile birçok operasyonun etkilerinin önceden analiz edilebilmesi gibi sayısız yenilik bu düşüncenin ürünüdür. Ayrıca, sağlık alanında karmaşık hizmet üretim sistemleri ve geleneksel depolama sistemleri yerine gerçek zamanlı verileri işlemek için kullanılacak kontrol edilebilir, denetlenebilir ve izlenebilir olmaya olanak sağlayacak ileri sistemler gündeme gelmiştir.

Bilgi toplumunda, sağlık hizmetlerinden daha çok faydalanma eğilimine sağlığın kişiselleştirilmesi eklenmektedir. Yapılandırılmış sağlık kurumu ve hekim merkezli sağlık hizmeti anlayışını yerine hasta veya birey merkezli, teknoloji destekli, homojen ve esnek sağlık hizmetlerinin sunumu yer almaktadır. Mobil cihazlar, inovatif bir dönüşüm geçirerek geliştirilmeleri ve akıllı cihazlara dönüştürülmeleriyle stratejik bir araç olarak günlük yaşam pratiğinde yer almaya başlamış; akıllı cihazların kullanımının yaygınlaşmasıyla kişisel sağlık alanında davranış değişikliği olmuştur. Geleneksel sağlık sistemleri, dijital bir dönüşüm yaşayarak mo-

bil sağlık teknolojileri hasta merkezli sağlık hizmetlerine geçişi kolaylaştırmıştır. Giyilebilir *IoT* cihazlarıyla kişisel sağlığa ilişkin verilerin toplanıp, analiz edilip, tedaviyi üstlenen hekim ve sağlık kurumlarına gerçek zamanlı iletebilmesi mümkün olmaktadır (Qureshi, 2018). Sağlık hizmetlerinin dijitalleştirilmesi ve sağlıkta nesnelerin interneti uygulamaları, küresel boyutta artan sağlık hizmeti talebini ve artan sağlık harcamalarını azaltma ya da en azından artışına engel olma yönünde katkı sağlamaktadır.

2.1. Sağlık Yönetiminde Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

Sağlık Yönetimi, “tıbbi bakım ve sağlıklı bir çevre taleplerinin bireylere, organizasyonlara ve toplumlara belirli hizmetleri sağlayarak karşılanmasını olanaklı kılan kaynak ve süreçlerin planlanması, örgütlenmesi, yönlendirilmesi, kontrol ve koordinasyonu” olarak tanımlanmaktadır (Çimen, 2010). Sağlık hizmetlerinde çıktının tanımlanması ve ölçümü güçtür; sağlık kurumlarında yapılan işler oldukça karmaşık ve değişkendir. Sağlık kurumlarında gerçekleştirilen etkinliklerin büyük kısmı acil ve ertelenemez niteliktedir. Sağlık kurumlarının etkinlikleri hata ve belirsizliklere karşı çok duyarlıdır ve tolerans gösteremez. Sağlık kurumlarında uzmanlaşma seviyesi ve işlevsel bağımlılık çok yüksektir. Bu nedenle farklı meslek gruplarının faaliyetleri arasında yüksek düzeyde eş güdüm gereklidir. Hastaneler başta olmak üzere tüm sağlık kuruluşları karmaşık yapıda, açık-dinamik sistemlerdir ve ikili otorite hattı bulunmaktadır. Sağlık kurumlarında insan kaynakları profesyonel kişilerden oluşmaktadır ve bu kişiler kurumsal hedeflerden daha çok mesleki hedeflere önem vermektedir (Etges, 2019). Bu durum eş güdümlene, denetim ve çatışma gibi sorunlara yol açmaktadır. Sağlık sisteminde kendi kendini yönetebilen, denetleyen ve optimize eden otonom sistemlerin iyi tasarlanmış ve yapılandırılmış bir ağ içerisinde haberleşmesi karmaşık hizmet üretimi ve yönetiminde tıbbi nesnelerin interneti yeni bir yaklaşım olarak yerini almaktadır. Sağlık kurumlarının, özellikle en yoğun kaynak kullanımının gerçekleştiği hastanelerde sağlık hizmeti üretim süreçlerinde maliyetleri düşürücü, verimliliği ve kaliteyi artırıcı sistem arayışlarına cevap vermek amacıyla tıbbi bilişim olanaklarından yararlanılmasının yanı sıra internetin de tıbbi ve kurumsal yönetim süreçlerine uyarlanması yeni alanlar yaratmaktadır. Bu alanda yapılan tıbbi nesnelerin interneti temelli çalışmalara aşağıda başlıklar altında değinilmiştir.

2.1.1. Düzeltici ve Önleyici Politikalar

2.1.1.1. Genel Düzenleyici ve Önleyici Politikalar

Düzeltici faaliyetler, ürün ve hizmetin üretilmesi sırasında ortaya çıkan sorunların giderilmesine yöneliktir. Önleyici faaliyetler ise, ileride sorun çıkarabilecek durumların tespit edilmesine ve önlenmesine yöneliktir. Nesnelerin internetiyle tıbbi cihazlar, bina içi enerji

sistemleri, yoğunluk yaşanan alanlar gibi çevresel koşullar sensörler yardımıyla izlenebilmekte ve kayıt altına alınabilmektedir.

Sağlık hizmetinin verildiği ortamlarda fiziksel koşulların kalitesinin ve verimliliğinin sürdürülebilirliğinde, karmaşık sistemlerin entegrasyon çalışmasında ve destek hizmetleri sunumunda tesis yönetim süreci nesnelere interneti yardımıyla sağlanabilir. Doğal afetler başta olmak üzere beklenmedik olaylarla oluşabilecek riskler, hasta ve çalışan güvenliği sağlamak üzere kriz yönetimi *IoMT* teknolojisiyle gerçek zamanlı sistematik izleme, analiz etme ve değerlendirmeye kontrol altında tutulabilir.

Sağlık kurumlarında kullanılan medikal cihazların arıza durumuyla hizmet dışı kalması ciddi kayıpların yaşanmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu tür kayıpların önüne geçmek için cihazlar sensörlerle donatılmakta ve sürekli izlenmektedir. Tıbbi cihazlar (aktif/pasif, girişimsel olan/girişimsel olmayan), üzerinde taşıdıkları birçok sensörle çalışma durumlarını *IoMT* teknolojisiyle uzak bir sunucuya gönderebilmekte ve yaşanması olası sorunların önceden tespit edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Cihaz, sensörleri aracılığıyla olağan dışı bir durum tespit ettiğinde kontrol sistemine uyarı göndermekte ve durumu önlemek için alınması gereken tedbirleri önerebilmektedir. Bazı cihaz üretici elektronik firmaları, kritik öneme sahip tıbbi cihazların sürekli izlenebilmesi için sensörler ve bu sensörlerden aldıkları verileri işleyerek yorumlayabilen nesnelere interneti temelli sistemler tasarlamaktadırlar. Sunucu üzerinde yorumlanan verilere göre cihazın çalışmasında olağan dışı bir durum tespit edilmesi halinde uyarı verilmesi sağlanmakta ve sorunun düzeltilmesi için zaman kazanılmış olmaktadır. Özel çalışma teknikleri ile sağlık hizmetinde kullanılan, anjiyografi, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR) görüntüleme, nükleer tıp ve radyasyon terapisi uygulayan yüksek riskli cihaz gruplarının çalışan ve hasta açısından güvenlik ve düzenli performansları *IoMT* teknolojisiyle denetlenebilmektedir. Benzer şekilde bina içi enerji sistemlerinde yaşanan sorunlar yine sistemlere bağlı sensörlerle izlenebilmekte, sürekli bir kontrol mekanizması sağlanabilmektedir.

Sağlık kurumu içerisinde nesnelere internetiyle hastalar takip edilebilmektedir. Böylece bina içerisinde hangi alanlarda ve hangi bölümlerde yoğunluk yaşandığı tespit edilebilmekte ve ilgili alan için genişletme gibi iyileştirme çalışmaları yapılabilmektedir. Hastaların yoğunluk yarattığı bölümler ve bu bölümlerin ihtiyaç duyduğu tıbbi cihazların zamana göre kullanım oranları belirlenebilmekte ve böylelikle ileriye dönük personel ve tıbbi cihaz yatırımları planlanabilmektedir.

2.1.1.2. Ulusal ve Bölgesel Düzenleyici ve Önleyici Politikalar

Sağlık kurumu özelinde nesnelere internetiyle izlenen tüm tıbbi cihazlar, bina içi sistemler, tedavi süreçleri gibi hizmete tabi cihazlar ve alanlar sürekli bir veri akışı sağlamaktadır. Tüm sağlık kurumlarından gelen bu veriler birleştiğinde büyük veriyi oluşturmaktadır. Bu verilerin analiz edilmesiyle tıbbi cihazların durumları, en sık sorun yaşanan cihazların tespit edilmesi, en çok ihtiyaç duyulan cihazlar, bina kapasitelerinin yeterli olup olmadığı ve sağlık sektöründe harcanan enerji tüketimi gibi birçok bilgiye erişilebilmektedir. Ulusal düzeyde sağlık politikalarının belirlenmesinde bu veri analizlerinden yararlanılabilir ve geleceğe dair daha etkin yatırımların yapılması sağlanabilir.

2.1.2. Sağlık Hizmeti Kapasitesinin Verimli Kullanımı

Sağlık sektöründe yüksek maliyetler, ülkelerin sağlık harcamalarının artmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum sağlık hizmetlerine ayrılan kaynakların verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Kaynakların verimli kullanılması maliyetlerin düşmesine yardımcı olmakta ve tüm bireylerin eşit olarak sağlık hizmetlerinden faydalanmalarına olanak sağlamaktadır. Nesnelere internetiyle kaynaklar sürekli izlenebilmekte, olağan dışı durumlar tespit edilebilmekte, kullanım oranları belirlenebilmekte ve geleceğe dönük planlamalar yapılabilmektedir.

2.1.2.1. Maliyet ve Etkinlik Yönetimi

Sağlık hizmetlerinde insan kaynakları kullanımı, tıbbi cihaz kullanım oranları gibi yapılan yatırımların sonucunda üretilen hizmet değerinin ne derece verimli olduğu yapılan çeşitli analizler sonucunda belirlenebilmektedir. Maliyet ve etkinlik yönetimi olarak tanımlanan bu süreç nesnelere interneti teknolojisiyle çok daha hızlı, efektif ve insan kaynaklı hatalardan arındırılmış bir şekilde işletilebilmektedir. Etkinlik; iktisadi anlamda en az gayret ve maliyetle en fazla sonuç elde etme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Girdiler ve çıktılar olarak ele alınan değerler çeşitli yöntemlerle hesaplanarak analiz sonuçları elde edilmektedir. Sağlık alanında girdilerden kast edilen fiili yatak sayısı, uzman hekim sayısı, pratisyen hekim sayısı, diğer personel sayısı ve tıbbi cihaz sayıları gibi sağlık hizmetlerine özgü değerlerdir. Bu girdilere bağlı çıktılar ise yapılan ameliyat sayısı, poliklinikte tedavi gören hasta sayısı ve taburcu olan hasta sayısı gibi değerleri ifade etmektedir. Belirtilen girdi değerleri nesnelere interneti teknolojisiyle izlenebilmekte ve çıktı değerleri ise bu bilgilerin toplandığı diğer sistemlerden elde edilerek tüm bu süreçlerin insan müdahalesine gerek kalmadan yürütülmesi sağlanabilmektedir.

Tıbbi cihazlar, sağlık personelleri, kullanımda olan yatak sayısı gibi girdi değerleri üzerinde bulunan otomatik tanımlama sistemleri yardımıyla kendilerine ait bilgileri veri toplayan

diğer nesnelere iletebilmektedirler. Otomatik tanımlama sistemi olarak *RFID*, *bluetooth* gibi teknolojiler kullanılabilir. Sağlık personelleri, hastalar gibi sürekli hareket halinde olan varlıklar *bluetooth* teknolojisiyle haberleşebilmektedirler. Kişilerin taşımış olduğu akıllı telefon gibi *bluetooth* özelliği olan cihazlar, çevrede bulunan *bluetooth* okuyucu cihazlarla iletişime geçerek bulunulan lokasyon bilgisini ağ üzerinden ilgili sisteme kayıt edebilmektedirler. Tıbbi cihazlar gibi cansız varlıklar ise üzerlerine eklenen *RFID* etiketleriyle kendilerine ait tanımlayıcı bilgileri *RFID* okuyuculara gönderebilmektedirler. Gerekli takdirde *RFID* teknolojisi canlı varlıkların takibi içinde kullanılabilir. İçerisinde *RFID* etiketi bulunan bir karta kişiye ait tanımlayıcı bilgiler yüklenebilir ve *RFID* okuyucular tarafından bu bilgiler okunabilir. Böylece sağlık kurumu içerisinde hangi varlığın hangi lokasyonda ne süreyle bulunduğu bilgisi, anlık ve geçmişe dönük olarak izlenebilir. Hastaların bulunduğu lokasyonda ne kadar süreyle beklediği, hangi tıbbi cihazı kullandığı gibi bilgilerle tespit edilebilir. Hasta kayıt sistemlerinden taburcu olan hasta bilgisi, hastanede ne süreyle kaldığı bilgisi gibi temel bilgiler sistemlerin birbirleriyle haberleşmeleri sayesinde alınabilir. Yenidoğan ünitelerinde yenidoğanlara *RFID* bileklikler takılmakta ve ağ üzerinden konumları izlenebilir. Bir yenidoğanın taburcu edilmeden çıkış kapısına doğru hareketi tespit edildiğinde sistem uyarı vererek ilgili birimleri uyarabilir. Bilekliğin veri akışının kesilmesi ya da yetkisiz bir şekilde bilekliğin çıkarılması da uyarı verilmesini sağlamaktadır. Bu uygulama maliyet ve etkinlik yönetimi olduğu kadar güvenlik anlamında da nesnelere interneti teknolojilerinden faydalanma uygulamasıdır.

Sistemlerin birbirleriyle haberleşmeleri ve varlıkların hangi nesnelere etkileşimde bulunduğu nesnelere interneti teknolojisiyle takip edilebilmesiyle maliyet ve etkinlik analizi anlık olarak raporlanabilir. Bu bilgiler sağlık kurumu özelinde takip edilebileceği gibi bölgesel ya da ulusal düzeyde de anlık olarak raporlanabilir durumda olmaktadır.

2.1.2.2. Varlık ve Tedarik Zinciri Yönetimi

Sağlık hizmetlerinde kullanılan değerli varlıkların lokasyon takibi, anlık durumu ve aktif olup olmadığı gibi tüm bilgilerin izlenebilir olması kritik süreçlerin yürüdüğü sağlık sektöründe önem arz etmektedir. Nesnelere interneti teknolojisi bu alanda kullanılmakta ve yenilikçi çalışmalarla desteklenmektedir.

Paiva ve diğerleri (2018)'nin yaptıkları çalışmada, sağlık kurumlarında varlık takibinin yapılması için konum belirleme sistemi için çözüm önerileri sunulmuştur. Sağlık personelleri, hastalar ve medikal cihazların takibi için *RFID*, düşük enerjili *bluetooth* gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Takip edilmesi istenen varlıklar üzerinde *RFID* etiketleri ya da *bluetooth*

cihazı konumlandırılmaktadır. Bina içerisinde bulunan okuyucular kapsama alanına giren *RFID* etiketi ya da *bluetooth* cihazından gelen veriyi alarak varlığın gerçek zamanlı konum bilgisini takip sistemine göndermektedir. Düşük maliyetli nesnelerin interneti teknolojisiyle değerli varlıkların takibi insan müdahalesine gerek kalmadan yapılabilmektedir. Böylece tıbbi cihazların yasa dışı kullanımlarının ve izinsiz bina dışına çıkarılmalarının önüne geçilmesi sağlanmaktadır. İhtiyaç duyulduğunda cihazın konumu anlık olarak tespit edilebilmektedir.

Değerli varlıkların takibi ve önceden arıza durumlarının tespit edilebilmesi zaman kaybına tahammülü bulunmayan sağlık hizmetleri için gerekli olup, ulusal düzeyde de sağlık kurumlarında kullanılan değerli varlıkların anlık olarak raporlanabilmesine, kullanım oranlarının tespit edilerek yatırımların planlanabilmesine ve ihtiyaçların tespit edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Sağlık sektörünün hasta bakım kalitesini düşürmeden düşük maliyetlerle hizmet verebilmesi için tedarik zinciri sürecinde yaşanan maliyetlerin düşürülebilmesi önemlidir. Sağlık kurumlarında etkin bir tedarik zinciri yönetimiyle sağlık kurumu özelinde verilen hizmetin kalitesi artırılırken, makro düzeyde kaynakların verimli kullanılması ve maliyetlerin düşürülmesiyle ülke ekonomisine olumlu yönde etki sağlanmaktadır. Sağlık hizmetlerinde tedarik zincirinin temel amaçları şu şekilde sıralanabilir (Acar ve Bozaykut, 2017):

- Tıbbi malzeme teminini doğru zamanda, olması gereken miktarda ve koşullarda en uygun maliyetle sağlamak
- Depolama için gereken alanı küçültürken hasta bakım alanını arttırabilmek
- Tıbbi malzeme temin süresini ve maliyetini kaliteyi düşürmeden sağlayabilmek
- Stok maliyetini mümkün mertebe azaltmak

Tüm bu amaçlarla etkin bir tedarik zinciri yöntemiyle sağlanacak tasarruflar, bu süreçlerde harcanan kaynakların ihtiyaç duyulan diğer alanlara aktarılabilmesini ve hizmet kalitesinin artırılmasını sağlamaktadır. Nesnelerin internetiyle bu karışık süreç birbirleriyle haberleşebilen nesnelere ve sistemlere sayesinde yürütülebilmektedir.

Depo yönetimi: Tıbbi malzemelerin tutulduğu depolar nesnelerin internetiyle gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Tıbbi malzemeler otomatik tanımlama sistemleri sayesinde depoya giriş ve çıkışta okuyucu cihazlara tanımlayıcı bilgilerini gönderebilmekte ve böylelikle kayıt altına alınmaktadır. Tüm bu ürün hareketleri raporlanabilmekte ve gereksiz ürün depolanmasının önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Ürüne ait son kullanma tarihi gibi bilgilerde bu tanımlayıcı bilgiler içerisinde bulunabileceğinden miadı dolan ya da dolmaya yakın ürünler görülebilmekte

ve uygun olmayan kullanımların önüne geçilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca geçmişe dönük sorgulamalar yapılmasına olanak sağlandığından kayıp ya da çalınma gibi durumların önüne geçilmesi de mümkün olmaktadır. Stok sayımının gerçek zamanlı olarak makro düzeyde yapılması mümkün olup, ulusal bir envanter takip sistemine olanak sağlamaktadır.

Kapsamlı lojistik: Tedarik zincirinde bulunan firmalar ve kurumlar, nakil halindeki ürünlerin durumunu, gerekiyorsa sıcaklık bilgisini, son kullanma tarihini ve lokasyon bilgisini taşıt takip sisteminin sağlamış olduğu bilgilerle görebilmektedirler. Böylece aşı ve ilaç gibi sıcaklığa duyarlı, soğuk zincir koşullarında nakliyesi gereken ürünlerin sıcaklık takibi yapılabilmekte ve eğer bir bozulma durumu varsa anlık olarak tespit edilebilmektedir.

Otomatik tanımlama sistemleri ve nesnelere interneti teknolojisi sayesinde tedarik zincirinde verimlilik, doğruluk ve güvenlik sağlamanın yanında stok, lokasyon, teslimat gibi gerçek zamanlı bilgi de sağlanmaktadır.

2.1.3. Toplam Kalite Yönetimi

Sağlık kuruluşları bir taraftan artan maliyetler ve sağlık hizmetlerine duyulan ihtiyacı yönetmeye çalışırken diğer taraftan da toplumun verilen hizmetlerden memnun olmasını sağlamaya çalışmaktadırlar. Bu sebeple paydaşların beklenti ve gereksinimlerine cevap verebilecek kalite odaklı çalışmalara ağırlık verilmesi önem arz etmektedir. Hasta memnuniyetini arttırmaya yönelik nesnelere interneti temelli çalışmalardan bazılarında aşağıda değinilmiştir.

Kanase ve Gaikwand (2016)'ın yaptığı çalışmada; hastane odalarının çeşitli sensörler aracılığıyla sıcaklık, ısı, nem, ışık gibi fiziksel değişiklikleri takip edilerek toplanan veriler bina kontrol sistemine gönderilerek sistemin otomatik karar vermesi sağlanmaktadır. Böylece enerji ve altyapı sistemleri birbiriyle etkileşen nesnelere internet teknolojisi ile kontrol edilerek, hasta odalarının hastanın ihtiyaçlarına uygun olan ideal şartlar altında tutulması sağlanmaktadır. Sistem sayesinde enerji kaynaklarının tüketimi kontrol altına alınmış olup, gereksiz kaynak tüketiminin önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

Hemşirelerin sorumlu oldukları odalardaki hastalara bağlı serumları takibi ve kontrolü önemli bir husustur. Sürekli odaları gezerek bu takibi yapmak zaman kaybına sebebiyet vermektedir. Jaisree ve diğerleri (2017)'nin yapmış olduğu çalışmada hasta odaları algılayıcılar yardımıyla sürekli kontrol edilmekte ve hastaya verilen serumların durumları sensörler aracılığıyla izlenerek hemşireye uyarı gönderilmektedir. Böylece hastanın serum bitişini hemşireye haber vermesinin ya da hemşirenin belirli aralıklarla serum kontrolü için odaları gezmesinin önüne geçilmesi sağlanmıştır.

Chiuchisan ve diğerleri (2014), hastanelerin yoğun bakım ünitelerinde kullanılmak üzere çeşitli sensörlerden oluşan bir sistem önerisi sunmuşlardır. Önerilen sistemle yoğun bakım ünitelerinde hastaların hayati fonksiyonları ve bulunulan odanın fiziksel koşulları sürekli kontrol edilerek gerekli durumlarda sistemlerin birbirleriyle haberleşmesi sağlanmakta ve uyarı verilmektedir.

Hastanın sağlık kurumuna giriş yaparak kayıt yaptığı andan itibaren alacağı bir akıllı kartla işlem yapacağı birimlerde çok daha hızlı işlem yapılabilmektedir. Kişinin sahip olduğu bir akıllı telefon üzerinden gideceği birime yönlendirme yapılabilmekte, kendi sırası geldiğinde bildirim alabilmekte, sonuçları çıktığında yine uygulama üzerinden bildirim alabilmektedir. Kişinin kullanmış olduğu tıbbi cihazlar, yaptırmış olduğu işlemler ve tüm tıbbi ürünler kayıt altına alınabilmektedir. Böylece geçmişe dönük olarak kişilerin bekleme süreleri, hangi medikal cihazları kullandıkları ve tedavi süreçleri raporlanabilmektedir. Bu veriler hizmet kalitesinin ölçülmesinde, eksikliklerin belirlenmesinde ve iyileştirme süreçlerinin hızlanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

2.1.4. Dokümantasyon Yönetimi

Sağlık hizmetlerinde bilgiye en düşük maliyetle ve istenen zamanda erişilebilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde bilginin üretilmesinin yanında saklanması, erişilmesi ve değerlendirilmesinin de önemi giderek artmaktadır. Elektronik tıbbi kayıtlar; elektronik ortama aktarılmış bireye ait sağlık bilgilerinin, sağlık hikayesinin, tanı-tedavi-bakım raporlarının kayıt altına alındığı ve mekan bağımsız olarak erişilebilen bilgisayar destekli kayıtlardır (Limon, 2019). Elektronik kayıt sistemiyle çok kısa sürede tıbbi bilgileri depolayabilmek, istenildiği zaman çok hızlı bir şekilde bilgiye ulaşabilmek mümkün hale gelmektedir. Aynı zamanda bilgilerin kayıt altında tutulmasıyla veriler üzerinde analiz çalışmaları yapılabilmekte ve geleceğe dönük planlamalar, öngörüler gerçekleştirilebilmektedir. Elektronik ortama aktarılmış olan tıbbi dökümanlar gerekli durumlarda tüm paydaşlar ile paylaşılabilen ve süreçlerin hızlandırılması sağlanabilmektedir. Sağlık problemlerinin teşhis edilmesinden, tedavi planlama ve gerçekleştirme süreçlerine, tedavinin maliyetlerinin tutulduğu finansal kayıtlardan eczaneye kadar tüm sağlık hizmetleri süreçlerinde elektronik dokümantasyondan faydalanılmaktadır (Budak ve Topal, 2018). Son yıllarda sıklıkla kullanılan bir kavram olan dijital hastenenin amaçlarından biri sağlık kurumlarında kağıt kullanımını ortadan kaldırmaktır. Dijital hastane “her türlü tıbbi ürünün bilgi yönetim sistemine ağlar ve algılayıcılar aracılığıyla veri gönderildiği; hastaların ve sağlık personellerinin yetkileri ve onayları dâhilinde bu sistemdeki bilgiye sağlık kurumundan veya uzaktan erişebildiği entegre sağlık hizmeti sunan bir hastane modeli” olarak tanımlanmaktadır (Avaner ve Avaner, 2018). Her türlü tıbbi cihazın bilgi

yönetim sistemiyle haberleşebilmesi, sensörlerinden aldığı verileri ağ aracılığıyla gönderebilmesi nesnelere interneti tanımına uymaktadır. Bir sağlık kurumunda birçok tıbbi cihaz kullanılmaktadır. Bu tıbbi cihazlar yaptıkları işleme dair sonuçları hasta bilgisiyle beraber kayıt sistemine iletebilmektedir. Değerlendirme sonucu oluştuğundan sonra da hasta takip sisteminden hastaya bildirim yollanabilmekte ve yetkisi olan sağlık personelleri de bu sonuçları ağa bağlanabilen cihazlar üzerinden görebilmektedirler. Böylece hasta kayıt yaptırdığı andan hastaneden çıkış yapana kadar tüm süreçler dijital olarak kayıt altına alınmakta ve arşivlenebilmektedir. Mikro düzeyde kağıtsız hastaneye geçiş yapılmasının yanında makro düzeyde tüm hasta bilgileri diğer sağlık kurumları düzeyinde de izlenebilmektedir. Sağlık hizmetine ait verilerin dijital ortam üzerinde depolanması ulusal düzeyde veri analizlerinin yapılabilmesine, hastalık haritalarının oluşturulabilmesine, ulusal sağlık profilinin çıkarılması ve sağlık politikalarının belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

2.2. Sağlık Koruma ve Geliştirme Alanında Nesnelere İnterneti Uygulamaları

Sağlığın korunması, toplum içerisindeki bireylerin hasta olmalarını engellemek için yapılan hizmetler bütünü anlamına gelmektedir. Sağlık geliştirilmesi ise sağlıklı yaşam ve sağlığa yönelik davranış değişikliği için eğitim, ekonomik, örgütsel ve çevresel desteklerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Tıbbi bakım ve sağlık sektöründe, kişisel sağlık koruma ve geliştirme potansiyelinin kullanımı için nesnelere interneti en çekici uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Mobil sağlık uygulamaları artışıyla, taşınabilir ve giyilebilir cihazlarla tıbbi aletlerin arasında senkronizasyon sağlanması amacıyla yönelik mobil uygulamalar geliştirilmiştir. Mobil iletişim teknolojileriyle kişisel ve paylaşılabilir işletim sistemleri ve IoMT kişilerin sağlık statülerinin korunması, iyileştirilmesi ve geliştirilmesine yönelik kullanılabilmektedir.

Sağlık statik değil, dinamik bir süreçtir; nesnelere internetiyle sağlığın korunması ve geliştirilmesi adına faydalanabilecek uygulamalara aşağıda başlıklar halinde değinilmiştir.

2.2.1. Toplum Sağlığı Yönetimi / Önleyici Sağlık Hizmetleri

Toplumun sağlıklı olarak birarada yaşayabilmelerini sağlamak için bireysel ve çevresel koruyucu önlemlerin alınması, hastalık ve salgın gözetimi için bulaşıcı hastalıkların izlenmesi, kazalar ve felaket durumunda acil tıbbi yanıt sistemleriyle uyarı verilmesi gerekmektedir. Sağlık hizmetleri, insanların fiziki ve mental durumlarının korunması, onarılması ve iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen etkinliklerdir. Sağlık hizmetleri, birey ve toplumun sağlıklı, uzun ömürlü olmasını ve verimli çalışmasını hedefler. Dünya Sağlık Örgütü tanımına göre, sağlık hizmetleri; insanın sağlığına zarar veren çeşitli etkenlerden korunması, bedeni ve mental

yetenekleri olumsuz etkilenmiş ya da azalmış olanların sağlıklarına kavuşturulması amacıyla uygulanan tıbbi etkinliklerdir (World Health Organization, 2006). Kişiyeye yönelik koruyucu sağlık hizmetleri sağlık meslekleri üyelerinin yürüttüğü ve doğrudan bireylere götürülen, temel sağlık hizmetleri olarak adlandırılan hizmetlerdir. Sağlık hizmetlerinin yürütülmesinde değişmez temel ilkeler kanıta dayalı tıp anlayışı, etkililik, verimlilik, temel anayasal haklar çerçevesinde sağlık hakkı/yaşam hakkı ve hakkaniyettir. Sağlık hizmeti her koşulda hastaya zarar vermeme ilkesi doğrultusunda zamanında, güvenli, etkili, verimli, hasta odaklı, klinik kararlarda hastanın karara katılımıyla değer ve inançlarına uyumlu, insana saygı ilkesi doğrultusunda hizmetin miktarı, kapsamı ve kalitesi değişik katmanlarda farklılaşmama olmaksızın hakkaniyetli olmalıdır.

Bağışıklama, hastalıkların erken tanı ve tedavisi için toplum taramaları, beslenme düzenleme, kişisel hijyen ile sağlık eğitimi ve sağlık okur-yazarlığı kişiyeye yönelik koruyucu sağlık hizmetleri kapsamındadır. Bireylere temiz su sağlamak, düzenli ve sağlıklı bir çevre düzenlemesi yapmak ise çevresel hizmetlerdir. Sağlık hizmetlerinin dijitalleştirilmesi ve nesnelere interneti uygulamalarından, küresel boyutta artan sağlık hizmeti talebini ve artan sağlık harcamalarını azaltma ya da artışına engel olma yönünde katkı beklenmektedir.

Bireye yönelik hizmetlerden bağışıklama şüphesiz en önemli hizmetlerden birini oluşturmaktadır. Aşılama esnasında kullanılan aşuların sıcaklık değerlerinin kontrolü çok önemlidir. Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü tarafından hizmete sunulmuş olan Aşı Takip Sistemi nesnelere interneti teknolojisine bir örnek teşkil etmektedir. Sağlık kurumlarında bulunan tüm aşı saklama dolaplarında ve aşı taşıma araçlarında bulunan sıcaklık ölçüm cihazlarından veri toplanmakta ve bu veriler merkezi bir sunucuda kayıt altında tutulmaktadır. Aşının kişiyeye uygulanana kadar tüm geçmiş sıcaklık değerleri kontrol edilmekte ve aşının sıcaklık değerlerinde bir bozulma olduğu tespit edilirse aşının kişiyeye uygulanmasına engel olunmaktadır. Tüm bu süreçte insan müdahalesi bulunmadan aşuların bulunduğu dolaplar, taşıma araçları sıcaklık değerlerini diğer cihazlara iletmekte ve tüm bu süreçler nesnelere interneti aracılığıyla yürütmektedir.

Aşuların nesnelere internetiyle izlenmesine benzer şekilde, toplum sağlığını doğrudan ilgilendiren tüm ilaçlar İlaç Takip Sistemi (İTS) ile kontrol edilmekte ve ilaç satışı yapan tüm paydaşların sisteme bildirimleriyle, ilaçların son kullanıcıya ulaşana kadarki tüm hareketleri izlenebilmektedir. Böylece uygunsuz ve yasa dışı ilaç satışı önlenmekte, piyasadan toplanması gereken ilaçların hızlı bir şekilde satıştan çekilmesi mümkün kılınmaktadır.

Topluma temiz su sağlamak için su kaynaklarının belirli aralıklarla analiz edilmesi ve sonuçlara göre önlemler alınması gerekmektedir. Belirli aralıklarla alınan bu örnekler kirlenmeyi tespit etmeye

olanak sağlasa da anlık bir kontrol olmadığından su kaynaklarının kirlendiği anda tespiti mümkün olamamaktadır. Bu sorunun çözümü için bir elektronik firması tarafından “su sensörü adında bir cihaz geliştirilmiştir. Su kaynağı içerisine konumlandırılan sensör, suya ait temel verileri 3G ve LTE haberleşme teknolojilerini kullanarak kontrol sistemine göndermektedir. Anlık olarak alınan veriler sürekli olarak izlenebilmekte ve olağan dışı bir durumda sistemin uyarı vermesi sağlanabilmektedir.

Özellikle nüfusun yoğun olduğu büyükşehirlerde hava kalitesinin kontrol edilmesi toplum sağlığı için gereklidir. Hava kalitesini ölçen ve ölçüm verilerini kontrol sistemlerine ileterek analiz edilmesini sağlayan nesnelere interneti sistemleri sayesinde çok geç olmadan sorunun tespit edilmesi ve erkenden önlem alınabilmesi sağlanabilmektedir.

2.2.2. Kişisel Sağlığı Koruma

Kişisel sağlık, nesnelere interneti teknolojilerinden en çok yararlanan alanların başında gelmektedir. Bağlı sensörlerle vücut değerlerinin takip edilmesi, uzaktan takip sistemleri, ilaç kullanımının kontrolü gibi birçok alanda bu teknolojiden faydalanılmaktadır.

Biyosensörler, sağlıkta dijital dönüşümün en önemli araçları arasında sayılmaktadır. Biyosensörlerden bu sensörler aracılığıyla alınan tıbbi bir bilginin kablosuz ağlar üzerinden mobil ya da internet uygulamalarına gönderilebilmesiyle sağlık hizmeti sağlayıcıları uzaktan hasta durumunu takip etme olanağına sahip olabilmektedirler. Biyosensörler, vital veriler (nabız, kan basıncı, solunum sayısı, vücut sıcaklığı, periferik parsiyel oksijen basıncı- pO_2 , elektrokardiyogram-EKG, nörofizyolojik uyarı eşiği düşük hastalarda elektroensefalogram-EEG, elektrookülogram-EOG, elektromiyografi-EMG) uyku ve genel sağlık durumu hakkındaki verileri toplayarak kullanıcılara sağlıklı yaşam için öneriler sunmaktadırlar.

HealthPatch ismiyle geliştirilen bir cihaz, EKG, kalp atım hızı, solunum hızı, deri sıcaklığı ve vücut duruşu gibi değişiklikleri üzerinde bulunan sensörlerle izlemekte ve bu bilgileri istenilen doktor ya da sağlık kurumuyla ağ üzerinden paylaşmaktadır (Selvaraj, 2014). Böylece hastanın takibi uzaktan da yapılmaya devam edilmekte, acil durumlarda duruma anında müdahale edilmesine olanak sağlanmaktadır.

Bazı sağlık kurumlarında enfeksiyona bağlı hastalıkları önlemek için bina içerisine yerleştirilen kameralar ve yapay zeka temelli algoritmalar, çalışanların el hijyeni kurallarına uyup uymadığının kontrol etmekte ve gerektiği takdirde ilgili sisteme uyarı mesajı göndermektedir.

2.2.3. Sağlık Eğitimi

Sağlık eğitimi, kişisel tutum ve davranışlar üzerinde olumlu etki sağlayarak, kişilerin ve toplumun sağlık düzeyinin yükselmesinde rol oynamaktadır (Andrews, 2011). Sağlık bilgile-

rini anlamak ve alacağı sağlık hizmetinin karar sürecinde rol ve sorumluluk almak her bireyin doğal hakkıdır. Sağlık eğitimi kişisel sağlık alanında davranış değişikliği yaratılmasında ve kişilerin yanlış alışkanlıklarından dolayı geliştirdikleri sağlıklı olmayan davranışlarının iyileştirilmesi ve olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Sağlığın geliştirilmesinde ve korunmasında sağlık eğitiminin, sağlık okur-yazarlığının büyük önemi ve katkısı bulunmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü sağlık okur-yazarlığı kavramını “sağlıklı olmayı sürdürme ve bu duruma katkıda bulunmayı sağlayan yollarla; bireylerin bilgiye olan erişim, anlama ve kullanma yeteneği ile motivasyonu belirleyen bilişsel ve sosyal beceriler” olarak tanımlamaktadır (World Health Organization, 2011). Sağlık Bakanlığının yapmış olduğu çalışmalar, yetersiz sağlık okur-yazarlığı, koruyucu sağlık hizmetlerinin daha az kullanımına ve bu duruma bağlı olarak bu bireylerin daha fazla tedavi edici sağlık hizmetlerine başvurduklarını, hastaneye yatış oranlarının çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Nesnelerin internetiyle sağlık kurumlarına başvuran bireylerin şikayetleri, sağlık kurumlarına başvurma aralıkları gerçek zamanlı olarak tespit edilebilir ve sağlık okur-yazarlığı hakkında öngörülebilir. Bu durum bölgesel olarak veri analizleriyle izlenebilir ve bireysel ya da bölgesel eğitimlerin yapılması için çalışmalar yapılabilir.

2.3. Acil Sağlık Hizmetlerinde Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

Sağlık hizmetlerinde acil durumlarda her saniyenin önemi bulunmaktadır. Nesnelerin internetiyle bu tür durumlarda zaman kayıplarının önüne geçilebilmesi sağlanabilmektedir. Günümüzde gelişen hızlı ağ bağlantıları sayesinde ambulans içerisinde hastanın genel durumu gibi tüm veriler hastanın götüreceği acil servis birimine iletilebilmekte, ön tanı bilgisine göre acil serviste hazırlıklar yapılabilmektedir (Strauss, 2014). Sağlıkta nesnelerin interneti uygulamalarıyla, varsa hastaların daha önce oluşturulmuş bulut sistemde yer alan dijital dosyasına ulaşılarak, henüz hastaneye ulaşmadan hasta öyküsü, hastalık geçmişi, daha önce yapılan tetkik ve tedavilerle takip bilgilerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Ambulansların ve hastanelerin tam entegre olduğu bir sistemde, hastanın ihtiyaç duyabileceği tıbbi cihazlar sistem tarafından belirlenebilir ve hangi sağlık kurumlarında bu tıbbi cihazların olduğuna göre en yakın hastane belirlenerek ambulansın bu hastaneye yönlendirilmesi sağlanabilir. Sağlıkta nesnelerin interneti uygulamasıyla, hasta henüz ambulans içinde monitorizasyon yapılırken hasta verileri dijital dosyaya ulaşarak, karar destek sistemleri entegrasyonu ile hastanın ilk müdahalesi gerçekleştirilebilir (Ullah, 2019). Veri akışına anlık erişim sağlaması ile ayırıcı tanı, tanı ve tedavi için karar vermede destek olacak sistemlerin karar destek sistemlerinin kurgulanarak, aynı zamanda *IoMT* sistemi tarafından hastanelerdeki yoğunluk durumu da kontrol edilerek, en müsait sağlık kurumuna yönlendirme sağlanabilir. Acil servislere

başvuruların en sık nedenlerinden hayat tehdit eden ataklara yol açan hastalıklar nedeniyle takipli hastaların hastane dışında rahatsızlandığında, olayın başladığı andan ve yerden aktive edilen sistem sayesinde hasta acil servise ulaşana kadar eşzamanlı erişim ile hastanın acil servise girişinden önce atağın tanısı konularak gerekli tedavisinin planlanması ve karar destek sistemlerinin kullanılarak doğru ilaç ve tıbbi tedavi uygulamalarının elektronik olarak ve anlık düzenlenebilmesi *IoMT* desteğiyle yapılır. Hasta ambulansla Acil Servise taşınırken, ambulans içinde triyajı ve ilk müdahalesi yapılmış olarak hastaneye ulaştırılır.

Acil servis sağlık personelinin, acil servise ulaşan hastanın ilk şikayetleri başlamasından itibaren hastalık öyküsü ve alınabilen laboratuvar verileri hakkında hasta daha Acil Servise gelmeden bilgi sahibi olması ve hasta hastaneye ulaştığı anda acil tedavi ve girişimde bulunması *IoMT* teknolojisi ile mümkün olmaktadır (Al Brashdi, 2018). Hastanın geçmiş tanıları ve tedavileri gibi tüm sağlık verilerinin dijital dosyasından, dijital ortamda izlenmesini sağlayacak cihazlar ile değerlendirilmesi, hasta için ayırıcı gereken tetkikler, tanı ve tedavi protokolleri için karar sistemlerinden destek alınması *IoMT* ve bulut bilişim sistemleri desteği ile sağlanmaktadır. Tüm bu uygulamalar, hastaya ait dijital dosya verileri doğrultusunda son derece kritik olan zamanın verimli kullanılmasına olanak verir. Uzaktan hasta takip sistemlerinin (*remote patient monitoring*) ve *IoMT* kullanım alanlarının genişletilmesi ile hastalar 7/24 danışabilecekleri sağlık kurumunun sanal ortamında kontrolü altında olacak, hastaya ilişkin tüm önemli vital parametreler (EKG, tansiyon, nabız, solunum, oksijen saturasyon, hemoglobin, kan gazları, antikoagulyasyon düzeyi vb.) biyosensörler üzerinden hastanın izlendiği sağlık kuruluşuna dijital olarak gönderilerek, görüş alınmasını sağlayacaktır. *IoMT* sistemlerinin kullanımıyla, acil sağlık hizmeti ihtiyacı doğan hastaların acil tanı ve tedavi gerektiren durumlarda, acil servis iletişimleri ve triyajları çok daha hızlı olacaktır.

Acil Servislerinin *IoMT* teknolojileri kullanan tıbbi cihazlarla desteklenmesi, hastaların her türlü tanı cihazından elde edilen test verilerinin ve yaşam destek cihazlarından elde edilen verilerinin hastanın bir başka birime gitmeden hazırlanması, hem kritik hasta sağlığı açısından, hem Acil Servis işleyişine hız ve etkinlik kazandırma açısından hem de elde edilen verilerin algoritmik olarak yapılandırılması ile Acil Servis iş akışının makine öğrenmesi ve yapay zeka uygulamaları ile desteklenmesi açısından büyük katkılar sağlayacaktır.

2.4. Erken Tanılama Alanında Nesnelere İnterneti Uygulamaları

Dünyada görülen ölümlerin büyük bir kısmının altında yatan sebep olarak kronik hastalıklar görülmektedir. Sağlık bilişimi olanaklarının artışı ve verimlilik çabalarına rağmen, kronik hastalıkların görülmesinde artışa paralel olarak sağlık hizmetlerinde maliyet artışı önle-

memektedir. Dünyada ve Türkiye’de yaşlı nüfusun artışı ile birlikte kronik hastalıkların artış göstermesi, sağlık hizmetine daha fazla ihtiyaç duyan insan sayısının artması, yaşlı ve engelli bireylerin evde bakım hizmetlerine ihtiyacı, coğrafi uzaklıklardan dolayı sağlık hizmetlerine ulaşım sorunları erken teşhiste uzaktan hasta yönetimi ve sağlıkta nesnelere interneti sistemlerinin uygulama alanını arttırmaktadır. Her yaşta görülebilen, toplum sağlığı sorunu oluşturan diyabet, hiperlipidemi, obezite, hipertansiyon, iskemik kalp hastalıkları (enfarktüs), kalp yetmezliği, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA), neoplastik hastalıklar (kanser), psikiyatrik hastalıklar, otizm, nörodejeneratif hastalıklar (Parkinson, Alzheimer Hastalığı) ve diğer kas-iskelet hastalıkları gibi kronik hastalıkların erken dönemde tanılması ve gerektiğinde tedavilerine yönelik yeni teknolojik olanaklarla desteklenen modeller gündeme gelmektedir (Basatneh, 2018, Mamun 2019).

Abilify Mycite isimli ilk dijital hap, hastanın vücuduna entegre edilen bir yama (giyilebilir teknoloji) ile sindirilebilir sensörler üzerinden haberleşebilmektedir (Rosenbaum, 2018). Hap, silikon, bakır ve magnezyumdan yapılmış çok küçük sensörlere sahiptir ve mide asidi ile temas ettiğinde etkinleşmektedir. Vücuda takılan yama sensörlerden gelen bilgiyi alarak *bluetooth* bağlantısıyla akıllı telefon uygulamasına göndermektedir. Yama ayrıca kalp atış hızı, uyku düzeni gibi diğer bilgileride ölçümlemekte ve tüm verileri analiz için sunucuya göndermektedir. Toplanan bu veri ve bilgiler hastanın izin verdiği doktor ya da yakınlarıyla paylaşılmaktadır.

Gastrointestinal sistem hastalıklarında, özellikle malign hastalıkların tanısında kullanılmaya başlanan kapsül endoskopisi, 1x3 cm ebadında, 4 gram ağırlığında ve içinde bir mikroçip veya mini-kamera olan bir kapsülün yutulması ile saniyede iki kez görüntü alımı ve mikroçipin elde ettiği dijital görüntü verilerinin nesnelere interneti aktarımı aracılığıyla yapılmaktadır (Cobrin, 2006).

Nesnelere internetinin de dahil olduğu sağlık sistemlerinin ürettiği büyük verinin işlenmesiyle kronik hastalığa sahip bireylerin geçmişe dönük tıbbi bilgileri daha iyi analiz edilebilmektedir. Bu analizler makine öğrenmesi ve yapay zeka uygulamaları ile karşılaştırma yapmaya olanak sağlamakta ve benzer vakalarda çok daha hızlı teşhis konulmasına yardımcı olmaktadır. Hastanın biyokimya, görüntüleme gibi tıbbi sonuçlarının gerçek zamanlı işlenebilmesi erken teşhisin çok önemli olduğu hastalıklarda tedavi süreçlerine olumlu yönde etki etmektedir.

2.5. Klinik Karar Desteği Alanında Nesnelere İnterneti Uygulamaları

Klinik karar destek sistemleri, sağlık personellerinin vereceği klinik kararlarda destek sağlayan bilgisayar yazılımlarıdır. Nesnelere interneti sistemiyle, sağlık kurumlarının kendi alt sistemlerin birbirleriyle haberleşebilmesi mümkün hale gelmiştir. Her sistem, her tıbbi cihaz

veri üretmekte ve bu veriler bireye özgü hastalıkların tespit edilmesinde biraraya getirilerek bir sonuca varılmaktadır. Sistemlerin ve cihazların ürettiği bu verilerin ve ayrıca bireyin yaşı, kökeni gibi kişisel verilerinin analiz edilmesiyle hastalıkların hangi verilere bağlı ortaya çıktığıyla ilgili öngöründe bulunabilmektedir. Klinik karar destek sistemlerinin bu verileri analiz edebileceği tam entegre bir sistemde sağlık personellerinin çok daha hızlı ve doğru karar verebilmeleri sağlanabilmektedir.

2.6. Tedavi Alanında Nesnelere İnterneti Uygulamaları

Teknoloji ve tıp biliminde yaşanan gelişmeler, birer açık sistem olan hastaneleri hızla değiştirerek önemini arttırmıştır. Daha fazla işlevsellik kazanan hastaneler, ülkenin sağlık harcamalarının büyük bir kısmının gerçekleştiği sosyo-ekonomik kurumlar olması nedeniyle daha fazla önem kazanmıştır. Hastaneler esasen sağlık hizmeti sunmak üzere örgütlenmiş kurumlardır. Tıbbi kuruluş özelliği gösteren hastaneler, çok farklı nitelikte girdilerin kullanılması ile sağlık hizmeti üretme rolünün yanında diğer birçok sosyal rolü de üstlenmektedir. Hastanenin girdileri, insan gücü, hasta, malzeme, teknoloji, bilgi ve sermaye, çıktıları ise, hasta ve hastalıkların tedavi edilmesi, toplum sağlığının yükseltilmesine katkı, eğitim ve araştırma faaliyetlerini yürütülmesidir. Girdilerin çıktılarına dönüşmesini sağlayan süreçler ise, hastane yönetiminin planlama, organizasyon, koordinasyon, yürütme ve kontrol fonksiyonlarından oluşmaktadır. Dijital hastane teknolojileri ve nesnelere interneti teknolojisi, çeşitli yönetim ve hizmet alanlarını içinde toplayan sağlık kuruluşlarında tıbbi süreçlere ve üretilen sağlık hizmetlerine verimlilik ve kalite artışı yönünden katkı sağlayacaktır.

Yeni geliştirilen uzaktan takip sistemlerinin çoğalmasıyla birlikte, sağlık sisteminde karşılaşılmakta olan personel yetersizliği, hastanelerdeki yatak sayısının yetersiz olması ve artan maliyetler gibi sorunların azalması hedeflenmektedir.

Bu projelerde geliştirilen sistem ile hastanın yakınında olan hareket algılayıcı sensör devresi, hastanın belirlenen zaman aralığında, belirli bir süre hareketsiz kalması durumunda ilgili kişi ya da kurumlara cep telefonu aracılığıyla acil durum mesajı yollayarak bilgilendirme yapmakta ve böylece hastaya müdahale zamanını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

2.6.1. İlaç Tedavisi Takibi

Hastalıkların tedavisinde ilaçların doğru kullanımı ve düzgün dozlarda kullanıldığının kontrol edilmesi önemlidir. Nesnelere interneti temelli sistemler bu alanda çalışmalara örnek olmaktadır.

Bu konuda yapılan çalışmalardan biri nesnelere interneti temelli hap kutularıdır (Minaam ve Abd-ELfattah, 2018). Geliştirilen bu uygulamada ilaç kutularına algılama ve haberleşme yetene-

ği kazandırılmıştır. Kablosuz ağa bağlanma özelliği olan ilaç kutuları alınması gereken dozda ve zamanında ilaç alınmadığında hastaya mesaj ve uyarı göndererek ilaç alım takibini yapmaktadır. Bir uygulamayla haberleşebilen bu hap kutuları kişi ilaçlarını almadığında hem ilacını alması gereken kişiye hemde belirlenen diğer kişilere bildirim yollayabilmektedir. Haberleşme yeteneği kazanan ilaç kutusu üzerinde bulunan sensörlerle ilacın alınması gereken zamanda alınmadığını tespit etmekte ve durumu ağ üzerinden uyarı verecek sunucuya göndermektedir. Bu uygulamayla hastanın ilacını almayı unutmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Hastanelerde klinikte yatırılan hastaya infüzyon cihazları ile verilen serumların izlenerek, serum bittiğinde hemşire yönetim sistemine uyarı gönderilmesi, hastanın fiziksel değerleri kontrol edilerek gerektiğinde sistemin hastaya ilaç enjekte etmeye karar vererek ilaç pompalarını harekete geçirmesi ve uzaktan sağlık verilerinin toplanması gibi çok çeşitli alanlarda çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır (Nalajala ve Lakshmi, 2018).

2.6.2. Yapay Zekâ Destekli Robotik Cerrahi

Robotlar cerrahlara yardımcı olmak için geliştirilmiş asistanlardır; en fazla üroloji ve jinekoloji ameliyatları olmak üzere genel cerrahi, obezite cerrahisi, çocuk cerrahisi, kulak-burun-boğaz cerrahisi, göğüs cerrahisi, kalp cerrahisi, beyin cerrahisi ve ortopedi ameliyatlarında kullanılmaktadır. Robotik cerrahi endoskopik ve minimal invaziv cerrahinin görüntü teknolojilerinin, internet ortamında görüntü ve komut aktaran bilgisayar yazılımlarıyla geliştirilmiş şeklidir (Bozbuğa, 2019). Robotik sistem, cerrahın tüm el hareketlerinin, hastanın vücut boşluğuna çok küçük kesilerden yerleştirilen robot kollarına monte edilmiş enstrümanlara, 3-boyutlu görüntü altında iletilmesi ile çalışan enformatik sistemdir. Sistem cerrah görüşünü sağlayan yüksek çözünürlüklü 3-boyutlu kamera ile cerrah manüplasyonunu uç kısmında mikroenstrümanlara ileten kollar olmak üzere 4 robotik koldan oluşmuştur. Robotik cerrahi ameliyatlarda derin alanlara kolay erişim, daha küçük kesi, ameliyat sonrası daha az ağrı, hızlı iyileşme avantajlarının yanı sıra, sınırlı ameliyat izi ve estetik kaygılarla tercih edilmektedir. Robotik cerrahide cerrah, steril ameliyat kıyafeti ve steril eldiven giyinmiş olma koşulu olmaksızın, bizzat aletleri tutmak ve çıplak gözle görmek yerine, ameliyathanede hastanın yanında bulunan robot kumanda konsolundan işlem yapmaktadır. Hastanın vücut boşluğuna yerleştirilmiş iki ışık kaynağının tek bir üniteye birleştirilmesiyle oluşturulan 12 mm'lik bir endoskop kullanımı ile 16 kat büyütme altında ve yüksek çözünürlüklü derinlik algısı sağlayan binoküler, gerçek zamanlı üç boyutlu görüntü eşliğinde cerrahi girişimler için gerekli olan komutları tam olarak yerine getirebilen el bileğini model alan robot kollarını kullanarak ameliyat cerrah tarafından gerçekleştirilir. El bileğinin hareketleri taklit edilecek şekilde tasarlanmış, 540 derece dönebilme özelliğiyle ileri derecede hareket yeteneğine sahip interaktif robot kolları cerrahın hedeflediği hareketleri eksiksiz olarak ameliyat alanına iletir.

Son yıllarda, geçmiş ameliyatlardaki verileri analiz ederek tavsiyelerde bulunan, bir başka deyişle gerçek zamanlı olarak diğer sistemlerle konuşarak öneriler sunan, birden çok sensörü kullanarak sanal gerçeklik ortamında modelleme yaparak farkındalığı arttıran cerrahi robotlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Nesnelerin interneti ayrıca robotik alanıyla ilgili çalışmalar üzerinde de kullanılmakta olup cerrahi robotların verileri bulut üzerinde analiz etmesi ve öneriler sunması üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Böylelikle yorgunluk kaynaklı insan hataları azaltılabilmekte ve sistemlerin sanal ortamda konuşmasıyla hızlıca geçmiş çalışmalar taranarak faydalı öneriler sunulabilmektedir.

2.7. Tedavi Sonrası İzlem Alanında Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

Sağlık alanında geliştirilen takip sistemleri sayesinde hastaların hastaneye olan bağımlılığı büyük ölçüde azalmakta, evlerinde normal yaşam süreçlerine devam edebilmektedirler. Böylece hastanelerde yaşanan yoğunluk azalmakta, yetersiz personel ve yatak sayıları, hastane enfeksiyonları gibi sorunların önüne geçilebilmektedir. Aynı zamanda hastane masrafları kontrol edilebilmektedir.

Tedavi sonrasında izlenmesi gereken hastaların belirli aralıklarla sağlık kuruluşlarına gitmesi ve belli ölçümlerin yapılması gerekebilmektedir. Bazı durumlarda uzun vadeli ölçümlerin sağlanabilmesi doğru ve uygun kararların verilmesi için önemlidir. Gelişen teknolojiyle beraber uzaktan ölçüm yapabilen ve bu ölçümleri yetkileri dahilinde hekimlerle paylaşabilen sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Tansiyon, şeker ölçüm cihazları, pedometre ve akıllı tartı gibi cihazlar ölçüm sonrası bu verileri aktarabilme yeteneklerine sahiptirler.

Kablosuz sensör ağları uygulamaları ile hastanın sağlık durumu anlık takip edilerek, uzun süreli izleme gerektiren hastalıkların takibinin yapılması, acil durum müdahaleleri ve rehabilitasyon sürecine destek olunması gibi kolaylıklar sağlanabilmektedir. Akıllı giyilebilir hasta takip sistemleri, bireye bağlı çeşitli fiziksel ölçümleri yapabilen ve bu bilgileri haberleşme kanallarıyla diğer sistemlere aktarabilen teknolojilerdir. Son yıllarda sayıları artmakta olan bu ufak cihazlar sensörleri yardımıyla EKG çekiminden tansiyon ölçümüne, kalp atış hızından uyku kalitesinin ölçülebilmesine kadar birçok alanda kullanılabilmektedir. Hastanın üzerine yerleştirilmiş akıllı sensör düğümleri vasıtasıyla kalp atış hızı ve kalp düzensizlikleri ile ilgili, özellikle kalp pili takılan hastalarda önemli bilgilerin alınarak, sağlık personelinin müdahalesinden önce tedavi hazırlığı için kolaylık sağlayan kardiyovasküler hastalık takip uygulamaları yapılabilmektedir (Jusak, 2016). Diyabetli hastalara monte edilmiş sensör yardımıyla glukoz seviyesinin ölçülerek, gerekli anlarda insülin enjekte edilebilmektedir (Saravanan, 2017). Acil durumlarda ambulans yönlendirme, evden vital parametrelerin sağlık merkezle-

rine iletilmesi ve bu verilerin uzak sunucularda depolanarak ve geçmişe dönük olarak analiz edilmesi gibi imkanları sağlamaktadır. Böylece hekimler uzun süreli verileri görebilmekte ve hastalığın seyriyle ilgili ileriye dönük fikirler edinebilmektedirler.

2.8. Uzaktan Önleyici ve Tamamlayıcı Sağlık Hizmetleri

Nesnelerin interneti destekli teletıp hizmetleri, hastaların hastane dışında izlenmesini olanaklı kılarak, hayatlarını kolaylaştırmaktadır. Toplumdaki yaşlı ve engelli bireylerin sağlık kurumlarına gitmesi ve sağlık hizmetlerinden faydalanabilmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Özellikle yaşlı ve engelli hastalar için geliştirilen uzaktan takip sistemleri sayesinde sağlık sistemleri, hastane merkezli olmaktan çıkarak, hasta merkezli sağlık hizmetlerine dönüşmektedir.

Evde yalnız yaşayan yaşlı bireylerin takibi önemlidir; ev ortamı, özellikle yaşlılar için hasta güvenliği ile ilgili önemli riskler barındırabilir. Güvenlik tehlikelerini azaltmak için önleyici stratejiler arasında nesneleri interneti tabanlı uyarı sistemleri önemli yer tutmaktadır. Yaşlılar yataklarından kalkmaya çalışırken düşme ya da istenmeyen başka durumlar yaşayabilmektedirler. Yaşlıların düştüğünü ya da yaşamsal faaliyetlerinin yavaşladığını algılayan giyilebilir teknolojiler sayesinde toplumdaki bireylerin daha güvende hissetmesini sağlayan sistemlerin gün geçtikçe kullanımı artmaktadır.

Ortalama yaşam süresinde ve kronik hastalıklardaki artış, hastaların daha erken taburcu edilmesi ve hastaların evde bakım almayı tercih etmesi gibi nedenler evde bakım gereksinimini artırmaktadır. Bu nedenle, evde sağlık hizmetleri talebin hızla arttığı alanlardan biri haline gelmiştir. Evde bakım alan hastalarda bütüncül hasta bakım yaklaşımının uygulanamaması sorunlara neden olabilirken, evde bakıma geçişteki artış, hasta güvenliği ile ilgili endişeleri de beraberinde getirir. Bu tür endişelerin önüne geçmek için yaşlıların, hastaların yataklarında yatıp yatmadığı ya da kalkmaya çalışıp çalışmadığını algılayabilen nesnelerin interneti tabanlı akıllı yataklar kullanılmaktadır. Sensörlerle donatılmış bu yataklar, yangın söndürücülerin ve karbon monoksit ve duman dedektörlerinin sistemlerine veri gönderebilmekte ve istenmeyen bir durum oluştuğunda ilgili birimleri uyarabilmektedirler.

Alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıklara sahip kişiler ani unutkanlıklar yaşayabilmekte ve kaybolma vakaları yaşanabilmektedir. Alzheimer hastaları için akıllı uzaktan izleme sistemi tasarlarken *IoT* ve *RFID* teknolojilerinden yararlanılmıştır. Sıklıkla görünen bu sorunun çözümü için çeşitli cihazlar yardımıyla takip sistemleri geliştirilmiştir. Hastaya bağlı bir cihaz önceden belirlenmiş bir alanın dışına çıktığında konum bilgisini hasta yakınlarıyla paylaşabilmektedir. Akıllı çorap isminde bir ürün alt kısmına yerleştirilmiş giyilebilir sensörler sayesinde adım atıl-

dığında konum bilgisini gerektiği takdirde incelenmek üzere uzak bir sunucuya göndermektedir. Nesnelerin interneti teknolojiyle hastanın gerçek zamanlı konum bilgisinin sensörler yardımıyla paylaşılması sayesinde bu tür dejeneratif hastalıklara sahip kişilerin yaşadıkları kaybolma vakaları azalmaktadır (Shaikh ve diğerleri, 2017). Geliştirilmiş olan bu uygulamalar Alzheimer hastalarının ve yakınlarının çok daha güvende hissetmelerini sağlamıştır.

Kalp ritmi, kan basıncı, solunum paterni, kan biyokimyasal değerleri, stres seviyesi gibi fiziksel değerleri ölçerek uzak bir sunucuya yollayabilen biyosensörler ve/veya giyilebilir teknolojiler alanında çalışma yapılmaktadır (Wang 2019). Bu ölçümler kişinin doktoruyla veya aile bireyleriyle paylaşılabilen ve istenmeyen bir durumun belirlenmesine, gerekli tıbbi müdahalelerin yapılmasına yardımcı olabilmektedir.

Aynı zamanda denizcilik sektöründe çalışan ve uzun süre denizlerde çalışan insanların sağlık kurumlarına gitmesi ancak limana yanaştıklarında mümkün olmaktadır. Sağlık kurumlarına gitmesi buldukları şartlardan ötürü zor olan insanlar için nesnelerin interneti temelli sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Hossain ve diğerleri, 2017).

Yaşamsal faaliyetleri ölçmeye yarayan sensörler çeşitlendikçe ve boyutları küçülerek giyilebilir hale geldikçe uzaktan önleyici ve tamamlayıcı sağlık hizmetleri için sağlık kuruluşlarına gitmeye gerek kalmaması mümkün hale gelebilir. Böylece zaman ve kaynak tasarrufu sağlanarak maliyetlerin düşmesi ve bireylerin yaşam kalitesinin artması sağlanabilir.

3. Sağlıkta Nesnelerin İnterneti ve Güvenlik

Hasta takip cihazları, görüntüleme cihazları, tahlil cihazları, hasta takip monitörleri, ilaç pompaları gibi hastane içi kullanılan cihazlar ile giyilebilir medikal cihazlar internet üzerinden haberleşmeleri sırasında siber saldırılara maruz kalma riski taşımaktadır (Huraizah, 2019). Tıbbi cihazların güncelleme alamaması ya da güncellemenin donanım yazılımında değişiklik yapmayı gerektirmesi gibi sorunların yanı sıra cihazların çeşitliliği ve sayıca fazlalığı çok geniş saldırı yüzeyi oluşturmaktadır. Sağlık alanında nesnelerin internetinin kullanıldığı giyilebilir cihazların üzerinde *bluetooth*, *zigbee* vb. kablosuz protokollerde, güvenlik zafiyetleri nedeniyle milyonlarca giyilebilir medikal cihazı tehdit altında bırakabilmektedir (Alsubaei, 2019).

Bilgi teknolojileri ortamlarındaki siber güvenlik olaylarının etkisi veri kaybı, mahremiyet ihlalleri, ekonomik sonuçlar gibi etkilerle sınırlı iken, nesnelerin interneti dünyasındaki güvenlik açıkları fiziksel zararlara yol açabilmektedir. Ancak, durması, hatta ara verilmesi bile yaşamsal risklere yol açan görüntüleme cihazları, kalp pili, hasta takip sistemleri, infüzyon pompaları vb.

gibi medikal cihaz ve ekipmanlarda ortaya çıkabilecek güvenlik zafiyetleri, tıbbi nesnelerin interneti uygulamasına dahil cihazları özel bir güvenlik kategorisinde düşünmeyi zorunlu kılmaktadır.

4. Sonuç

Nesnelerin interneti teknolojisinin sağlık kurumlarında kullanımı, iş süreçlerinin hızlanması ve insan kaynaklı hataların azaltılmasını sağlamaktadır. Sağlık hizmetleri, zaman ve kaynak yönetiminin etkili kullanılmasını gerektiren alanların başında gelmektedir. Sağlıkta nesnelerin internetiyle sağlık kurumlarında insanlar tarafından yönetilen çoğu iş süreci birbirleriyle haberleşebilen ve algılama yeteneği olan cihazlar sayesinde otomatik bir şekilde, insan müdahalesine gerek kalmaksızın *IoMT* uyumlu cihazlar tarafından yürütülebilmektedir. Yapılan çalışmalar sağlık kurumlarının dijital dönüşüm süreçlerinin hızlanmasını sağlamakta, zaman ve kaynak yönetiminin etkili bir biçimde yapılmasına fırsat vermektedir. Sağlık hizmetlerinin dijitalleştirilmesi ve *IoMT* uygulamalarından, küresel boyutta artan sağlık hizmeti talebini ve artan sağlık harcamalarını azaltma ya da artışına engel olma yönünde katkı beklenmektedir. Dijital hastane teknolojileri, çeşitli yönetim ve hizmet alanlarını içinde toplayan sağlık kuruluşlarında tıbbi süreçlere ve üretilen sağlık hizmetlerine verimlilik ve kalite artışı yönünden katkı sağlayacaktır. Tüm tıbbi nesnelere akan veriler büyük veriyi oluşturmaktadır. Büyük verinin analiz edilmesi, yapay zeka ve makine öğrenmesiyle, sağlık alanında kullanılabilir yapılandırılmış bilgiye erişilebilmektedir. Ulusal çapta eksikliklerin belirlenmesinde, geleceğe dönük planlamalar yapılmasında, yardımcı klinik karar destek sistemlerinde, envanter takibinin doğru ve hızlı yapılabilmesinde nesnelerin interneti temelli sistemlerin oluşturacağı verilerin önemi çok büyüktür.

Kaynakça / References

- Acar, A.Z., Bozaykut, T.B. (2017). Türk Sağlık Sektöründe Tedarik Zinciri Yönetimine Genel Bir Bakış, *İşletme & Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 6 (5), 13-27.
- Al Brashdi ZS, Hussain SZ, Yosof KM, Hussain SA, Singh AV. (2018). IoT based Health Monitoring System for Critical Patients and Communication through Think Speak Cloud Platform. *Reliability Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO) 2018 7th International Conference on*, pp. 652-658.
- Alqahtani, F.H. (2018). The Application of the Internet of Things in Healthcare, *International Journal of Computer Applications*, 180 (18), 19-23.
- Alsubaei F, Abuhussein A, Shiva S. (2019). Ontology-Based Security Recommendation for the Internet of Medical Things. *Access IEEE* 7: 48948-48960.
- Andrews A. Serious games for psychological health education. (2011). In: Shumaker R, editor. Virtual and Mixed Reality – Systems and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer; 3-10.
- Avaner, T., Avaner, E., (2018), “Yazılım Teknolojileri ve Sağlık Yönetimi: HIMSS ya da Dijital Hastane Hizmetleri Üzerine Bir Değerlendirme”, *Yasama Dergisi*, 37, 5-28.
- Basatneh, R., Najafi, B., & Armstrong, D. G. (2018). Health Sensors, Smart Home Devices, and the Internet of Medical Things: An Opportunity for Dramatic Improvement in Care for the Lower Extremity Complications of Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology* 12(3): 577-586.

- Bozbuğa N. (2019). Robotik Cerrahide Kullanılan Tıbbi Cihaz ve Malzemeler. Tıbbi Cihaz ve Malzemeler (Bozbuğa N, Yakıncı C eds). İnönü Üniversitesi Yayınları, pp: 215-218.
- Budak, E., Topal, A. (2018), Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Bölümü Öğrencilerinin Bilgisayara Karşı Tutumları ve Bilgisayar Okuryazarlığı Becerilerinin İncelenmesi, *Online Academic Journal of Information Technology*, 9(33): 193-208.
- Bulut, Y. (2011). Biyosensörlerin Tanımı ve Biyosensörlere Genel Bakış. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, pp.98-101.
- Chiuchisan I, Costin H, Geman O. (2014). Adopting the Internet of Things Technologies in Health Care Systems, *2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, 16-18 Ekim 2014 Yaş/Romanya, New Jersey, IEEE, ISBN: 978-1-4799-5849-8, 532-535.
- Cobrin GM, Pittman RH, Lewis BS. (2006). Increased diagnostic yield of small bowel tumors with capsule endoscopy. *Cancer* 107(1): 22.
- Çimen, M. (2010). Sağlık Yönetimi ve Sağlık Yönetim Eğitimi, *Actbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1 (3), 136-139.
- Etges APBS, Souza JS, Neto Francisco J, Felix EA. (2019). A Proposed Enterprise Risk Management Model For Health Organizations. *Journal of Risk Research* 22(4): 513-531.
- Gatouillat A, Badr Y, Massot B, Sejdić E. (2018). Internet of Medical Things: A Review of Recent Contributions Dealing With Cyber-Physical Systems in Medicine. *IEEE Internet of Things Journal* 5(5): 3810-3822.
- Hossain M., Islam S.M.R., Ali F., Kwak K., Hasan R. (2017). An Internet of Things-based Health Prescription Assistant and Its Security System Design, *Future Generation Computer Systems* (82): 422-439.
- Huraizah Z, Azaliah N, Hafizah N, et al. (2019). IoT security risk management model for secured. *Practice in Healthcare Environment* 161: 1241-1248.
- Irfan M, Ahmad N. (2018). Internet of medical things: Architectural model, motivational factors and impediments. *15th Learning and Technology Conference (L&T)*, Jeddah, pp. 6-13.
- Jaisree, K., Sharmila, J., Jeevitha, J., Chandrakala K.R.S. (2017). Smart Hospitals Using Internet of Things (IoT), *International Journal of Trendy research in Engineering and Technology*, 1(3): 1-3.
- Joyia DGJ, Liaqat RM, Farooq A, Rehman S. (2017). Internet of Medical Things (IOMT): Applications, Benefits and Future Challenges in Healthcare. *Journal of Communications* 12(4): 240-247.
- Jusak J, H. Pratikno H, Putra VH. (2016). Internet of Medical Things for cardiac monitoring: Paving the way to 5G mobile networks. *2016 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, Surabaya, pp. 75-79.
- Kanase, P., Gaikwad, S. (2016). Smart Hospitals Using Internet of Things (IoT), *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6 (7), 1220-1223.
- Limon, S. (2019), Hastanelerdeki Tıbbi Dokümanların Geleneksel Ortamdan Elektronik Ortama Dönüşümü, *İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi*, 1 (1), 30-39.
- Magsi H, Sodhro AH, Chachar FA, Abro SAK, Sodhro GH, Pirbhulal S. (2018). Evolution of 5G in Internet of medical things. *2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, Sukkur: pp. 1-7.
- Minaam, D.S.A., Abd-ELfattah, M. (2018). Smart drugs:Improving healthcare using Smart Pill Box for Medicine Reminder and Monitoring System, *Future Computing and Informatics Journal*, 3 (2): 443-456.
- Nalajala, P., Lakshmi, S.B. (2018). A Secured IoT Based Advanced Health Care System for Medical Field using Sensor Network, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2): 105-108.
- Paiva, S., Brito, D., Leiva-Marcon, L. (2018). Real Time Location Systems Adoption in Hospitals - A Review and A Case Study for Locating Assets, *Acta Scientific Medical Sciences*, 2 (7), 2-17.
- Rosenbaum, L. (2018). Swallowing a Spy - The Potential Uses of Digital Adherence Monitoring. *The New England Journal of Medicine* 378(2): 102-103.

- Qureshi F, Krishnan S. (2018). Wearable Hardware Design for the Internet of Medical Things (IoMT). *Sensors* 18, 3812.
- Saravanan M, Shubha R, Marks AM, Iyer V. (2017). SMEAD: A secured mobile enabled assisting device for diabetics monitoring”, *Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS) 2017 IEEE International Conference on*, pp. 1-6.
- Shaikh, A.A., Gupta, N.S., Khan, A.D.M., Artist, H.T., (2017). Android and Internet of Things (IOT) Based Alzheimer Care/Rehabilitation System to Monitor and Progress Patient Health Condition, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* 5 (3): 5531-5539.
- Selvaraj, N. (2014). Long-term Remote Monitoring of Vital Signs using a Wireless Patch Sensor, *2014 IEEE Healthcare Innovation Conference (HIC)*, Seattle, WA, 2014, pp. 83-86.
- Strauss RW, Garmel GM, Halterman MK. (2014). Conflict Management. In: Strauss & Mayer’s Emergency Department Management, by McGraw-Hill Education, 44-52.
- Tüylek, Z. (2017). Biyosensörler ve Nanoteknolojik Etkileşim, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 71-80.
- Ullah H, Nair NG, Moore A, Nugent C, Muschamp P, Cuevas M. (2019). 5G Communication: An Overview of Vehicle-to-Everything Drones and Healthcare Use-Cases, *Access IEEE* 7; 37251-37268.
- Wang , Huang X, Tang SY, Shi GM, Ma X, Guo J. (2019). Blood Triglyceride Monitoring With Smartphone as Electrochemical Analyzer for Cardiovascular Disease Prevention. *Biomedical and Health Informatics IEEE Journal of*. 23(1): 66-71.
- World Health Organization. (2006). Communicable disease surveillance and response systems guide to monitoring and evaluating. Lyon; 25-29.
- World Health Organization. (2011). Transformative scale up of health professional education: an effort to increase the numbers of health professionals and to strengthen their impact on population health.

