



POLİTEKNİK DERGİSİ JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti

Internet of things in smart and conventional wearable healthcare devices

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan ÖCAL¹, İ. Alper DOĞRU², Necaattin BARIŞÇI³

ORCID¹: 0000-0002-8061-8059

ORCID²: 0000-0001-9324-7157

ORCID³: 0000-0002-8762-5091

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öcal H., Doğru İ. A. ve Barışçı N., “Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 695-714, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.450290

Akıllı ve Geleneksel Giyilebilir Sağlık Cihazlarında Nesnelerin İnterneti

Derleme Makalesi / Review Article

Hakan ÖCAL*, **İ. Alper DOĞRU**, **Necaattin BARIŞCI**

¹Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received: 03.05.2018; Kabul/Accepted: 27.06.2018)

ÖZ

İnternetin 1990'lı yılların sonuna doğru insanların yaşamına girmesi ile dünyanın herhangi bir yerindeki bir cihazla başka bir cihazın birbirleriyle iletişim kurması mümkün hale gelmiştir. İnternet teknolojisinin 2000'li yılların başında olağanüstü gelişimini akıllı mobil teknolojilerinin (akıllı telefon, saat, gözlük ve diğer düşük güçlü giyilebilir ve takılabilir cihazlar) büyük bir hızla gelişmesi takip etmiştir. Bu akıllı mobil teknolojilere entegre edilen sensörlerden faydalanılarak bireyin bulunduğu ortamdan birçok farklı verinin elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen bu veriler, kablolu veya kablosuz olarak internet yoluyla bir merkezde toplanıp, incelenip, analiz edilmiştir. Bu sayede cihaza sahip kişi veya cihazın bulunduğu ortam hakkında çeşitli bilgilere kısa sürede ulaşılmıştır. Yaşanan bu gelişmeler internet üzerinden nesnelerin birbiriyle haberleşmesi(IoT) fenomenini ortaya çıkarmıştır. IoT ile ilgili çok kapsamlı araştırmalar ve uygulamalar günümüzde çeşitli alanlarda devam etmektedir. IoT' un en çok kullanıldığı alanlardan birisi de sağlık hizmetleri alanıdır. Hastalıkların doğru teşhisi, tedavisi ve takibinde özellikle hastanın hastane dışındaki günlük yaşantısından alınacak veriler büyük bir önem taşımaktadır. Bu verileri elde etmenin en iyi yolu IoT giyilebilir veya takılabilir sağlık cihazlarını kullanmaktır. Bu çalışmanın amacı, şimdiye kadar yapılan IoT tabanlı geleneksel ve akıllı sistem olarak yapılan giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazı uygulamalarından elde edilen bulguları özetlemektir. Bu bulgular ışığında da IoT tabanlı uygulamaların geleceği hakkında temel sorunları ele alarak çeşitli öneriler getirmektedir.

Anahtar Kelimeler: IoT, sağlık hizmetleri, giyilebilir ve takılabilir cihazlar, body sensörler, derin öğrenme.

Internet of Things in Smart and Conventional Wearable Healthcare Devices

ABSTRACT

With the Internet entering the lives of people towards the end of the 1990s, it became possible for devices anywhere in the world to communicate with each other. At the beginning of the 2000s, Internet technology was followed by the rapidly development of smart mobile technology. By using the sensors integrated in these intelligent mobile technologies, it was possible to obtain many different data from the environment of the individual. The data that obtained via wired or wireless internet then collected and analyzed by a center. In this way, various information about the environment in which the person or device is located and can be reached in a short time. These developments reveal the phenomenon that things communicate with each other over the internet. Extensive research and applications related to IoT are currently underway in various fields. One of the most used areas of IoT is health care. In diagnosis, treatment and follow-up of the diseases, especially the daily life of the patient outside the hospital is of great importance. The best way to obtain this data is to use IoT wearable or implantable healthcare devices. The aim of this study is to summarize the findings obtained from wearable and implantable health device applications made as conventional and intelligent system based on IoT up to now. In the light of these findings, we will introduce various proposals by addressing the fundamental problems of the future of IoT-based applications.

Keywords: IoT, healthcare, wearable and implantable devices, body sensors, deep learning.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyanın nüfusu, dünyanın birçok bölgesindeki düşük doğum oranları nedeniyle ve gelişen teknolojiyle birlikte daha uzun yaşama arzusuna bağlı olarak gittikçe yaşlanarak büyümektedir. 2025 yılından 2050 yılına kadar dünya üzerindeki 65 yaş üstü nüfusun 1.6 milyara dayanacağı tahmin edilmektedir [1]. Dünya genelinde yaşlı nüfustaki bu artış ile birlikte çeşitli sağlık hizmetleri verme ile ilgili sorunların (inme, bunama, kalp krizi vb. konuda) ortaya çıkması kaçınılmazdır [2]. Bunun yanında her yaş gurubundan çeşitli sağlık sorunlarına

sahip insanların olması ve bu bireylerin hastalıklarının hastane dışında düzenli olarak takibi de diğer bir zorlu durumdur. Son zamanlarda gelişen mobil cihazlar ve sensör ağlarıyla IoT, çeşitli fiziksel ve sanal nesnelere birbirine bağlayarak dinamik bir küresel ağ altyapısı oluşturmayı amaçlamaktadır. IoT başlangıçta RFID teknolojisi aracılığıyla, internet benzeri bir yapıda benzersiz olarak tanımlanabilen nesnelere ve nesnelerin sanal temsillerini bir araya getirmektedir [3]. Business Insider'ın araştırmasına göre, 2020 yılı itibarıyla gelişen 5G teknolojisi ile birlikte 24 milyardan fazla cihaz internete bağlı hale gelmiş olacaktır. Bu durum insan başına 4' den fazla cihaz düşmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle IoT kavramının tanımı, çeşitli cihazları

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: hakan.ocal1@gazi.edu.tr

(aktüatörler, GPS cihazları, mobil cihazlar ve çeşitli sensörler vb.) kapsayacak şekilde daha çok nesneye hitap edebilmek amacıyla genişletilmiştir [3,4]. IoT tabanlı sağlık uygulamaları, potansiyel olarak uzun vadeli(hasta bakımı gerektiren), akut(hastane bakımı gerektiren) ve hastane dışında(evde vb.) gibi çeşitli ortamlarda kapsamlı hasta bakımı sağlayabilir. IoT aynı zamanda, insanları, ekipmanları, tahlil örneklerini, erzakları ve denek hayvanlarını doğru bir şekilde izleyerek yakalanan verileri analiz etme potansiyeline de sahiptir. Örneğin IoT sistemleri; bir hastane ya da evde bakım uygulamasında yeme bozukluğu (bulimia) hastalığı yaşayan bir hasta için, hastanın odasında bulunan sensörler vasıtasıyla, artmış vücut ısısı, kan basıncını ya da kusma kokusunu algılayabilir. Başka bir örnekte ise, sensörler hastanın yaptığı egzersiz faaliyetlerindeki eksiklikleri, aşırı kardiyolojik veya yürüme faaliyetlerini normal yürüme temposuyla karşılaştırarak tespit edebilir. Bu iki örnekteki elde edilen veriler kablolu veya kablosuz iletişim teknolojileri yardımıyla bir merkezde toplanıp işlenerek, hastalığın tanı ve tedavisinde sağlık sunuculara çok değerli bilgiler sağlayabilir [5]. Ayrıca bu veriler sigorta şirketleri, sağlık hizmeti sunucuları ve ilaç şirketleri tarafından incelenerek ileriye dönük çalışmalar için kullanılabilir. Buna ek olarak kişinin yaptığı fitness hareketleri sensörler tarafından algılanıp kablolu veya kablosuz ağ teknolojileri yardımıyla toplanarak bir merkezde analiz edilebilir. Analiz edilen veriler sayesinde kişinin yoğun iş temposunda vücudunu daha zinde tutabilmesi için daha doğru ve düzenli egzersiz hareketleri yapması sağlanabilir. Bireyin fitness hareketlerini yaparken vücuduna yerleştirilecek giyilebilir veya takılabilir(gözlük, dişe yerleştirilen takılabilir cihazlar veya ağız hareketlerini algılayan cihazlar vb.) bir cihaz sayesinde eş zamanlı olarak diyet durumu da kontrol edilebilir [6].

Bu makalede IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarındaki çeşitli sorunları çözmeye yönelik yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Bu gibi cihazlarda enerji verimliliği, güvenlik ve mahremiyet, cihazların birbirleriyle farklı protokoller üzerinden etkileşimi başlıca sorunlardandır. Bu cihazlarda enerji verimliliği, ortam ve diğer cihazlarla etkileşim problemleri çözmek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Fakat veri güvenliği ve mahremiyet konusu ikinci planda kalmıştır. Bu cihazlar internet veya bir ağ üzerinden birbirlerine bağlı oldukları için siber saldırılara açık olarak saldıran kişinin bu verilere ulaşmasına olanak tanıyabilmektedir. Ters Mühendisler (Reverse Engineer) güvenlik açıklarını kullanarak IoT tabanlı sistemlere girişimde (Hacking) bulunarak sistemin mimarisini, hastanın hayati bilgilerini çalabilir veya cihazın bozulmasına neden olarak hasta için hayati problemler ortaya çıkarabilir. Kullanılan geleneksel güvenlik sistemlerinin çok karmaşık hesaplama algoritmalarına sahip olması enerji verimliliğini de etkileyen sorunlarından [7]. Diğer bir sorun ise kişiye sağlık hizmetleri yönünden tedavi ve tanınmasına en uygun giyilebilir veya takılabilir cihazı sunmaktır [8].

Yukarıda bahsedilen hastalıkların vb. takibi ve bu tür cihazların sorunlarını gidermek için uygulanan çeşitli yöntemler bu makalede incelenmiştir. 2. Bölümde giyilebilir ve takılabilir cihazlar akıllı ve geleneksel tasarım yöntemlerine göre incelenmiştir. 3. bölümde bu yöntemlerin yetenekleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. 4. ve son bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. NESNELERİN İNTERNETİNE GENEL BİR BAKIŞ (A GENERAL OVERVIEW TO THE INTERNET OF THINGS)

Amerikan Federal Ticaret Komisyonu nesnelerin internetini "günlük kullanımımızda olan nesnelerin, internete bağlanıp veri gönderip alması kabiliyeti" olarak tanımlamıştır [9]. Nesnelerin interneti kavramı RFID teknolojisi ile ortaya çıkmıştır. 1991 yılında Cambridge Üniversitesi'ndeki yaklaşık 15 akademisyenin kahve makinesini görebilmek için kurduğu kameralı sistem o günün koşullarında değerlendirildiğinde ufuk açıcı bir uygulamaydı. 2001 yılına kadar kullanılan sistem, kahve makinesinin görüntüsünü dakikada üç kez bilgisayar ekranlarına gönderiyordu. Çevrimiçi ve gerçek zamanlı olması sebebiyle "nesnelerin interneti" kavramının ilk örneği olarak tarihte yerini aldı. 1999 yılında Kevin Ashton, P&G için RFID teknolojisi uygulamasının firmaya faydalarını sıraladı ve kullanılmasını önermiştir. Önerdiği sistem; "internet of things" kavramını ortaya çıkaran radyo dalgaları ve sensörlere dayalı bir küresel sistem standardı idi. Bugünün internetinde IPv4 ağ teknolojisinin makineler yoluyla insanlar arası ve insan makine arası iletişimde kullanıldığı gibi, IPv6 teknolojisi de IoT tabanlı cihazların birlikte çalışması için ayrı bir öneme sahiptir. IPv4' de bir ağ geçidi farklı cihazların protokolleri arasında dönüşüm yaparken, IPv6 ile bu durumun kalkması ve cihazların protokol sorunu olmadan birlikte çalışabilirliği hedeflenmektedir [10].

3. LİTERATÜRDEKİ İOT TABANLI GİYİLEBİLİR VE TAKILABİLİR CİHAZ UYGULAMALARI (IOT BASED WEARABLE AND IMPLANTABLE DEVICE APPLICATIONS IN THE LITERATURE)

Bu bölümde IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir cihazlar ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar ele alınmıştır. Giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarında nesnelerin internetinin temsili **Şekil 1.**' de görülmektedir. Giyilebilir cihazlar insanın omuzunda taşıyabileceği bir çanta veya kutu, giyebileceği bir kumaş, derinin üzerinde veya vücudun içine yerleştirilecek bir cihaz olabilir [11]. Literatür; IoT, giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazları, derin öğrenme, RFID, WBAN(Kablosuz vücut alan ağları), WSN(Kablosuz sensör ağları) kelimelerine göre taranmış ve bakılan 450 makaleden, makale ile alakalı olduğu tespit edilen 92 makale incelenerek kullandığı yöntem ve varsa denek veya veri setleri **Çizelge 1.**' de gösterilmiştir. Literatür taraması yapılırken amaç, akıllı ve giyilebilir sağlık cihazların avantaj ve dezavantajlarını

ortaya koyarak hangi yöntemler için, hangi sistemin uygun olduğunu belirlemektir. Bu nedenle literatür geleneksel ve akıllı giyilebilir-takılabilir cihaz uygulamaları olarak iki farklı başlık altında incelenmiştir.

A. Geleneksel Tasarım Teknikleri Kullanılarak Yapılan IoT Tabanlı Giyilebilir ve Takılabilir Cihaz Uygulamaları (IoT Based Wearable and Implantable Device Applications Made Using Traditional Design Techniques)

Bu bölümde incelenen sistemler, genel olarak bireyden bilgiyi alarak merkezdeki bir sunucuya aktaran ve böylelikle sağlık sunucuların bireyin sağlık durumu hakkında bilgi edinmesini sağlayan sistemlerdir.



Şekil 1. Giyilebilir ve Takılabilir Sağlık Cihazlarında Nesnelere İnterneti (Internet of Things in Wearable and Implantable Healthcare Devices)

1. Geleneksel IoT Tabanlı Giyilebilir Sağlık Cihazları (Traditional IOT Based Wearable Health Devices)

Khan, hastanın sağlık sunucular tarafından düzenli takibi için vücut kan basıncı, EKG işaretleri, vücut sıcaklığı, vücut hareketleri, Elektroensefalografi işaretleri (EEG) ve kandaki glukoz miktarını algılayan kablosuz IoT ve RFID tabanlı bir hasta takip sistemi tasarlamıştır. Hastadan elde edilen sensör verileri RFID teknolojisiyle akıllı telefona ve bilgisayara aktarılmaktadır. Bu cihazlar ağ geçidi olarak kullanılarak veriler internet yoluyla sağlık sunuculara (ambulans, acil servis, hastane veya sigorta şirketleri) gönderilmiştir [12].

Lebepe ve arkadaşları tarafından stres durumunu gerçek zamanlı olarak öğrenmek için çoklu vücut sensör ağı yapısı geliştirilmiştir. Bu sensör ağı ile vücut sıcaklığı, galvanik deri cevabı ve kalp atış hızı algılanarak kişinin stres durumuyla alakalı bir kestirim yapılmak istenmiştir. Alınan bilgiler bir mikrokontrolöre bağlı bluetooth vasıtasıyla telefona aktarılmıştır. Telefondaki bilgiler ise bir SAP-ERP Sunucu' daki veri tabanına kaydedilip analiz edilmiştir [13].

Majoe ve arkadaşları, bireyin depresyon durumunu ve buna bağlı mental sağlığını belirlemek için uyku

bozukluğu ve stres durumunu EKG işaretleri ve vücut hareketlerine göre ölçen 7 gün 24 saat giyilebilir akıllı bir sensör geliştirmişlerdir. Yazarlara göre tasarlanan sensör, Sensör Avrupa Birliği (OPTIMI)'nin projesinin gereksinimlerini karşılamıştır [14]. EKG donanımında Nordic nRF24LE1 mikrokontrolör ve fiziksel hareketleri algılamak için ADXL325 model 3 eksen İvmeölçer kullanılmıştır. Sistemde sensörden alınan veriler sunucuya, mikrokontrolöre entegre RF modül aracılığıyla gönderilmiştir.

Bu çalışmalarda genelde kişinin stres durumu üzerinde durulmuştur. Ancak stres, kontrol edilebilir ve sürekli olan bir vücut aktivitesidir. İnsanın öfke durumu ise anlık ortaya çıkan ve durdurulamayan yıkıcı bir durumdur [15].

Alexander ve arkadaşları, bir kol bandı ve bir android telefona dayanan hafif ağırlıklı bir taşınabilir ve temassız EKG izleme cihazı geliştirmişlerdir. Geliştirilen cihaz, bir kolluk içine gömülü kapasitif kuplajlı elektrotlar kullanılarak giysilerin elektrokardiyograf potansiyelini tespit etmiştir. Elde edilen gerçek zamanlı sinyaller daha sonra amplifikasyon ve filtreleme amacı için bir EKG sensörüne aktararak, sinyaller mikroişlemci tarafından işlenmiştir. İşlenen veriler Bluetooth 4.0 aracılığıyla görüntülemek amacıyla cep telefonlarına gönderilmiştir. Cihazın yapılan testleri sonucu sistemin uzun süreli ölçümler stabil, kolay taşınabilir ve kullanımı kolay olduğunu göstermiştir. Ayrıca sistemde hasta veya sağlık sunucular kayıtları detaylı olarak kontrol ederek kalp aktivitelerinde anormallik olup olmadığı ile ilgili bilgiye sahip olabildiği gösterilmiştir [16].

Yotha ve arkadaşları glikozun yoğunlaşması sırasında en fazla görülen hipoglisemi olayına odaklanmışlar ve sürekli olarak kan glikozunun izlenmesinin hipoglisemi riskini azaltabileceğini söylemişlerdir. Ancak glukoz testindeki invazif prosedür ve yüksek maliyetin önemli olduğunu söylemişlerdir. Yazarlar bu çalışmada, diyabet hastasında hipoglisemi sistemini ciddi hipoglisemi olayını önlemek ve kan glikozu kullanım düzeyini kontrol etmek için yeni bir sistem tasarlamışlardır. Cihazın nabız sayısı değişimi, nem değişimi ve sıcaklık değişimi deri üzerinden bir bilek bandı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak risk seviyelerine göre kayıt ve analiz için Wi-Fi-hotspot ile bağlı WiFi modülü ile kişisel bilgisayara veya akıllı telefona gönderilmiştir. Bu işlemin sonucu, serumdan alınan kan şekeri ile sıcaklık, nem ve nabız değerleri karşılaştırılarak 1 ile 3 arasında değişen hipoglisemik risk seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca tasarlanan sistem, ciddi hipoglisemiyi ölçmek için invaziv olmayan yöntemde olanak tanıdığı söylenmiştir. Wi-fi hotspot ile bağlanarak internet sitesinden, ziyaretçilerin bilgisayar ekranındaki dört farklı değerin Sıcaklık, Nem, Kalp Hızı, Risk Alarmı sonuçları gibi ölçümleri görüntüleyebildikleri söylenmiştir. Sağlık sunucuların hastanın geçmiş verilerine de ulaşabilmesi sağlanmıştır [17].

Kaplan ve arkadaşları, aile hekimliğinde, hekim başına düşen hastanın çokluğundan dolayı hekimleri, sadece

poliklinik yapmaya zorladığından ve bundan dolayı koruyucu sağlık hizmetlerini veremez hale getirdiğinden bahsetmişlerdir. Bu nedenle yazarlar, gerçek zamanlı tıbbi verilerin izlenmesi ile meydana gelebilecek rahatsızlıklara karşı erken müdahale edilmesi, doktor kontrol sayılarının azaltılması, hastane dışında da bakım ve izlemenin mümkün hale gelmesine olanak sağlayacak Aile Hekimi İzleme sistemini tasarlamışlardır. Gerçekleştirilen uygulama ile elektrik kökenli olmayan kan basıncı, nabız, şeker, SpO2 ve vücut sıcaklığı gibi fizyolojik işaretler Sağlık Bakanlığı metroloji kılavuzundaki standartlara uygun olarak iletilmiştir. EKG, EMG vb. elektrik kökenli fizyolojik işaretler de grafik olarak görüntülenmiş ve mobil cihaza iletilmiştir. Ancak bu işaretler ölçüm sisteminin ortak işaret bastırma oranının (CMRR) ve örnekleme frekansının düşük olmasından dolayı klinik bir değer taşımadığı tespit edilmiştir. Biyolojik işaretlerin ölçülmesinde Arduino Uno programlama platformu ile birlikte çalışan E-Sağlık Sensör Platformu (Arduino Health Kit) kullanılmıştır [18]. Ölçülen fizyolojik işaretler 2.4Ghz HC05 Bluetooth 2.0 modülü ile kablosuz olarak mobil uygulamaya aktarılmıştır [19].

Kang ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etmede yeni bir yaklaşım ve çözüm sunmuşlardır. Bu yaklaşımda, sensörler üzerinde bir çıkarım sistemi kullanarak verileri sadeleştirilmişler ve dolayısıyla IoT tabanlı ağ yapısında iş yükünü azaltarak verimi arttırmışlardır. Ayrıca, kalp atış hızı sensörleri için bant genişliği gereksinimlerinin azaltılması denenmiştir. Sonuç olarak kaynak kullanımında% 66 ila% 99 arasında tasarruf sağladığı gösterilmiştir. Bu çalışmada, bir kablosuz alan ağındaki (WBAN) kaynak kısıtlı sensörün aşırı yüklemeye enerji tüketiminin artacağı ve buna çözüm olarak, gereksiz işlemleri azaltmak ve kaynakları kaydetmek için bir çıkarım sistemi uygulayarak vücut sensörleri üzerinde akıllı sistemi uygulamışlardır. İstek analizi, veri işleme ve durum karar verme ile veri iletimi olmak üzere üç akıllı fonksiyon uygulanmıştır. Verileri yakalamak için hekimler tarafından hastalar için belirlenen bir veri eşiği kullanılmıştır. Deney sonuçları bu çözümün diğer yöntemlerden çok daha etkili ve etkili olduğunu göstermiştir. Orijinal veriler % 99.5'e kadar azaltılmıştır. Bununla birlikte, bu sistemin ihtiyaç duydukları verilerin detay seviyesini belirleyecek olan tıp pratisyenleri ile nasıl programlanacağı ve optimize edileceği konusunda bir tasarım sorunu açık olarak kalmıştır. Vücut sensör ağındaki (BSN) trafik yüküne göre sistemin enerji tüketimi ayarlanmıştır [20].

Benadda ve arkadaşları, Electric Imp platformunun kullanılmasına dayanan vaka çalışması sistemi önermişlerdir. Yazarlar, IoT'un büyük bir sorun olan bilgi güvenliği yönüne de eğilmişlerdir. Wi-Fi bağlantısı üzerindeki belirsizlikler, büyük bir sorun teşkil ettiği söylenmiştir. Bu nedenle, bulut bilişim teknolojilerinden yararlanan Atmel ATSHA204 kimlik doğrulaması ile güvenlik modeli sağlayan Elektrikli Imp modülleri

kullanılmıştır. Giyilebilir cihazla internet ve dolayısıyla kullanıcılar arasındaki haberleşme Electric Imp Wi-Fi modülü ile sağlanmıştır. Cortex-M3 mikroişlemci ile Imp modülünün 802.11 b / g / n Wi-Fi verici alıcı, baskılı anten, benzersiz ortam erişim kontrol adresi ve görünür ışık iletişim arabirimi gibi farklı özellikler sunduğu belirtilmiştir. Elektrik Imp modülünün, sınırsız uygulama alanı sunan, iletişim ve veri alışverişi için ayrıntılı özelliklere sahip olduğu açıktır. Özellikle insanlara bağımlı ve yaşlı insanların hareket takibinde, IoT giyilebilir cihazlarla birlikte Electric Imp modülünü kullanabilmek için sensörler ve adaptasyon devrelerinin gerekli olduğu söylenmiştir [21].

V. Jha ve arkadaşları, vücudun fizyolojik değişimleri üzerine dayanan duyu algılamının büyük bir sorun olduğunu ve bu duygulardan özellikle öfkenin sağlıklı bir yaşam için sürekli takibi gereken yıkıcı duygusal bir durum olduğunu söylemişlerdir. Yazarlara göre, öfke kontrolüyle alakalı önce geliştirilmiş bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, V. Jha ve arkadaşları insan vücudundaki çeşitli fizyolojik değişiklikleri analiz ederek insanların öfke durumunu takip eden ve bunu mobil iletişim(GSM) teknolojisi ile izleme birimine bildiren giyilebilir öfke takibi ünitesi geliştirmişlerdir. Geliştirilen cihaz, kalp atış hızı ve vücut sıcaklığını temel olarak bireyin öfke durumunu tespit eden ve yazarlar tarafından WAMS olarak isimlendirilen bir bilek bandıdır. Devrede vücut sıcaklığını algılamak için bir termistör, kalp atış hızını algılamak için nabız sensörü ve vücut hareketlerini algılamak için ise ivmeölçer (ADXL345) kullanılmıştır. İvmeölçer devrede bireyin egzersiz aktivitesiyle öfke durumunu birbirinden ayırt etmek için kullanılmıştır. Bu sistemin en önemli avantajlarından biri de ölçümlerin non-invasiv olmasıdır. Farklı kişilere göre stres durumunu değerlendirmek için cep telefonu, ortam ve kişisel özelliklerden alınan kayıtlarla çeşitli davranışsal metrikler oluşturularak stres indeksi belirlenmiştir. Stres indeksi %80 seviyesini geçtiği anda sistem alarm vermektedir [22]. Amerikan Sağlık Enstitüsü' ne göre dakikadaki kalp atış hızı 72-75 aralığında olması gerektiği söylenmiştir [23]. Tasarlanan sistemde nabız, fotoletismografi yöntemiyle algılanmıştır. Sistemi test etmek için IGDT Kadın Üniversitesi' nden 19-25 yaş arası 10 denek gönüllülük esasıyla seçilmiştir. Sonuçların ortalama %91 hassasiyetle doğru olduğu söylenmiştir [22].

Santhi ve arkadaşları, dünya genelinde birçok kadının hamilelik dönemindeki komplikasyonlar nedeniyle hayatını kaybettiğini söylemişlerdir. Hem anne, hem de bebeğin hayatı tehlikesini minimize etmek için birçok çalışmanın devam ettiğini söylemişlerdir. Komplikasyonları önlemek için annenin vücut sıcaklığı, kalp atışı ve kan basıncı değerlerini giyilebilir bir IoT tabanlı cihaz ile algılama yoluna gitmişlerdir. Sensörlerden alınan veriler giyilebilir cihazda tümleşik olarak Wi-fi modülüne sahip MSP-CC3200 mikrokontrolör kartı sayesinde yapılan ölçümler hastanın sağlık sunucularına iletilmiştir. Ölçüm verilerini sınıflandırmak için C4.5 Karar Ağacı algoritması kullanılmıştır [24].

M. Delrobaei ve arkadaşları, hastaların uzaktan takip edilememesinin, özellikle Parkinson hastaları için tedavi sürecinde gerekli müdahale yöntemlerini iyileştirmek için büyük bir sınırlama getirdiğini söylemişlerdir. Bu yüzden Parkinson hastalığının belirtilerinden olan tam vücut titremesinin, hastanın ev ortamında da takibi için IoT tabanlı giyilebilir cihaz tasarımı üzerinde durmuşlardır. Parkinson hastalığına sahip 40 birey ve 22 sağlıklı birey bu çalışmada denek olarak işe alınmıştır. Amaç atalet sensörü yardımıyla Parkinson hastası ile sağlıklı bireyi birbirinden ayıran bir giyilebilir cihaz geliştirmektir [25]. Parkinson hastası bireyi algılamada altın standart olan Birleştirilmiş Parkinson Hastalığı Derecelendirme Ölçeği (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) kullanılmıştır [26]. Tasarlanan cihaz hastanın titreme tepe değerlerini gündelik yaşamında sürekli olarak kaydederek hastaya daha sağlıklı tedavi edici müdahaleler için büyük bir avantaj sağlamıştır. Son zamanlarda, teknolojiye gelişmeler, vücut titremesi ile ilgili daha net ölçümleri almayı sağlamıştır. Parkinson hastası titremesini nesnel olarak ölçmek için çeşitli sensör sistemleri geliştirilmiştir. Bu sensör sistemleri arasında elektromiyografi (EMG), ivmeölçer, cayroskop, gonyometre (eklem hareket açıklığı ölçer) ve optik hareket yakalama sistemleri bulunmaktadır [25]. Bununla birlikte, bu yöntemlerin en büyük dezavantajı, genellikle tek bir uzvun titreşim şiddetiyle sınırlı olması, vücut titreme ölçümünün kapsamlı ve tam vücut değerlendirmesini sağlamamasıdır [27,28,29-32]. EMG sinyalleriyle yalnızca hastanın kaslarındaki kasılmalar ölçülürken, ivmeölçerde hastanın doğrusal hareketlenmesi, cayroskopta vücudun denge durumu ve gonyometrede ise yalnızca eklem açıklıkları ölçülmektedir. Bu sensörleri birleştiren atalet ölçüm ünitelerinin(IMU-Inertial Measurement Units) yeni bir yaklaşım sunduğu söylenmiştir. Atalet ölçüm üniteleri daha önceki çalışmalardan farklı olarak tüm vücuttaki titreşimleri algılamıştır [33]. Bu makalede tüm hasta vücudu titreşimlerini ölçmek ve ayrıca derin beyin uyarımı(Deep brain stimulation) uygulamasının optimizasyonu için bilgi sunulmuştur [25]. Parkinson hastalığı derecelendirme ölçeğine göre 0 seviyesi normal, 20 sayısal seviyesi en yüksek vücut titreşim seviyesidir. Katılımcılara Parkinson hastaları için kullanılan levodopa ilacı uygulanmadan ve uygulandıktan sonra oturur durumda dinlenirken ve kollar ve eller omuz hizasında 20 saniye boyunca ileriye doğru tutulmuşken katılımcıların vücut titreşim seviyesi ölçülmüştür. Titreşim şiddeti skorunun hesaplanma yöntemi (TSS), literatürde bulunan en son yapılan başarılı çalışmaların gözden geçirilmesi üzerine geliştirilmiştir [28]. M. Delrobaei ve arkadaşları filtre frekans bandını [25, 33] tarafından önerilen yöntemlere göre seçmişlerdir. Bu bandın altında yer alan izleme, PD hastalarında görülen ve levodopanin ortak yan etkisi olan diskineziyi (kontrolsüz büküm veya sarsılma hareketleri) göstermiştir. Deney esnasında hastalar vücut titreşim skoru (TSS) 2' nin üstünde olanlar (yüksek yoğunluklu titreme) ve 0 ile 2 arası olanlar(düşük yoğunluklu

titreme) olarak iki guruba ayrılmışlardır. Hesaplanan vücut titreşim skoru(TSS-Tremor severity score) ile Birleştirilmiş Parkinson hastalığı derecelendirme ölçeği(UPRDS) arasında korelasyon yapılmıştır. Deneyler sonucunda %95 korelasyon hassasiyeti sağlandığı söylenmiştir. Korelasyonlar SPSS 22.0 sürümü ile hesaplanmıştır [25].

Chen ve arkadaşları, giyilebilir sensörler kullanarak Parkinson hastalığına sahip (PD) hastalarının evde izlenmesine olanak sağlayan bir platform olan MercuryLive'ı tanıtmışlardır. MercuryLive, giyilebilir sensörler, kaynak akışlı veri toplama motoru, canlı veri akışı ve sensör verilerinin depolanması için web hizmetleri ve video konferans yeteneği ile web tabanlı bir grafik kullanıcı arayüzü istemcisinden oluşan 3 katmanlı bir yapıdan meydana getirilmiştir. Ayrıca, platformun, tremor, bradikinezi ve diskinezinin şiddetini yakalayan klinik skorları güvenilir bir şekilde tahmin etmek için sensör verilerini analiz etme yeteneğine sahip olduğu söylenmiştir. Yapılan testler, önerilen platformun hastalığın geç evrelerinde ilaçların titrasyonunu kolaylaştırmak için PD'li hastaları izlemek için uygun olduğunu göstermiştir. Merkezi sunucuda VPN, SSH, SSL güvenliklerini içeren güvenli bir yapıyla veri tabanı, web sunucu, hasta durumunu izleme için video konferans servisi, anlık veri iletimi ve veri loglama yeteneklerine sahiptir. Hastanın ana bilgisayarı ise shimmer tabanlı yazarlar tarafından geliştirilen giyilebilir BSN 802.15.4 ve hekimlere sensör düğümlerini uzaktan ayarlama imkânı sağladığı söylenmiştir. Sağlık sunucunun ana bilgisayarları ise hasta verilerini toplama, depolama ve güvenli bir şekilde sağlama, GUI ile hem görsel hem de grafiksel hasta takibi olanağı sağladığı söylenmiştir [34].

Kuusik ve arkadaşları ev kullanımı için IoT tabanlı progresif nörodegeneratif hastalığı olan ve özellikle MS(multiple sklerozis) hastalarını hedefleyen bir motor durum değerlendirme sistemi geliştirmişlerdir[35]. Sistem en az bir tane giyilebilir sensör ve uygun bir değerlendirme metodolojisinden oluşmuştur. Çalışma, evde ve hastane ortamında üç yıllık bir çalışma sırasında yürütülen çözümün ve hasta deneme sonuçlarının teknolojik uygulamasını tanımlar. Szczeşna ve arkadaşlarının 300 giyilebilir ürün üzerinde yaptığı bir çalışmaya göre, piyasada bulunan cihazların% 80'i kardiyovasküler (kalp hızı çoğunlukla) ölçümler gerçekleştirmekte ve % 20'si adım sayımları ve dinlenme zamanı gibi genel fiziksel aktiviteleri izleyebildiği belirtilmiştir [36]. Yazarlar, geliştirilebilir IoT sensör sisteminin MS hastalarındaki motor durum değişikliklerine duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Tasarlanan sistemin ev ortamında yeterince kararlı ölçüm sonuçları (<2.5σ) sağladığını ve bu nedenle motor durum değişikliklerinin uzaktan değerlendirilmesinde kullanılabileceğini söylemiştir. PND hastalarının M-değerlendirmesi, günümüzde gerekli olan nöroloğa randevu miktarını önemli ölçüde azaltabilir. M-değerlendirmesinin amacının, tam olarak değiştirilmemesi gereken klinik değerlendirmeleri tamamlamak olduğu vurgulanmalıdır. Çalışmaya, standart sapma $\sigma = 1.8$ olan

ortalama EDSS = 4.1 sakatlık skoru olan 51 bireysel MS hastası dahil edilmiştir. MS bağlamında, EDSS sakatlık skoru olan hastalar 1 (neredeyse sağlıklı) ve 8 (tekerlekli sandalye) arasında değerlendirilmiştir [37]. Sistem, Bluetooth düşük enerjili (BLE 4.0) bağlanan takılabilir IoT sensörü (ler); Giyilebilir cihazlar için bir iletişim ağ geçidi olarak Android akıllı telefon ve ham ölçüm verilerini, sinyal işleme yazılımını ve web tabanlı ön uç sistemini koruyan merkezi Linux tabanlı sunucudan oluşmuştur [36].

Huang ve Cheng, IoT ile RFID teknolojisini birleştiren medikal hemşirelik sistemi tasarlamışlardır [38]. Tasarlanan sistem Kimlik Yönetim Sistemi, Çevresel Algılama Sistemi, Biyomedikal Sistem, İlaç Sistemi ve Kişisel Yönelim Sistemi olmak üzere 5 bölüm olarak tasarlanmıştır. Hastanın bulunduğu ortamdaki veriler ZigBee ve NFC yardımıyla alınarak merkez sunucuya veya akıllı telefona gönderilmiştir [38].

Otto ve arkadaşları, hastaların günlük yaşamında sağlık durumlarını takip için kablosuz bir vücut sensör ağı mimarisi tasarlamışlardır. Sistem, vücut hareketi ve kalp aktivitesini izleyen çoklu sensör düğümlerinden, bir ağ koordinatöründen ve bir kişisel dijital asistan veya bir kişisel bilgisayarda çalışan kişisel sunucudan oluşmuştur [39].

Lukowicz ve arkadaşları yüksek riskli hastalar için AMON isimli giyilebilir bilek bandı düşüncesini ortaya atmışlardır. Cihaz hastaların nabız, kandaki oksijen miktarı ve vücut sıcaklığını algılayarak sağlık sunuculara kablosuz veri linki üzerinden iletmıştır [40].

Milenkoviç ve arkadaşları, piyasada bulunan 802.15.4 uyumlu ağ düğümlerini ve özel olarak oluşturulan hareket ve kalp etkinliği sensörlerini kullanarak hastanın sağlık durumunu izlemek için prototip bir sensör ağı tasarlamışlardır. Bu düğümlerin, hastanın sağlık durumunu izlemek için kablosuz kişisel veya vücut ağıları (WPAN'lar veya WBAN'lar) üzerinden gönderilebilen bir veya daha fazla hayati işareti algılayabilme, işleyebilme ve iletişim kurabilme yeteneğine sahip olduğunu söylemişlerdir [41].

Min Woo woo ve arkadaşları ise kişisel sağlık cihazları için makineden makineye IoT tabanlı güvenilir bir sistem önermişlerdir. Yapılan çalışmaya benzer daha önceki çalışmalardan, az sayıda çalışma, hataya dayanıklı sağlık hizmetleri verileri üzerine yoğunlaşmıştır [42]. Hataya dayanıklı IoT sistemleri üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla yönlendirme problemlerine odaklanmıştır [43-45]. [43] 'de, sağlık bakımında hataya dayanıklı ve ölçeklenebilir bir IoT mimarisi önerilmiştir. Hata toleransı, düğümler arasındaki yedek hatlar vasıtasıyla, sistem düğümleri arasındaki hatlarda hataların bulunduğu durumlarda ise bağlantıyı korumak için gelişmiş servis mekanizmaları yoluyla sağlanmıştır. IoT sistemleri için önerilen bu protokol, kaynak çifti ve hedef düğümler arasındaki hatlarda var olan arızalarda bile paketlerin başarılı bir şekilde teslim edilmesini sağlamak için önerilmiştir [36]. Otomat öğrenme ve ara katman kavramlarına dayanan önerilen yaklaşım ile iletişiminde

dinamik olarak en uygun yolun seçilmesi sağlanmıştır. Dijkstra algoritması performansı artırmak ve enerji tüketimini en aza indirmek için en güvenli ve hataya en dayanıklı yönlendirme yolunu seçmek için kullanılmıştır [45]. Bir IoT sisteminde, Orta Düğüm-Ortak Hizmet Birimi' ni (MN-CSE) temsil eden, üzerine belirli bir program kurulmuş olan bir algılayıcı veya giyilebilir cihaz, bulunduğu çevreden veriyi toplayarak verileri sistemin Uygulamaya Ayrılmış Düğüm-Uygulama Birimi' ne (ADN-AE) iletmesi sağlanmıştır. Bir PHD, önerilen sistemde bir ADN-AE görevi görmektedir. Bir MN-CSE, MN-CSE'ye ait ADN-AE'leri kontrol eder veya izler; dahası, ADN-AE'ler ve Altyapı Düğümü-Ortak Hizmet Birimi (IN-CSE) arasında etkin iletişim sağlamak için gerekli işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada birebir makineden makineye protokolle Kişisel Sağlık Cihazı (PHD) yönetim servisi sayesinde ağ hatalarını giderme yoluna gidilmiştir. PHD' ler oneM2M sisteminde ADN-AE'ler olarak kullanılmıştır. Ağ geçitleri (MN-CSE'ler), PHD'leri ve PHD yönetim sunucusunu (IN-CSE) birleştirmek için kullanılır. Ağ geçitlerine atanan önemli görevlerden birisi de ISO / IEEE 11073 protokol mesajlarını PHD' lerden IoT sunucusunun oneM2M protokol mesajlarına çevirmek veya tam tersini yapmaktır. Protokol dönüştürme sürecini yönetmek için PHD' ler ve ağ geçitleri arasındaki iletişim mesajı akışı önerilmiş ve bir M2M protokol mesajları ile ISO / IEEE 11073 protokol mesajları arasındaki ilişkiler anlatılmıştır. PHD' ler için oneM2M tabanlı IoT sistemi, çeşitli deneylerde oluşturuldu ve değerlendirildi. Deneyler, protokol dönüşümünün etkin bir şekilde çalıştığını ve PHD' nin sayısı oldukça büyük olsa bile, sistemin dönüşüm sürecinden ciddi bir performans düşüşü yaşamadığını göstermiştir [42].

Yu Fu ve Jian Liu ise sporculara yönelik olarak kandaki oksijen miktarını ve nabız (Kalp atış hızı) ölçen IoT tabanlı giyilebilir bir cihaz tasarlamışlardır. Tasarlanan cihazda bu iki parametreyi sporcudan algılamak için Texas STM32 serisi işlemci kullanılmıştır. Algılama yöntemi olarak NIRS (Yakın Kızıl ötesi spektroskopisi) yöntemi kullanılmıştır. Giyilebilir cihazda algılanan veriler GPRS/WiFi/Zigbee ağları üzerinden sporcunun kondisyon durumları antrenör ve sporcu ile ilgili doktora gönderilmiştir. Ayrıca alınan veriler GPRS/WiFi ağları üzerinden sporcu, antrenör ve doktorun telefonuna da bilgi olarak gönderilmiştir. Yine tasarlanan sistem sporcu ile ilgili acil durumlarda ise doktor ve antrenöre uyarı mesajı göndermiştir. Tasarlanan cihaz sporculara donanım platformundaki fizyolojik parametreleri sağlar. Ölçüm cihazı, LED cilt yansıma sinyalini kullanarak kişinin kan oksijen doygunluğunu ve kalp atış hızını elde etmek için analog ön uç (AFE4403 yongası) kullanır. Aynı zamanda ölçüm modülü hareket algılaması için BMA250 kullanır. BMA250, düşük güç tüketen üç eksenli ivmeölçerin dijital bir çıktısıdır. Hareket algılama sinyali ile LED yansıma sinyalini kullanarak kan oksijen doygunluğunu ve kalp atış hızını hesaplamak için karışık sinyal işlemcisi STM32 kullanılmıştır. Mikroişlemci

MSP430, tüm sistemi kontrol etmek için kullanılır. Ayrıca, cihaz iletişim fonksiyonunu karşılamak için Bluetooth / GPRS / WiFi / Zigbee iletişim modülü gibi kablosuz iletim modülünü de kullanmaktadır. Kablosuz iletim modülünün kullanılması ile sporunun kandaki oksijen miktarını ve kalp atış hızı bilgisini farklı kullanıcıların gereksinimlerine göre işleme ve analiz için sporcuların, antrenörlerin veya doktorların akıllı telefonlarına iletebilir [46].

Soji Sojuygbe ve Kevin Daniel ise IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarının sorun yumağından anten tasarımı üzerinde durmuşlardır. Çip anten yerine PCB üzerinde yerleşik olan anten modeli üzerinde durmuşlardır. Çip antenlerin her zaman optimal performansı göstermediğini ve bu yüzden uygulamalarında da gösterdikleri gibi daha optimal 2.4-2.5GHz ve 5.15-5.85GHz bantlarında çift bant PCB üzerine entegre anten tasarlamışlardır. Giyilebilir cihazlarda antenlerin insan vücuduna çok yakın olması insan vücudunun dielektrik yapısından dolayı sinyalleri absorbe edeceği için önemli bir sorundur. Yazarlar bu konuda da insan vücuduna yakınlık kalkanı adını verdikleri ve anten bölgesini kapatan bir metal koruma geliştirmişlerdir [47].

Hooshmand ve arkadaşları modern giyilebilir IoT cihazlarının, insan hayatı için çok büyük önem taşıyan kalp veya solunum sistemi durumlarını, elektrokardiyografi(ECG), fotoletismografi (PPG) yöntemleriyle ölçülmesine olanak tanıdığını söylemişlerdir. Fakat bu tür sağlık cihazlarının en önemli sorununun sürekli şarj edilmeyi gerektirmesi ve bu nedenle giyilebilir cihazların gün boyu kullanımının büyük bir zorluk olduğundan bahsetmişlerdir. Hooshmand ve arkadaşları giyilebilir cihazların batarya ömrünü artırmak ve en iyi ECG, RESP veya PPG sinyal değerlerini almak için kayıplı sinyal sıkıştırma yöntemiyle veri boyutunu küçülten, küçültme algoritmalarını incelemişlerdir. Sıkıştırma algoritmalarının 100 kata kadar sıkıştırdığını ve sinyalin çıkarılarak yeniden yapılandırılmasında ise tepeden tepeye %4' lük hata payının olduğunu söylemişlerdir. Sıkıştırma algoritmaları olarak online dictionary, gain-shape vector quantization, principal complete analysis, autoencoders, compressive sensing, DCT, discrete wavelet transform ve LTC algoritmalarını incelemişlerdir [48]. Bu algoritmaları MIT-BIH aritmi veri tabanında ECG sinyalleri üzerinde ve Zephyr BioHarness marka giyilebilir cihazla 11 gönüllü sağlıklı bireyden çalışma saatlerinde(sabah 8' den akşam 6'ya kadar) aldıkları 250 örnek/sn' lik ECG sinyalleri üzerinde test etmişlerdir. Algoritmalarından en iyi sonucu yapay sinir ağı algoritması olan autoencoders vermiştir. Bunu LTC ve PCD takip etmiştir [48,49].

Perez ve arkadaşları, İyon Duyarlı Alan Etkili Transistör (ISFET)' ün, biyomedikal mühendisliği alanında sayısız uygulamaları ile popüler olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada, bireyin kanındaki glikoz seviyesini ölçmek için ISFET tabanlı bir sensör tasarlanmıştır. Sensörden alınan veriler bir mikrodenetleyicide işlenerek bir Wi-fi

modülü sayesinde kablosuz ağ üzerinden sağlık sunuculara hastanın kan şekeri seviyesi iletilmiştir. Tasarlanan sensörün kan şekeri ölçümündeki başarı oranı %88,88' dir. Kan glikozu izlemede alternatif olarak ISFET kullanımı tek kullanımlık şeritlerin kullanılmasını ortadan kaldırmaktadır. ISFET, tek kullanımlık aksesuarlara gerek kalmaksızın tekrar tekrar kandaki glikoz miktarı ölçümü için kullanılabilir. Kimyasal bir metot olduğu için kandaki molekülleri algılamada deri altına verilecek çözelti çok önemlidir [50].

Al-Tae ve arkadaşları hastanın diyabet durumunu kendi kendine kontrol ettiği IoT tabanlı bir platform geliştirmişlerdir. Önerilen m-Sağlık yaklaşımı, bir telefon üzerinde hastanın diyabet durumunu birçok yönden kişiselleştirilmiş olarak izler ve geri bildirimler sunar. Platform diyabet hastalarının doktor tarafından verilen tavsiyelere uyup uymadığını kontrol eder ve gerektiğinde hastaya tavsiyelerde bulunur. Tasarlanan sistemin sensör ağlarının bulunduğu giyilebilir kan şekeri ölçer, kan basıncı ölçer ve ağırlık ölçer cihazlarından bilgiler kablosuz olarak telefona, telefon üzerinde de sağlık sunucularına ve sağlık portalına veriler gönderilmektedir. Önerilen mimaride verilerin güvenli aktarımı için kriptografik algoritma kullanılmıştır [51].

Chakraborty ve arkadaşları, IoT tabanlı endüstriyel uygulamalar için giyilebilir bir kablosuz elektrookulogram (EOG) kaydediciyi tanıtmışlardır. Bu cihazın, kullanım kolaylığı, taşınabilirliği ve kullanılabilirliği ile ilgili mevcut EOG kayıt cihazlarına göre avantajlarının olduğu söylenmiştir. Kayıt yazılımının, göz izleme tabanlı IoT uygulamaları üzerinde çalışan ve kullanışlı bir Android uygulaması olduğu söylenmiştir. Sistem, bu şekilde ve alının (başlık) yakınındaki biyo-potansiyeli yakalamak için Ag kaplamalı Cu elektrotlarından oluşmuştur. Analog EOG sinyali, bir enstrümantasyon amplifikatörü, bir bant geçirici kalman filtresi ve bir diferansiyel amplifikatörden oluşan bir sinyal koşullandırma devresi kullanılarak elde edilmiştir. Verilerin iletimi için gömülü bir Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Veriler bayt biçimindedir ve başarılı bağlantı sağlandığında telefonun dahili depolama alanı içinde bulunan 'LiveData.txt' adlı bir dosyaya canlı olarak yazılmıştır. Sonuçlar android cihaz üzerinde grafiksel olarak da çizdirilmiştir. Sistem standart EOG kayıt cihazları ile karşılaştırılmıştır ve sonuçların umut verici olduğu söylenmiştir [52].

2. Geleneksel Iot Tabanlı Takılabilir Sağlık Cihazları (Traditional Iot Based Installable Healthcare Devices)

Wang ve arkadaşları, kablosuz olarak kontrol edilebilen ve gastrik biyoelektrik aktivite izleme sistemine entegre edilebilen ilk yüksek enerjili stimülatör implantı tasarlamışlardır. Sistem, bir ön uç birim ve bir bilgisayara bağlı harici sabit arka uç biriminden oluşmuştur. Ayrıca sistemde, Mideden RF ile alınan verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve görüntülenmesi ve verilerin çevrimdışı analiz için saklanması için LabVIEW'da bir grafik kullanıcı arayüzü tasarlamışlardır. Yazarlar

sistemin, laboratuvarlarda ve iki domuzda başarılı bir şekilde test edildiğini söylemişlerdir. Sistemin fonksiyonel gastrointestinal bozuklukların tedavisinde kullanılabilirliğini söylemişlerdir. Sistemin gastrik düşük dalgaları başarılı bir şekilde modüle edebildiği gösterilmiştir [53].

Rotariu ve arkadaşları, geçici kalp pili taşıyan hastalar için kablosuz uzaktan izleme sisteminin tasarımı ve uygulamasını yapmışlardır. Sistem, sınırlı bir alanda hasta izleme için kullanılan, kablosuz veri iletim özelliğine sahip düşük güçlü bir kalp pili etrafında inşa edilmiştir. Önerilen sistem, acil durumlarda, sağlık kurumlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve hastanın kalp atışlarını stabil tutmaya yardımcı olduğu söylenmiştir. Her kalp atışının durumu kablosuz bir ağ üzerinden bir izleme istasyonuna kablosuz olarak iletilmiştir. İzleme istasyonu, kablosuz sensör ağından verileri alan ve bu değerler önceden belirlenmiş sınırları aştığında alarmları etkinleştiren bir hasta izleme ünitesinden meydana gelmiştir. Önerilen sistem hastalara takılan geçici bir kablosuz kalp pili ağı, bir Erişim Noktası (AP) ile sabit bir yerde kablosuz ağda dağıtılan birkaç tekrarlayıcı düğüm (Range Extender - RE) ve bir hasta izleme istasyonu uygulamasından meydana gelmiştir. Deneysel bir kablosuz kalp pili prototipi uygulanmış ve test edilmiştir. İzleme istasyonunda çalışan yazılımın, bir veya daha fazla hastayı aynı anda izleyebildiği söylenmiştir. Önerilen sistemin dezavantajının, her hastanın kablosuz vericinin kapsama alanı içinde kalmasının gerekmesi olarak söylenmiştir [54].

Agarwal ve arkadaşları, in vivo uzun süreli düşük sürüklenme elde etmek için yağ sensörü kapsülleme yöntemi üzerinde bir parçilen içeren kablosuz, implante edilebilir sürekli göz içi basıncı izleme (GİB) sistemi sunmuştur. Sistem, sklera ve konjonktiva arasındaki gözün superotemporal kadrantına implante edilmiştir. Dijital okumaya sahip bir basınç sensörü (STMICROELECTRONICS LPS25H), kablosuz güç / veri telemetrisini destekleyen bir 65nm CMOS yongası ve basınç sensörü ile I2C seri iletişim arabiriminden oluşmuştur. Yonga ve basınç sensörü esnek bir poliimid PCB üzerine monte edilmiş ve daha sonra sensör biyoyumlu silikon yağına daldırılmış ve yerinde parçilen ile kaplanmıştır. İmplant, 915 MHz'de yakın alan RF kuplajından güç almak için bir çip üzerinde entegre RF bobini kullanmıştır. RF geri tepme yoluyla ölçüm bitlerini harici bir okuyucuya iletmıştır. GİB implantı, toplam 9,7 μ W güç tüketimi ile 0.17 mmHg basınç hassasiyeti sağlamıştır. İmplant, sistem işlevselliğini ve cerrahi implantasyonu doğrulayarak, bir domuz gözü ex vivo' da indüklenen GİB varyasyonlarını başarılı bir şekilde izlemiştir. Kablosuz okuyucular, IC yongasından geri beslenen verileri alarak bir mobil cihaza aktarmıştır. Kablosuz okuyucu, bir UHF RFID yonga setini (AMS 3993) kontrol eden bir Nordic nRF51 Bluetooth SoC 'u kullanmıştır [55].

Jia ve arkadaşları, kablosuz olarak kafaya monte edilebilir bluetooth tabanlı dayalı ve serbest yüzen

implante edilebilir optogenetik uyarıcı (FF-WIOS) implantın, ihmal edilebilir kaplama alanı ve yüksek güç aktarım verimliliği (PTE) ile sunmuştur. Yazarlar, gömülü μ LED ve yansıtıcı mercekle içeren FF-WIOS ASIC, hedef kortikal nöron topluluklarını yüksek temporal ve uzamsal çözünürlükte minimum hasar ve tethering etkisi olmadan uyadığını söylemişlerdir. PTE'yi iyileştirmek ve SAR limitinin altında kalmak için, esnek bir düzlemsel verici (Tx) rezonatör, L2, kafa derisinin altında, ancak kafatasının üzerine yerleştirilecektir. Bir Headstage, L2 rezonatörüne ve FF-WIOS cihazının etrafına sarılmış bir tel-bağ alıcı (Rx) bobinine (L3) gömülmüş olan Tx bobini L1, 135 MHz'de çalışan 3-bobin endüktif bir bağlantı oluşturur ve doğrudan şarj edilir yüzeye monte bir depolama kondansatörü. Stimülasyon başlangıcında, stimülasyon parametreleri güç taşıyıcısının genlik modülasyonu ile FF-WIOS'a gönderilirken, depolama kondansatörü μ LED'ye boşalır. Düzen sonrası simülasyon sonuçları, depolama kapasitörü şarj etme, ileri veri iletimi ve ayarlanabilir parametrelerle optogenetik stimülasyonun işlevselliğini göstermektedir. Headstage(Kafaya monte edilen cihazda)da bir CC2541 mikrodenetleyici (MCU) ve ardından bir frekans çarpanı, verimli bir E sınıfı güç amplifikatörünü (PA) içermiştir. İleri veri telemetri komutları PC'den Bluetooth Düşük Enerji (BLE) bağlantısı aracılığıyla sinyaller başlığa gönderilmiş ve güç taşıyıcısını genlikle modüle ederek FF-WIOS'a aktarılmıştır [56].

Majerus ve arkadaşları, mesane basıncını ölçmek için mevcut yöntemler, sadece mesane lümenine yerleştirilen harici kateterlere dayandığını söylemiştir. Bu yaklaşımın, kronik nöromodülasyon tedavisi için gerekli olmasına rağmen ambulator kullanımda sınırlı bir kullanıma sahip olduğunu söylemişlerdir. Yazarlar bu tespitleri göz önünde bulundurarak koşullu nöromodülasyonu desteklemek için gerçek zamanlı, kateter içermeyen mesane basıncını ölçmek üzere kablosuz bir mesane basıncı monitörü geliştirmişlerdir. Cihaz, mesaneye submukozal sistoskopik implantasyon için boyutlandırılmıştır. İmplant edilebilir mikrosistem, ultra düşük güç gerektiren uygulamalara özel entegre devre (ASIC), mikro-elektro-mekanik (MEMS) basınç sensörü, RF antenleri ve minyatür tekrar şarj edilebilir bataryadan oluşmuştur. Veriler kablosuz olarak alınarak değişen mesane basıncının nöromodülasyonu mümkün hale getirilmiştir. Güç yönetimine stratejik bir yaklaşım olarak, implantı minimize edilerek pil kapasitesi gereksinimini azaltılmıştır. Yazarlar 4 hafta boyunca kablosuz basınç monitörünü kronik hastalığı olan hayvanlara implante ederek başarılı sonuçlar almışlardır. Yazarlara göre, mesane detrusorunda kateter içermeyen kronik olarak implante edilen bir basınç izleyicisinden, gerçek zamanlı mesane basıncı algılamasının ilk örneğini oluşturmuştur [57].

Mecheraoui ve arkadaşları, bazı nörolojik engelleri nedeniyle ayak düşmesi olan hastalar için, hareketliliği geliştirmede kullanılan Tibialis anterior kasının dışsal stimülasyonunu ZigBee tabanlı bir ayak içi sensör ile

uygulamışlardır. Uygulamayı bir bilgisayar yardımıyla Bluetooth ve Wifi iletişim teknikleriyle deneysel olarak karşılaştırmışlardır. ZigBee %99,98 güvenilirlikle diğer kablosuz iletişim tekniklerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Fonksiyonel kullanım için stimülasyon, ayağın kaldırılması gerektiğinde uygulanmıştır. Bu süre genellikle hastanın ayak kabısına yerleştirilmiş bir sensör kullanılarak tespit edilmiştir. Stimülasyon ünitesi, güvenli ve güvenilir bir işlev sağlamak için sağlam bir bağlantı gerektiren sensörden distal olarak yerleştirilmiştir. Kablosuz bağlantının özellikle sınırlı hareket kabiliyeti olan kullanıcılar için uygun bir seçim olduğu söylenmiştir. Ayaktaki sensörden toplanan veriler Matlab’ da analiz edilmiştir. Yazarlar, sonuçların cesaret verici olduğunu söylemişlerdir [58].

B. IoT Tabanlı Akıllı Giyilebilir Sağlık Cihazı Uygulamaları (IoT Based Smart Wearable Healthcare Applications)

Akıllı giyilebilir ve takılabilir cihazlar, geleneksel cihazlara nazaran çok daha verimli güç yönetimine sahip, sağlık sunucularıyla 24 saat esasına göre haberleşebilen cihazlardır. Bu cihazlar, fiyatı herkesin alabileceği kadar makul ve hastanın acil durumlarında sağlık sunuculara uyarılar gönderme, hasta verilerini kaydetme, depolama ve bu verilerden çıkarım yapabilme özelliğine sahip olmalıdırlar [59]. Bunlara ek olarak sürekli ölçümler ile kendini eğiterek yaptığı hataları düzeltebilmelidirler. Aşağıda literatürde bulunan akıllı giyilebilir sağlık cihazı uygulamalarına değinilmiştir.

Rigas ve arkadaşları HMM (Hidden Markov Model) ile 23 hastadan (18’i Parkinson hastası, 5’i sağlıklı birey) titreme ivmelenmesinin ölçüm verilerini (pozisyon / hareket ve titreme şiddeti sınıflaması) olarak sınıflandırma yoluna gitmişlerdir. Denekteki titremenin parkinson hastalığından kaynaklandığını %87 hassasiyetle ölçmüşlerdir. Sınıflandırma ve özellik çıkarımında çeşitli frekans bandındaki filtrelerden faydalanılmış ve özellik çıkarımı için HMM’ in maksimum olasılık modelinden (maximum likelihood) yararlanılmıştır. Ağırlık dağılımında ise Çok Yönlü Gaussian Dağılımı kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı sınıf kullanılmıştır. Bunlar normal, titreşim seviyesi 1, titreşim seviyesi 2 ve titreşim seviyesi 3 durumlarıdır [60].

Sung ve arkadaşları, hastanın günlük yaşamında rehabilitasyonu için gerçek zamanlı veri akışı ve durum sınıflandırması için esnek bir giyilebilir platform olan LiveNet sistemlerini tanımlamışlardır. Hastadan sensör ağlarıyla alınan veriler Linux tabanlı Zaurus PDA’ da sınıflandırılmış ve analiz edilmiştir. LiveNet 128 farklı vücut ve çevresel ortam işaretlerini algılayabildiği söylenmiştir. LiveNet ECG,EKG,EEG, duygu algılama, stres algılama, Parkinson hastalarının takibi, askerlerin kritik sağlık durumlarını algılama gibi birçok alanda sınıflandırma için kullanılabilirdiği söylenmiştir. Sistemin iletişim için aynı zamanda Bluetooth, GPRS, GSM, GPS, kamera ve 1xRTT modem teknolojilerine sahip olduğu söylenmiştir. HMM(Hidden Markov Model) ve FFT

teknikleri LiveNet ile birlikte askerlerin kritik durumları için uygulanmıştır [61].

Asthana ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir ve takılabilir sağlık cihazlarının çokluğundan ve hastaya uygun cihazı belirleme sıkıntısı olduğundan bahsetmişlerdir [62]. [63-66]’ deki çalışmalar da, hastadan alınan verilere göre tavsiye edilen cihazlarda doğruluğu arttırmak için makine öğrenmesi ile sınıflama üzerine yoğunlaşılması gerektiğini göstermiştir. Hastanın sağlık geçmişi ve nitelikleri (yaşadığı bölge, cinsiyeti, ırkı v.b.) göz önünde bulundurularak risk altında olduğu hastalıklar tespit edilir ve kişiye proaktif yaklaşıma göre kullanılabileceği en uygun taşınabilir cihazı tavsiye eden bir tavsiye motoru tasarlamışlardır. Tavsiye motorunda sınıflandırma için makine öğrenmesi modeli kullanılmıştır. Aynı konu hakkında daha önceki çalışmalarda da makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesinin ardıllarından farklı olarak IoT tabanlı giyilebilir cihazlardan topladığı verilerle kişiye uygun taşınabilir cihaz tavsiyesinde bulunabildiği söylenmiştir. Geri dönütler olarak hasta için daha önce kullanılmamış farklı sağlık çözümleri de üretilebileceği söylenmiştir. Makine öğrenmesinde eğitim için Amerikan Elektronik Sağlık Kayıtları (EHR) veri setlerinden faydalanılmıştır [67]. Sınıflandırma modeli için ise Weka kütüphanesinden faydalanılmıştır [68]. Tasarlanan makine öğrenme modeli 50 farklı hastalık riski için 135.000 veri örneği ile eğitilmiştir.

Zeng ve arkadaşları insan aktivitelerini açık bir şekilde tanımlamak için akıllı telefonda bulunan mobil sensörler aracılığıyla insan aktivitelerini algılayan konvolüsyonel yapay sinir ağı tasarlamışlardır. Özellik çıkarımı için Konvolüsyonel Yapay sinir ağı(CNN) kullanılmıştır. Giriş data boyutu 64x64x64’ e ayarlanmıştır. Konvolüsyonel katmanda zeropad kullanılmamış ve çıkışta 12x12x12 boyutu elde edilmiştir. Konvolüsyonel tensor’ lar max pooling yardımıyla üçte birine düşürülmüştür. Daha sonra gizli katmanda 1024 ve 30 adet vektörel ağırlığa sahip 2 katmandan oluşmuş ve çıkışta en yakın değeri 1’e çekmek için 4x4x4 çıkışlı bir softmax fonksiyonu kullanılmıştır [69]. Eğitim için Skoda (montaj hattı faaliyetleri), Opportunity (mutfak aktiviteleri), Actitracker (jogging, yürüyüş vb.) veri setleri kullanılmıştır [70-72].

Yasin ve arkadaşları, Ventriküler Aritmi, Ventriküler Fibrilasyon ve Ventriküler Taşikardi gibi hastalıkları (Amerikan Kalp Sağlığı Birliği’ ne göre 3 saat önceden tahmin hastaya müdahale için yeterli bir zamandır.) tahmin etmek için ultra düşük güçlü ve güvenli, IoT tabanlı bir sağlık ünitesi tasarlamışlardır [73,74]. Bu çalışmada giyilebilir cihazlarla ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda özellikle enerji verimliliğinin artırılabilirdiği, fakat güvenlik ve gizlilik politikalarının ikinci plana atıldığı söylenmiştir. Bu yüzden araştırma ve tasarım çalışmasının da bu ikinci plana yoğunlaştığı söylenmiştir. IoT tabanlı cihazlar internet veya bir ağ üzerinden birbirlerine veya merkezi bir sunucuya bağlı oldukları için ağ üzerinden siber saldırılara açık olduğu

ve bu yüzden saldıran kişinin hasta verilerine ulaşabileceği söylenmiştir. Ayrıca Ters Tasarım Mühendisler (Reverse Engineer) in IoT tabanlı bu sistemlere girişimde (Hacking) bulunarak sistemin mimarisini veya bilgilerini çalabileceği söylenmiştir. Kullanılan geleneksel güvenlik sistemlerinin çok karmaşık hesaplama algoritmalarına sahip olan kimlikleme sistemleri olduğu ve bunun enerji verimliliğini etkilediği vurgulanmıştır. Geleneksel güvenlik algoritmalarının güvenliğin bir yönünü halletmesi ve donanım tabanlı atakların göz ardı edildiği söylenmiştir. Çalışmada saldırganların tehdit yöntemlerinden (trojen, ters mühendislik, var olan sistemin kopyasını yapma vb.) bahsedilmiştir. Ayrıca bu çalışmada bütünsel entegrasyon yoluyla mikroişlemci kılıf üzerine daha düşük maliyet gerektiren daha esnek mimari yapısı (low-overhead system-on-chips (SoCs)) yüklenmiştir. Sistemde bilgileri kaydetmek için SRAM1 ve SRAM2 olmak üzere 2 farklı SRAM bloğu kullanılmıştır. Devrede EKG sinyallerini ayırık dalgacık dönüşümü kullanarak çıkarmak için DSP ünitesi kullanılmıştır. Çeşitli lojik kilitleme devrelerinden avantajları ve dezavantajları yönünden bahsedilmiş; fakat güvenlik katmanı olarak SARLock(SAT(En şiddetli atak olan boolean inandırıcı atakları) ataklarını koruyucu) tabanlı XOR 128 bit lojik kilitleme devresi benimsenmiştir. Donanım tabanlı saldırıları engellemek için devredeki EKG şifre jeneratörü hastanın kalp ritmini kullanarak benzersiz şifreler ürettiği belirtilmiştir. Bu sayede donanım tabanlı saldırıların engellendiği söylenmiştir. Tasarlanan VA(Ventricular Aritmi) işlemcisinin EKG sinyalini, ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflama bölümlerinden geçirerek elde ettiği söylenmiştir. QRS kompleksinden bahsedilmiş ve vücuttan alınan EKG sinyallerinde özellik çıkarımı sayesinde QRS kompleksinin olduğu bölgeler alınarak diğer bölgeler ayıklanmıştır. Bu da daha düşük RAM (8 KB' dan, 4 KB' a düşürmüştür.) kullanımını sağlamıştır. EKG sinyalleri 250 Hz örnekleme frekansında örneklenip alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek devre bloklarına uygulanmış ve QRS, T ve P sinyalleri elde edilmiştir. Sinyal sınıflama için Naive Bayes sınıflandırıcı kullanılmıştır. Özellik çıkarımından VA,VT ve VF yakalanmaya çalışılmıştır. Sınıflandırıcı parametrelerinin güvenliğini sağlamak için, tasarım parametresi tabanlı lojik kilitleme devresi(DPLL) , bellek(Tamper-proof memory) için tahmini hız lojik kilitleme devresi(PRL), VA işlemcisine yetkilendirilmemiş erişimi engellemek için Servis Reddi(DSSL) lojik kilitleme devreleri güvenlik amaçlı kullanılmıştır. Kilitleme devrelerinin parametreleri Python Script' lerıyla yazılmıştır. Önerilen VA işlemci, benzer son teknoloji ürünü işlemcilerle karşılaştırıldığında güç tüketiminde% 62,2'lik ve alanlarda% 16.0'lık bir düşüş sağlamıştır [73]. Çalışmada PhysioNet NSRDB, AHA(American Hearth Association), MIT-BIH veri kümeleri kullanılmıştır [49,74,75].

Rav'ı ve arkadaşları IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda insan aktivitelerini algılayabilecek derin öğrenme yöntemini kullanan sistem tasarlamışlardır. Fakat sistemin eğitimini ve testini düşük güçlü giyilebilir cihazlarda yaptıkları için derin öğrenmedeki hesaplama katmanlarını ve ağırlıkları asgari şekilde kullanmak durumunda kalmışlar ve derin öğrenme bölümünü eğitmede sorunlarla karşılaşmışlardır [76]. Halka açık 4 veri setinden en iyi sonucu veren WISDM v1.1 veri seti olduğu belirtilmiştir [77].

[76]'daki çalışmalarından hareketle Rav'ı ve arkadaşları, IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda düğüm sensöründen elde edilen insan aktivitelerini belirleyen (Human Activation Recognition-HAR) verileri sınıflama sorununu Derin Öğrenme (Deep Learning) ve Sığ Özellik(Shallow Feature) yöntemini bir arada kullanarak gidermeye çalışmışlardır [78]. Ayrıca bu çalışmalarında daha önceki çalışmalarından farklı olarak Derin Öğrenme katmanının eğitim ve testleri giyilebilir cihaz yerine NVidia TITANX 64 gb GPU' ya sahip bilgisayarda yapılmıştır. Bu da öğrenme ve tanıma oranını büyük oranda arttırmıştır. Derin Öğrenme (Deep learning)' de 32 filtre ve her katman 80 nöron(kernel) kullanılmıştır. Sistemde insanların yaptıkları gerçek zamanlı aktiviteler ivmeölçer ve cayroskop yardımıyla algılanmıştır. Farklı sensörler de eklenerek ECG ve EMG sinyal sınıflaması da yapılabileceğini belirtmişlerdir. Algılayıcılar için IoT tabanlı akıllı telefon, saat, giyilebilir cihaz ve bunların yazılım uygulamalarından faydalanmışlardır. Derin Öğrenme (Deep Learning) kısmı için bu tür akıllı sistemlerdeki bazı sınırlılıklar nedeniyle(GPU, dataset gibi) 1-D Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağı (Convolutional Neural Network-CNN) kullanılmıştır. Spektrogram' in tasarımının derin öğrenme (deep learning) için çok önemli olduğu belirtilmiştir. Çünkü değişmeyen örnekleme zaman formu sağlayarak yorumlanabilir özellikleri derin öğrenmeye (deep learning) sağlaması derin öğrenmenin sınıflandırması için önemli olduğu belirtilmiştir. X' in bir sinyali temsil ettiği spektrogram bölüt ayıklamasında(spektrogram segment extraction) Kısa Zaman Furier Dönüşümü(STFT-Short Time Fourier Transform) kullanılmıştır. Halka açık 5 veri setinden en iyi sonucu veren WISDM v1.1 veri seti olduğu belirtilmiştir [77,79]. Veri setleri 10 kat çapraz geçirme kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada ilk defa sığ özellik çıkarımı ve derin öğrenme yöntemleri bir arada insan aktivitesini algılamak için kullanılmıştır [78].

B. Yong ve arkadaşları, ekonomik büyümeyle birlikte insanların refah seviyesinin artmasına paralel olarak Fitness merkezlerinin sayının hızla arttığını söylemişlerdir. Sadece Çin' de 2009-2014 yılları arasında fitness endüstrisinde %84 oranında büyüme olmuştur. Yine Amerikan Spor Tıbbı Koleji raporuna göre da 2016' da giyilebilir cihazlar, sağlık uygulamaları, fitness uygulamaları ve foam roller mihenk taşı olmuştur. Yazarlar, bireylerin yoğun iş temposunda daha fazla enerjiye ihtiyaçları olduğu ve bu nedenle vücutlarını formda tutma ihtiyacı hissettiklerini belirtmişlerdir [83].

Tasarlanan IoT tabanlı sistem, sensörler yardımıyla bireyin spor yaptığı fitness cihazlarından, giyilebilir cihazlardan ve bir web kamera vasıtasıyla görüntü verilerini alarak bu verileri analiz edip ve bireyin doğru ve düzenli egzersiz faaliyetlerini yapması için veriler sunduğu söylenmiştir. Sistemde veriler fitness cihazlarındaki sensörler vasıtasıyla sunucu kümesine ve oradan da derin öğrenme tabanlı server' a, giyilebilir cihazlardaki sensörler vasıtasıyla veri toplama kartına (Development Kit) ve oradan da yine server' a olmak üzere iki farklı yoldan ana analiz ve yorumlama makinasına iletilmiştir. Giyilebilir ve takılabilir cihazlardaki sensörlerin telefon veya geliştirme kiti ile kablosuz bağlantısı ESP8266 modülü ile gerçekleştirilmiştir. Bireyin attığı adım, yaktığı kalori egzersiz faaliyetleri sırasındaki nabız durumu giyilebilir cihazdaki sensörler vasıtasıyla sürekli kontrol edilmiştir. Sistemde merkezdeki 3D Derin Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağı (3D Deep Convolutional Neural Network)' na sahip ve GPU üzerinde çalışan sistemin eğitimi için 100 videodan oluşan KTH veri seti kullanılmıştır [84]. Bu veri setindeki hareketler temel alınarak bireyin yaptığı egzersiz faaliyetleri 6 farklı sınıfa ayrılmıştır. Bireyin egzersiz faaliyetleri web kamera vasıtasıyla kontrol edilerek bireyin egzersizi uygun bir şekilde yapması için çeşitli tavsiyeler verilmiştir. Ayrıca bireye geliştirilen android uygulaması sayesinde egzersiz hatırlatması, sağlık durumu hatırlatması, gıda hatırlatması ve fitness merkezi faaliyetleri hakkında mesajlar gönderilmiştir. Web ara yüzü olarak Django kullanılmıştır. Bu makalede yapılan çalışma, bu alanda yapılan ilk çalışma olduğu için karşılaştırmalı analiz yapılamamıştır [83].

Sandeep K. Sood ve Isha Mahajan dünya genelinde 60 ülkede 10 bin' lerce vaka olarak tespit edilen ve en az Zika ve Dengue virüsleri kadar etkili olan Chikungunya virüsünün(CHV) erken tanınması ve kontrolü için giyilebilir sis hesaplama (fog computing) sistemine sahip bir giyilebilir cihaz geliştirmişlerdir [85,86]. IoT destekli sis hesaplama dayalı sağlık izleme sistemi, hastalığın erken dönemlerinde muhtemelen enfekte olmuş kullanıcıları CHV' den tanımlamak için kullanılabilir; böylece CHV salgınının kontrol edilebileceği söylenmiştir. Sis gözlemciliği, düşük gecikme süresi, minimum tepki süresi, yüksek mobilite, gelişmiş hizmet kalitesi, yer bilinci ve giyilebilir cihazın kendisini ağın yanında hissetmesi gibi faydalar sağladığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, CHO salgınına belirlemek ve kontrol altına almak için IoT ve sis temelli sağlık sistemi önerilmiştir. Bulanık C araçları (FCM), muhtemelen enfekte olmuş kullanıcıları teşhis etmek ve kullanıcılara sis katından hemen tanı ve acil durum uyarıları üretmek için kullanılmıştır. Ayrıca, bir bulut sunucusunda, CHV salgını durumunu temsil etmek için sosyal ağ analizi (SNA) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarının hem sis hesaplama, hem de bulut bilişim hizmetlerini birlikte kullanma avantajlarına vurgu yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, kullanıcıyı FCM kümeleme kullanarak CHV'den muhtemelen enfekte veya enfekte olmamış olarak doğru tanınması ve sis sisteminden kullanıcının

mobil cihazına tanılama uyarıları göndermesi için sis tabanlı akıllı sistem önerilmiştir. Ayrıca, virüs bulaşma risk eğilimli veya virüs bulaşmış bölgeleri ziyaret eden ya da bu bölgelerde yaşayan enfekte olmayan kullanıcılara zamanında acil durum uyarıları da ürettiği söylenmiştir. Önerilen sistemin deneysel sonuçları, bulut bilişim teknolojisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen çerçevenin bant genişliği verimliliğine, minimum yürütme süresine ve gerçek zamanlı bildirimlerin oluşturulmasında minimum gecikmeye ulaştığı söylenmiştir. IoT sensör katmanının, sağlıkla ilgili belirtiler ve kullanıcıya ilişkin çevredeki çevre içindeki çeşitli olaylar hakkında veri toplanmasından sorumlu olduğu söylenmiştir. Toplanan veriler arasında sağlık verileri, çevresel veriler, tıbbi veriler, konuma dayalı veriler ve meteorolojik verilerin yer aldığı söylenmiştir. Veriler, kullanıcının vücuduna, içerisine ve çevredeki yerlerine yerleştirilen kablosuz donanım cihazlarından toplanmıştır. Bu cihazların gerçek zamanlı olarak veri algılama ve aktarma yeteneğinin olduğu söylenmiştir. Sis hesaplama katmanı, IoT sensörleri ve bulut bilişim katmanı arasında bir köprü görevi gördüğü söylenmiştir [85].

Huang ve arkadaşları, diyet takibinin, hastalık teşhisi, vücut ağırlığı kontrolü ve diyet alışkanlığı yönetimi için değerli bilgiler sağlayabildiğini ve böylece hastalar, diyetisyenler ve beslenme uzmanları tarafından doğru tedavi için kullanılabilirliğini söylemişlerdir. Yazarlar, daha önce geliştirilen tekniklerin kullanıma günlük kullanım için uygun olmadığını söylemişlerdir[88]. Mevcut çözümlerin sıkıcı manuel kayıt gerektirdiği için günlük aktiviteleri engelleyebileceğini söylemişlerdir. Bu nedenle, Amerika Vizyon Konseyi istatistiklerine göre, yetişkinlerin yaklaşık% 64'ü gözlük taktığı da dikkate alınarak bu çalışmada akıllı bir diyet takibi gözlüğü tasarlanmıştır [88]. Buradaki ana fikir, insanlar gözlük taktıkları zaman, gözlüklerin kulak bağlantılarının çiğneme kaslarından biri olan temporalis kasının alt kısmı ile temas halinde olmalarıdır. Bir elektromiyografi (EMG) sensörünü gözlüklere entegre ederek, gözlüklerin ağıza alım ile ilgili olayları tespit etmek için temporalisin kas aktivitesini ölçmesi sağlanmıştır. Sistem tasarımında EMG sensörü, mikro denetleyici, SD kart ve bir Bluetooth kullanılmıştır. Akıllı telefona bluetooth vasıtasıyla gözlükten alınan bilgiler çiğneme ve gıda çeşitlerinin sınıflandırılması hakkında bilgi sağlamışlardır. Yedi denek üzerinde geniş deneyler yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Sistem, Çiğneme döngülerini % 90,8 ve beş çeşit yemeği de % 96 doğruluk ile sınıflandırmıştır. Gıdalar, Weka kütüphanesinden J48 karar ağacı sınıflandırıcısı kullanılarak sınıflandırılmıştır [89]. Deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir [87].

W.Y. Shi and J.-C. Chiao, sinir ağ tekniğine dayalı olarak bluetooth tabanlı giyilebilir bir bilek sensörü kullanarak kalp seslerinin S1 ve S2 akustik sensör parametrelerini tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır [90]. Bu yöntem kullanılarak, kalp ritimleri gerçek zamanlı olarak ve uzun bir süre bir bilek cihazı ile potansiyel olarak

analiz edilebilir ve izlenebilir. İnsan vücudundaki farklı arter bölgelerindeki kan damarlarındaki kardiyak nabız dalgalarının hızları ve zaman gecikmeleri deneysel olarak hesaplanmıştır. Kalp atımlarının el bileği arterine sinyal zayıflaması incelenmiş ve arterde darbe-dalga şekli transfer modeli önerilmiştir. İki katmanlı ve 500 transig nöronlu bir sinir ağı, bilekten kalbe ters akustik transfer fonksiyonunu taklit etmek için kullanılmıştır. Yapay sinir ağı eğitimi için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır [91]. Orijinal kalp sesleri parametreleri ile kardiyak seslerinin sinir ağı tarafından tahmini arasındaki karşılaştırmalar, sinir ağının hassasiyetini doğrulamak için yapılmıştır. Orijinal ve tahmini kalp seslerinin akustik özelliklerinin% 100'e varan bir doğrulukta olduğunu ve kalp hızlarının% 99'a varan bir doğruluk oranına sahip olduğunu bulmak cesaret vericidir. Önerilen bilek sensörü, bluetooth tabanlı bilgisayara

veri aktarabilen kablosuz giyilebilir bir monitör görevi görmektedir [90].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

İncelenen çalışmalarla ilgili özellikler karşılaştırmalı olarak **Çizelge 1.**' de çıkarılmıştır. **Çizelge 1.**' deki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların çoğunluğunun hastaların kardiyovasküler sistemini takip ederek, odaklandıkları çalışma (fitnes, öfke ve stres kontrolü, anormal kalp aktiviteleri, hipoglisemi v.b) ile bir korelasyon yapma yoluna gittiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların 11' inin canlı denekler veya veri setleri kullanan akıllı sistemler olduğu görülmektedir. Akıllı sistem çalışmaları makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlıdır. Çalışmalardan Parkinson, MS, epilepsi gibi nörolojik hastalıkların da gündelik yaşamda takibi için çalışmaların hız kazandığı görülmektedir.

Çizelge 1. İncelenen Çalışmaların Karşılaştırılması (Comparison of Analyzed Work)

Yazarlar	Konu	Özellikler	Algoritma Tipi	Veri Seti	Hassasiyet
Khan [12]	IoT tabanlı Hasta Takibi	WBAN, RFID, Wifi ile EEG, Kan Glikoz, EKG, Vücut Sıcaklığı, Hareket Ölçümü	-	-	-
Lebepe ve arkadaşları[13]	IoT tabanlı Stres durumu için vücut sensör ağı	WBAN, Bluetooth ile Kan basıncı (BP) , kalp atış hızı, solunum ve gözbebeği genişliği ölçümü	-	-	-
Majoe ve arkadaşları[15]	IoT tabanlı akıllı sensörler ile Stres ve Uyku kalitesi yaklaşımı	OPTIMI WBAN sensör ağı, RF alıcı-verici ile EKG ve kalp atış hızı ölçümü	-	MIT BIH Arrhythmia (128 bireye ait kalp atış verisi)[49]	-
Alexander ve arkadaşları[16]	Giyilebilir Kablosuz Kol Bandı kullanarak Mobil EKG İzleme Cihazı	Arduino, Bluetooth ve EKG sensörü ile EKG ve nabız ölçümü	Pan and Tompkins, linear digital filtering, nonlinear transformation, decision rule	-	-
Yotha ve arkadaşları[17]	Diyabetik Hipoglisemi Monito Kablosuz Sisteminin Tasarımı ve Yapımı	mini Arduino ve Wifi modül tabanlı vücut sıcaklığı, nem ve nabız ölçümü	-	-	-
Kaplan ve arkadaşları[19]	Aile Hekimleri İçin Mobil Fizyolojik Sinyal İzleme Sistemi	Bluetooth ve E-sağlık platformu tabanlı vücuttaki çeşitli fizyolojik işaretlerin ölçümü ile hasta takibi	-	-	-
Kang ve arkadaşları[20]	IoT tabanlı giyilebilir sağlık cihazları ile alakalı WBAN sensör ağlarına akıllı algoritmalar uygulanarak enerji tüketiminin azaltılması	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etme	Aralık ve data transmisyon girişim algoritması	-	%99.5 veri azaltımı

Kang ve arkadaşları[20]	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda, hem gereksiz veri iletimini hem de pil tüketimini azaltmak için vücut sensörlerini kontrol etme	WBAN sensör ağlarına akıllı algoritmalar uygulayarak enerji tüketiminin azaltılması	Aralık ve data transmisyon girişim algoritması	-	%99.5 veri azaltımı
Benadda ve arkadaşları[21]	Giyilebilir sağlık uygulamaları için güvenli IoT çözümü, örnek olay çalışması Elektrik Imp geliştirme platformu	Wifi ve Elektrik Imp modülleri ile yaşlı hastaların takibi	C-means ve CFS algoritmaları	-	-
V. Jha ve arkadaşları[22]	IoT tabanlı Giyilebilir Öfke Durumu İzleme Sistemi	Arduino ve GSM modül ve sensör ağları ile, kalp atış hızı değişimi, vücut sıcaklığı ve 3D vücut ivme ölçümü	-	19-25 yaş arası 10 gönüllü kadın birey	
Santhi ve arkadaşları[24]	IoT tabanlı Hamilelik Dönemi Anne ve Bebeğin Takibi	MSP CC3200, Wifi, kalp atışı, sıcaklık ve kan basıncı ölçümü	-	-	
M.Delrobaei ve arkadaşları[25]	IoT Giyilebilir sensörler kullanarak Parkinson hastalarının titremesinin uzaktan izlenmesine doğru	EMG, ivmeölçer, jiroskop, gonyometre ve optik hareket yakalama sensörleri ile vücut titreşim ölçümü	-	45-85 yaş arası 22 sağlıklı, 18 PD hastası birey	% 95
Chen ve arkadaşları[34]	Giyilebilir Sensörleri Kullanarak Parkinson Hastalığı Olan Hastaların Ev ortamında İzlenmesi için Web Tabanlı Bir Sistem	Shimmer sensör tabanlı MercuryLive BSN(802.15.4), RTMP video ile vücut titreşimlerinin izlenmesi	SVM(Support Vector Machine)	-	-
Kuusik ve arkadaşları[35]	Nörolojik Hastalığa sahip hastalar için giyilebilir M-Değerlendirme Sistemi	Bluetooth ve Atalet sensörleri MS(Multiple Sklerozis) hastaları için hareket ölçümü	EDF (European data format)	51 MS hastası birey	-

Huang ve Cheng[38]	Tıbbi Hemşirelik Sisteminde IoT Uygulaması ile Birleştirilmiş RFID Teknolojisi	WSN, Wifi, ZigBee, Bluetooth, 2G/3G, RFID, NFC ile çeşitli biyolojik işaretlerin ölçümü	-	34 yaşlı birey	-
Otto ve arkadaşları[39]	IoT tabanlı Her Yerde Sağlık Taraması İçin Kablosuz Vücut Alanı Sensörü Ağ Sistem Mimarisi	WSN, WLAN, WWAN ile EMG, EKG işaretlerinin ölçümü	-	1 kalp hastası birey	-
Lukowicz ve arkadaşları[40]	AMON: Yüksek Riskli Hastalar İçin Giyilebilir Bir Medikal Bilgisayar	GSM modül ve bileklik ile EKG ve kan basıncı ölçümü	-	-	-
Milenkovic ve arkadaşları[41]	IOT Kişisel sağlık izleme için kablosuz sensör ağları: Sorunlar ve bir uygulama	WBAN, WLAN, WWAN ile EMG ve hareketlerin ölçümü	-	-	-
Min Woo Woo ve arkadaşları[42]	Kişisel Sağlık Bakım Cihazları için güvenilir bir IoT sistemi	MN-CSE, ADN-AE, IN-CSE ile güvenilir EKG, oksijen saturasyonu ölçümü	Hata tolerans algoritması	-	-
Yu Fu ve Jian Liu[46]	IoT tabanlı sporcu sağlık takibi	NIRS, ZigBee/GPRS/Wifi ile oksijen saturasyonu, nabız ölçümü	-	-	-
Soji Sojuyigbe ve Kevin Daniel[47]	IoT giyilebilir cihazlar için anten tasarımı	2.4-2.5GHz ve 5.15-5.85GHz bantlarında çift bant PCB anten	-	-	-
Hooshmand ve arkadaşları[48]	IoT Giyilebilir Cihaz Enerji verimliliği için Sıkıştırma Algoritmaları Kullanımı	Zephyr BioHarness marka giyilebilir cihazla PPG, RESP ve EKG ölçümü	Online dictionary, gain-shape vector quantization, principal complete analysis, autoencoders, compressive sensing, DCT, discrete wavelet transform ve LTC sıkıştırma algoritmaları	11 gönüllü sağlıklı birey, MIT-BIH Ahythmia [49]	Autoencoder en iyi sıkıştırma algoritması olarak belirlenmiştir.
Perez ve arkadaşları[50]	Hastaların Kan Şekerini Takibi için IOT Giyilebilir ISFET Sensör Tasarımı	Wifi ve kimyasal metotla kan glikoz ölçümü	-	-	% 88.88

Al-Taeve ve arkadaşları[51]	Diyabet Hastalarının IoT tabanlı takibi	Mobil ağ geçidi ile Kan basıncı, ağırlık ve kan şekeri ölçümü	-	22 diyabet hastası	% 80
Chakraborty ve arkadaşları[52]	IoT tabanlı endüstriyel uygulamalar için giyilebilir bir kablosuz elektrokulogram	Android ve Wifi tabanlı Elektrokulogram (EOG)	-	-	7.8 db(SNR)
Wang ve arkadaşları[53]	Kablosuz kontrollü gastrik biyoelektrik aktivite izleme sistemine entegre edilebilen ilk yüksek enerjili stimülatör implantı	RF ve Wifi tabanlı ve LABwiev üzerinden görüntü işlem ve analizine dayalı mide stimülasyon izleme sistemi	-	2 test hayvanı (domuz) üzerinde denenmiştir.	-
Rotariu ve arkadaşları[54]	Geçici kalp pili taşıyan hastalar için kablosuz uzaktan izleme sistemi	WSN, Erişim Noktası (AP), Tekrarlayıcı Düğüm(Range Extender - RE)	Nabız algılama algoritması	-	-
Agarwal ve arkadaşları[55]	Kablosuz, implante edilebilir sürekli göz içi basıncı izleme (GİB) sistemi	Mobil telefon, Bluetooth ve RFID tabanlı göz içi basınç ölçümü	Bluetooth için auto-tuning algoritması	Ex vivo domuz gözü üzerinde denenmiştir.	-
Jia ve arkadaşları[56]	Kablosuz olarak kafaya monte edilebilir bluetooth tabanlı dayalı ve serbest yüzen implante edilebilir optogenetik uyarıcı (FF-WIOS) implant	PC ve Bluetooth tabanlı optogenetik uyarıcı	-	Fareler üzerinde denenmiştir	-
Majerus ve arkadaşları[57]	Koşullu Mesane Nöromodülasyonu için Kablosuz İmlante Edilebilir Basınç Monitörü	Kablosuz ve katater içermeyen RF tabanlı Mesane basınç ölçümü	-	Labaratuvar hayvanları	-
Mecheraoui ve arkadaşları[58]	Ayak düşmesi stimülasyonunda kullanılan ZigBee tabanlı bir kablosuz ayakkabı içi sensör	ZigBee tabanlı ayakkabı içi stimülatör	Topuk hareketi algoritması	-	%99,98
Rigas ve arkadaşları[60]	Parkinson hastalarında titreme aktivitelerinin değerlendirilmesi	HAYIR	Hidden Markov Model	23 denek (18 parkinson hastası, 5 sağlıklı denek)	% 87

Sung ve arkadaşları[61]	LiveNet IoT Giyilebilir ve Takılabilir Cihazlar için Algılama, Sınıflandırma ve Analiz Sistemi	LiveNet WBAN ile EKG, sıcaklık, nabız v.b çeşitli biyolojik işaretlerin ölçümü	HMM (Hidden Markov Model) FFT (Fast Fourier Transform)	Belirtilmemiş	%95-%100
Asthana ve arkadaşları[62]	IoT ve giyilebilir teknolojiler kullanılarak Önleyici sağlık hizmeti için akıllı tavsiye sistemi	WBAN ve ağ geçidi ile vücut sıcaklığı, ağırlık, 3d ivme ve nabız ölçümü	Metin madenciliği modeli	Amerikan elektronik sağlık kayıtları (135.000) [58]	0,1066 RMSE
Zeng ve arkadaşları[69]	Mobil sensör ağı kullanarak CNN tabanlı insan aktivite tanımlaması	Mobil sensör ağı ile 3D ivme ölçümü	Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları(PCA-ECDF)	Skoda[70] Opportunity [71] Actitracker [72]	% 88.19 % 76.83 % 96.88
Yasin ve arkadaşları[73]	IoT tabanlı giyilebilir cihazlarda kardiyovasküler hastalıkların tahmini için güvenli işlemci	Düşük güçlü EKG işlemcisi ile EKG ölçümü	DPLL, PRL, SARLock	AHA(American Hearth Association) [74] PhysioNet NSRDB[75] MIT-BIH[49]	% 86
Rav'ı ve arkadaşları[76]	İnsan Aktivitesi Tanıma için Derin Öğrenme: Düşük Güçte Cihazlarda Kaynak-Verimli Bir Uygulama	İvme ölçer ve jiroskop ile insan aktivite ölçümü	STFT, Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	WISDM v1.1 [77] ActiveMiles [79] Daphnet FoG[80] Skoda[70]	% 98.2 % 95.1 % 91.7 % 96.7
Rav'ı ve arkadaşları[78]	Mobil ve giyilebilir sağlık cihazları için düğüm noktası sensör analizine derin öğrenme yaklaşımı	İvmeölçer ve jiroskop ile insan aktivite ölçümü	STFT, Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	ActiveMiles [79] WISDM v1.1 [77] WISDM v2.0 [81-82] Daphnet FoG[80] Skoda[70]	% 95.7 % 98.6 % 92.7 % 95.3 % 95.8
B. Yong ve arkadaşları[83]	IoT tabanlı akıllı fitness sistemi	İvme ve nabız ölçer ile yakılan kalorinin hesaplanması	3D Derin Konvolüsyonel Yapay sinir ağları	KTH veri seti[84] (100 video)	% 88.6
Sandeep K. Sood ve Isha Mahajan[85]	Çikunya virüsünün belirlenmesi ve kontrol altına alınması	Sağlık sensörleri, konum sensörleri, ilaç sensörleri, çevre sensörleri ve meteorolojik sensörler ile enfekte bireyin bulunması	Fuzzy C-Means	Health data Environmental data Medicinal data Location data Meteorological data	%91.4

Huang ve arkadaşları[87]	Gözlükleriniz Diyetinizi Biliyor: Elektromiyografi Sensörleri Kullanarak Diyet Denetimi	Bluetooth ve akıllı telefon tabanlı diyet takibi	Weka J48 karar ağacı[89]	7 insan denek	%96
W.Y. Shi and J.-C. Chiao[90]	Kablosuz Giyilebilir Bilek Sensörü Kullanarak Sinir Ağı Tabanlı Gerçek Zamanlı Kalp Sesi Takibi	Bluetooth tabanlı ve 2 akusitik sensör ile kalp seslerini dinleme	İki katmanlı 500 tansig nöronlu Levenberg-Marquardt algoritması[91]	-	%99

Çizelge 1.' de görüldüğü gibi odaklanılan konulara yönelik çalışmalarda genellikle kablosuz sensör ağlarına dayalı EKG, nabız, vücut sıcaklığı ve vücut ivmelenmesi gibi ölçümler kullanılmıştır. Çalışmalarda 7 adet geleneksel ve 1 adet akıllı takılabilir cihaz uygulaması da görülmektedir. Yapılan çalışmalar genelde teşhis ve izlemeye yöneliktir. Tedaviye yönelik cihaz uygulamaları **Çizelge 1.**' den de görüleceği gibi oldukça azdır. Hem geleneksel mimariyi, hem de yapay zekâ uygulamalarını birleştiren çalışmalar da başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Doktorların veya diğer sağlık hizmetleri görevlilerinin, kronik olarak devam eden hastalıklar için hastayı en iyi izleyebileceği ortamlar hastanın doğal yaşamıdır. Bundan dolayı hastaları doğal yaşamında izlemek için çeşitli taşınabilir izleme cihazlarına ihtiyaç vardır. Bu cihazlar hastalardan aldıkları veriyi ilgili sağlık hizmet sunucularına (hastaneler, sigorta şirketleri vb.) göndererek o kişiye ve sağlık hizmetlerinde geleceğe dönük çeşitli kararları daha verimli bir şekilde almalarını sağlayabilir. Çalışmada IoT tabanlı geleneksel yöntemlerle yapılan uygulamalar ve akıllı sistem uygulamaları ayrı ayrı incelenmiş ve tartışılmıştır. Çalışmaların kardiyovasküler sistemlere yönelik uygulamalar üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Giyilebilir ve takılabilir sistemlerde akıllı uygulamalar kullanılarak sağlık sunucularının ve sistemlerin iş yükü, sistemlerin enerji verimi ve güvenliği gibi sorunlara çözümler getirmeye çalışılmıştır.

IBM Truenorth, Samsung Exynos 8895 ve Huawei Kirin 970 gibi NPU (Neural Processing Unit)' ya sahip çipler ileriye dönük IoT tabanlı uygulamalar için kullanılabilir. Bu çipler sayesinde eğitilebilir-öğrenen sistemler artık doktor veya hemşireye gerek kalmadan hastadaki giyilebilir sensör ağlarından bilgileri alarak, hasta için bir sağlık sunucu gibi görev yapabilir. Örneğin hastanın, vücuttan EEG, EKG, EMG, kan basıncı, kan şekeri v.b parametreler yapay işlem ünitesine sahip giyilebilir cihazlarla alınabilir ve hastanın kendisi hakkında hastaneye gitmeden bilgi sahibi olması sağlanabilir.

Hatta ilerdeki çalışmalar için MR, ultrasonografi gibi tanılama tekniklerine alternatif olabilecek bölgesel vücut simülasyonu NPU' lu çiplerin kullanıldığı giyilebilir cihazlar vasıtasıyla hastada gelişen herhangi bir lezyon ön tanısı sağlanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] He W., Goodkind D. and Kowal P., "An Aging World: 2015", *US. Census Breau International Population Reports*, 95: 1-16, (2016).
- [2] Neagu G., Preda Ş. and Stanciu A., "A Cloud-IoT Based Sensing Service for Health Monitoring", *The 6th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering – EHB*, Sinaia, 53 – 56, (2017).
- [3] Qi J., Yang P., Amft O., Dong F. and Xu L., "Advanced internet of things for personalised healthcare systems: A survey", *Pervasive and Mobile Computing*, 41: 132–149, (2017).
- [4] <http://www.businessinsider.com/there-will-be-34-billion-iot-devices-installed-on-earth-by-2020-2016-5>, "There will be 24 billion IoT devices installed on Earth by 2020" , (Accesed 29 Feb 2018).
- [5] Laplante P.A. and Laplante N., "The Internet of Things in Healthcare Potential Applications and Challenges", *IT Pro*, 18: 2 – 4, (2016)
- [6] Roggen D., Perez D.G., Fukumoto M. and Laerhoven K.V., "Wearables Are Here to Stay", *IEEE 17th Wearable Computer Symposium (ISWC)*, 13: 14 – 18, (2014).
- [7] Bonato P., "Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering" *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 22: 18-20, (2003).
- [8] Baber C., "Can Wearables Be Wireable?", *Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications*, IET Seminar, London, 13-18, (2007).
- [9] <https://www.ftc.gov/news-events/contests/iot-rules>, "Federal Trade Comission" (2018).
- [10] Geng H., "IPv6 for Iot and Gateway", *Internet of Things and Data Analytics Handbook*, Wiley Telecom, 816, (2017).
- [11] Lo B.P.L., Ip H. and Yang G.-Z., "Transforming Health Care", *IEEE Pulse*, 7: 4-8, (2016).

- [12] Khan S.F., “Health Care Monitoring System in Internet of Things (IoT) by Using RFID”, *The 6th International Conference on Industrial Technology and Management*, Cambridge, 198 – 204, (2017).
- [13] Lebepe F., Niezen G., Hancke G.P. and Ramotsoela T.D., “Wearable stress monitoring system using multiple sensors”, *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Poitiers, 895–898, (2016).
- [14] https://cordis.europa.eu/project/rcn/93799_es.html, “OPTIMI Project”, (2018).
- [15] Majoe D., Bonhof P., Kaegi-Trachsel T., Gutknecht J. and Widmer L., “Stress and Sleep Quality Estimation from a Smart Wearable Sensor”, *5th International Conference on Pervasive Computing and Applications*, Maribor, 14-19, (2010).
- [16] Alexander A. and Arun C.S., “Mobile ECG Monitoring Device Using Wearable Non Contact Armband”, *International Conference on Circuits Power and Computing Technologies*, Kollam, 1-4, (2017).
- [17] D. Yotha, C.Pidhalek, S. Yimman and Niramitmahapanya S., “Design and Construction of the Hypoglycemia Monitor Wireless System for Diabetic”, *Biomedical Engineering International Conference*, Laung Prabang, 1-4, (2016)
- [18] <http://www.libelium.com/130220224710/>, “e-Health Sensor Platform for Biometric and Medical applications”, (2018).
- [19] Kaplan M., Berk T.N., Çemrek B., Şahin S. and Fidan U., “Mobile Physiological Signal Monitoring System for Family Medicine”, *Medical Technologies National Congress*, Trabzon, 1-4, (2017).
- [20] Kang J. J., Luan T.H. and Larkin H., “Inference System of Body Sensors for Health and Internet of Things Networks”, *14th International Conference*, Singapore, 94-98, (2016).
- [21] Benadda B., Beldjilali B., Mankouri A. and Taleb O. “Secure IoT solution for wearable health care applications, case study Electric Imp development platform”, *International Journal of Communication System*, 31: 5 , (2018).
- [22] Jha V., Prakash N. and Sagar S., “Wearable Anger-Monitoring System” *ICT Express*, 3: 3, (2017).
- [23] <https://www.nih.gov/>, “National Institute of Health”, (2018).
- [24] Santhi V., Ramya K., Tarana A.P.J. and Vinitha G., “IOT Based Wearable Health Monitoring System for Pregnant Ladies Using CC3200”, *International Journal of Advanced Research Methodology in Engineering & Technology*, 1: 3, (2017).
- [25] Delrobaei M., Memar S., Pieterman M., Stratton T.W., McIsaac K. and Jog M., “Towards Remote Monitoring of Parkinson’s Disease Tremor Using Wearable Motion Capture Systems”, *Journal of the Neurological Sciences*, 384: 38-45, (2018).
- [26] Rahimi F., Bee C., Debicki D., Roberts A.C., Bapat P. and Jog M., “Effectiveness of boNT An in Parkinson’s disease upper limb tremor management”. *Canadian Journal of Neurologic Science*, 40: 663–669, (2013).
- [27] Grimaldi G. and Manto M., “Tremor from Pathogenesis to Treatment, Morgan and Claypool”, *San Rafael*, CA USA, (2008).
- [28] Zwarts M.J., Drost G. and Stegeman D.F., “Recent progress in the diagnostic use of surface EMG for neurological diseases”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5): 287–291, (2000).
- [29] Spieker S., Ströle V., Sailer A., Boose A., Dichgans J., “Validity of long-term electromyography in the quantification of tremor”, *Movement Disorders*, 12(6): 985–991, (1997).
- [30] Foerster F. and Smeja M., “Joint amplitude and frequency analysis of tremor activity”, *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 39(1): 11–19, (1999).
- [31] Salarian A., Russmann H., Wider C., Burkhard P.R., Vingerhoets F.J.G. and Aminian K., “Quantification of tremor and bradykinesia in Parkinson’s disease using a novel ambulatory monitoring system”, *IEEE Transactions Biomedical Engineering*, 54(2): 313–322, (2007).
- [32] Rahimi F., Duval C., Jog M., Bee C., South A., Jog M., Edwards R. and Boissy P., “Capturing whole-body mobility of patients with Parkinson disease using inertial motion sensors: expected challenges and rewards”, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, 5833-5838, (2011).
- [33] Rahimi F., Bee C., South A., Debicki D. and Jog M., “Variability of hand tremor in rest and in posture a pilot study”, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, 470–473, (2011) .
- [34] Chen B-R., Shyamal P., Buckley T., Rednic R., McClure D.J., Shih L., Tarsy D., Welsh M. and Bonato P., “A Web-Based System for Home Monitoring of Patients With Parkinson’s Disease Using Wearable Sensors”, *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*, 58(3): 831-836, (2011).
- [35] Kuusik A., Alam M.M., Kask T. and Gross-Paju K., “Wearable M-Assessment System for Neurological Disease Patients”, *IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Singapore, 201-206, (2018).
- [36] Szczesna A., Nowak A., Grabiec P., Paszkuta M. and Tajstra, M., “Survey of Wearable Multi-modal Vital Parameters Measurement Systems Innovations in Biomedical Engineering” *Springer International Publishing, Cham*, 323-329, (2017).
- [37] <https://www.mstrust.org.uk/a-z/expanded-disability-status-scale-edss/>, “Expanded Disability Status Scale (EDSS)”, (2018).
- [38] Huang C.H. and Cheng K.W., “Rfid technology combined with iot application in medical nursing system”, *Bulletin of Networking, Computing, Systems, and Software*, 3(1): 20-24, (2014).
- [39] Otto C., Milenkovic A., Sanders C. and Jovanov E., “System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring”, *Journal of Mobile Multimedia*, 1(4): 307-326, (2006).
- [40] Lukowicz P., Anliker U., Ward J., Troster G., Hirt E., Neufelt C., “Amon: A wearable medical computer for high risk patients”, *6th International Symposium on*, Seattle, 133-134, (2002).

- [41] Milenkovic A, Otto C., Jovanov E., “Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and implementation”, *Computer Communications*, 29(13): 2521-2533, (2006).
- [42] Woo Woo M., Lee J.W., Park K.H., “A reliable IoT system for Personal Healthcare Devices”, *Future Generation Computer Systems*, 78: 626–640, (2018).
- [43] Gia T.N., Rahmani A.M., Westerlund T., Tenhunen L.H., “Fault tolerant and scalable IoT-based architecture for health monitoring”, *IEEE Sensors Applications Symposium*, Zadar, 1-6 , (2015).
- [44] Misra S., Gupta A., Krishna P.V., Agarwa H., Obaidat M.S., “An adaptive learning approach for fault-tolerant routing in Internet of things”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Shanghai, 815–819, (2012).
- [45] Chaithra S., Gowrishankar S., “Study of secure fault tolerant routing protocol for IoT”, *International Journal of Science and Research*, 5(7): 1833–1838, (2016).
- [46] Fua Y., Liub J., “System design for wearable blood oxygen saturation and pulse measurement device”, *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences*, (AHFE), 3: 1187-1194, (2015).
- [47] Sojuyigbe S., Daniel K., “Wearables/IOT Devices: Challenges and solutions to integration of miniature antennas in close proximity to the Human Body”, *IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity*, Santa Clara, 75-78, (2015).
- [48] Hooshmand M., Zordan D., Testa D.D., Grisan E., Rossi M., “Boosting the Battery Life of Wearables for Health Monitoring Through the Compression of Biosignals”, *IEEE Internet Of Things Journal*, 4(5): 1647-1662, (2017).
- [49] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/opportunity+activity+recognition#>, “MIT-BIH dataset”, (2018).
- [50] Perez J.M.D., Misa W.B., Tan P.A.C., Robles J., “A wireless Blood Sugar Monitoring System Using Ion-Sensitive Field Effect Transistor”, *IEEE Region 10 Conference*, Singapore, 1742-1746, (2016).
- [51] Al-Tae M.A., Al-Nuaimy W., Al-Ataby A., Muhsin Z.J., Abood S.N., “Mobile Health Platform for Diabetes Management Based On The Internet-Of-Things”, *IEEE Jordan Conference On Applied Electrical Engineering And Computing Technologies (AEECT)*, Amman, 1-5, (2015).
- [52] Chakraborty S., Dasgupta A., Dash P., Routray A., “Development of a wireless wearable electrooculogram recorder for IoT based applications”, *IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Edinburgh, 1991-1995, (2017).
- [53] Wang R., Abukhalaf Z., Javan-Khoshkholgh A. and Wang T.H.H., Sathar S., Du P., Angeli T.R., Cheng L.K., “A Miniature Configurable Wireless System for Recording Gastric Electrophysiological Activity and Delivering High-Energy Electrical Stimulation”, *IEEE Journal On Emerging And Selected Topics In Circuits And Systems*, 8(2): 221-229, (2018).
- [54] Rotariu C., Manta V. and Costin H., “Wireless Remote Monitoring System for Patients with Cardiac Pacemakers”, *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, Iasi, 845-848, (2012).
- [55] Agarwal A., Shaperol A., Rodger D., Humayun M., Tai Y-C. and Emami A., “A Wireless, Low-Drift, Implantable Intraocular Pressure Sensor with Parylene-on-oil Encapsulation”, *IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC)*, San Diego, 1-4, (2018).
- [56] Jia Y., Lee B., Mirbozorgi A. A., Ghovanloo M., Khan W. and Li W., “Towards a Free-Floating Wireless Implantable Optogenetic Stimulating System” *IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Boston, 381-384, (2017).
- [57] Majerus S., Makovey I., Zhui H., Ko I W. and Damaser M.S., “Wireless Implantable Pressure Monitor for Conditional Bladder Neuromodulation”, *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, Atlanta, 1-4, (2015).
- [58] Mecheraoui C., Cobb J. and Swain I., “Evaluation of a wireless in-shoe sensor based on ZigBee used for drop foot stimulation”, *IEEE Radio and Wireless Symposium*, Santa Clara, 423-426, (2012).
- [59] Lymberis A., “Smart Wearables for Remote Health Monitoring, From Prevention to Rehabilitation: Current R&D”, *4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, Birmingham, 272-275, (2003).
- [60] Rigas G. and Tzallas A.T., Tsiouras M.G., Bougia P., Tripoliti E.E., Baga D., Fotiadis D.I., Tsouli S.G., Konitsiotis S., “Assessment of tremor activity in the Parkinson’s disease using a set of wearable sensors”, *IEEE Transactions Information Technology Biomedicine*, 16(3): 478–487, (2012).
- [61] Sung M., Marci C. and Pentland A., “Wearable feedback systems for rehabilitation” *Journal of neuroengineering and rehabilitation 2.1*, 17: 2-17, (2005).
- [62] Asthana S., Megahed A. and Strong R., “A Recommendation System for Proactive Health Monitoring Using IoT and Wearable Technologies”, *IEEE 6th International Conference on AI & Mobile Services*, Honolulu, 14-21, (2017).
- [63] Davis D.A., Chawla N.V., Nicholas B., Christakis N. and Barabasi A-L., “Predicting individual disease risk based on medical history”, *Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management*, California, 769-778, (2008).
- [64] McCormick, Tyler H., Cynthia Rudin, and David Madigan. “Bayesian hierarchical rule modeling for predicting medical conditions”, *The Annals of Applied Statistics*, 6(2): 652-668, (2012).
- [65] Choi E., Bahadori M.T., Schuetz A., Stewart W. F. and Sun J., “RETAIN: Interpretable Predictive Model in Healthcare using Reverse Time Attention Mechanism”, *Accepted at Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 1: 3504-3512, (2016).
- [66] Paxton C., Saria S. and Niculescu-Mizil A., “Developing predictive models using electronic medical records: challenges and pitfalls”, *AMIA Annual Symposium Proceeding Archive*, Chicago, 1109–1115 (2013).
- [67] <https://catalog.data.gov/dataset?tags=ehr>, “Data.Gov”, (2018).
- [68] Mark H., Frank E., Holmes G., Pfahringer B., Reutemann P. and Witten I.H., “WEKA data mining software: an

- update”, *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1): 10-18, (2009).
- [69] Zeng M., Nguyen L.T., Yu B., Mengshoel O.J., Zhu J., Wu P. and Zhang J., “Convolutional neural networks for human activity recognition using mobile sensors”, *6th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services*, Austin, 197–205, (2014).
- [70] <http://www.ife.ee.ethz.ch/research/activity-recognition-datasets.html>, “Skoda Mini Checkpoint Dataset”, (2018).
- [71] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/opportunity+activity+recognition>, “Opportunity Activity Recognition Dataset”, (2018).
- [72] <http://www.cis.fordham.edu/wisdm/dataset.php>, “Actitracker Dataset”, (2018).
- [73] Yasin M., Tekeste T., Saleh H., Mohammad B., Sinanoglu O. and Ismail M., “Ultra-Low Power Secure IoT Platform for Predicting Cardiovascular Diseases”, *IEEE Transactions On Circuits And Systems-I: Regular Papers*, 64(9): 2624-2637, (2017).
- [74] <https://www.physionet.org/physiobank/database/nsrdb/>, “PhysioNet NSRDB”, (2018).
- [75] <https://www.physionet.org/physiobank/database/ahadb/>, “American Heart Association ECG Database”, (2018).
- [76] Rav’I D., Wong C., Lo B. and Yang G-Z., “Deep learning for human activity recognition: A resource efficient implementation on low-power devices”, *13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, San Francisco, 71–76, (2016).
- [77] Kwapisz J. R., Weiss G. M. and Moore S. A., “Activity recognition using cell phone accelerometers” *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 12(2): 74–82, (2011).
- [78] Rav’I D., Wong C., Lo B. and Yang G-Z., “A Deep Learning Approach to on-Node Sensor Data Analytics for Mobile or Wearable Devices”, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1): 56-64, (2017).
- [79] <http://hamlyn.doc.ic.ac.uk/activemiles/>, “ActiveMiles Dataset”, (2018).
- [80] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Daphnet+Freezing+of+Gait>, “Daphnet Fog Dataset”, (2018).
- [81] Lockhart J. W., Weiss G. M., Xue J. C., Gallagher S. T., Grosner A.B. and Pulickal T. T., “Design considerations for the WISDM smart phone-based sensor mining architecture” *SensorKDD '11 Proceedings of the Fifth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data*, California, 25–33, (2011).
- [82] Weiss G. M. and Lockhart J. W., “The impact of personalization on smartphone-based activity recognition” *AAAI Workshop Activity Context Representation: Techniques and Languages Report*, Chicago, 98–104, (2012).
- [83] Yong B., Xu Z., Wang X., Cheng L., Li X., Wua X. and Zhou Q., “IoT-based intelligent fitness system”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 118(1): 14-21, (2017).
- [84] <http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>, “KTH Dataset”, (2018).
- [85] Sood S.K. and Mahajan I., “Wearable IoT sensor based healthcare system for identifying and controlling chikungunya virus”, *Computers in Industry*, 91: 33–44, (2017).
- [86] Lopez H.J.D., Siller M. and Huerta I., “Internet of vehicles: Cloud and fog computing approaches”, *International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Bari, 211-216, (2017).
- [87] Huang Q., Wang W. and Zhang Q., “Your Glasses Know Your Diet: Dietary Monitoring Using Electromyography Sensors”, *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3): 705-712, (2017).
- [88] <https://www.thevisioncouncil.org/>, “VisionWatch Canada Market Overview”, (2015).
- [89] Pandey P. and Prabhakar R., “An analysis of machine learning techniques (J48 & AdaBoost)-for classification”, *First India International Conference on Information Processing (IICIP)*, Delhi, 1-6, (2016).
- [90] Shi W.Y. and Chiao J.-C., “Neural Network Based Real-time Heart Sound Monitor Using a Wireless Wearable Wrist Sensor”, *IEEE Dallas Circuits and Systems Conference (DCAS)*, Arlington, 1-4, (2016).
- [91] https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/nnet/nnet_ug.pdf