

BULUT DESTEKLİ MEDİKAL NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI UZAKTAN SAĞLIK İZLEME SİSTEMİ

Murtaza CİCİOĞLU *^{ID}
Ali ÇALHAN **^{ID}

Alınma: 09.01.2021; düzeltme: 04.08.2021; kabul: 20.09.2021

Öz: Nesnelerin interneti kavramı günümüzde kendinden sıkça söz ettiren bir kavram olmakla birlikte yeni nesil heterojen haberleşme ağları olarak ifade edilmektedir. Özellikle sağlık alanı başta olmak üzere, yerleşim, tarım, taşıma, endüstri vb. alanlarında her geçen gün çözümler üretmekte ve bulut teknolojileriyle birlikte anılmaktadır. Sağlık alanında Medikal Nesnelerin İnterneti olarak isimlendirilen Nesnelerin İnterneti farklı tipte sağlık uygulamaları ve cihazların birbirleri ile haberleşmesini ön plana çıkarmaktadır.

Çalışmamızda bir bireyin çeşitli fizyolojik ölçümlerinin kablosuz haberleşme ile merkezi bir düğümde toplanması ve bu düğümün bir ağ geçidine verileri göndermesi şeklinde bir senaryo Riverbed Modeler benzetim programında gerçekleştirilmiştir. Ağ geçidi aldığı verileri anlık olarak buluta aktarması ve ardından bir mobil uygulama sayesinde eşzamanlı olarak sağlık personelinin ekranında görüntülenmesini sağlayacak bir altyapı tasarlanmıştır. Bu sayede gerçek zamanlı bir Medikal Nesnelerin İnterneti uygulaması önerilmektedir. Kalp ritmi, kan basıncı, oksijen miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum oranı verileri anlık olarak birey ve sağlık personeli arasında paylaşılmış olup özellikle pandemi süreçlerinde kullanılabilecek bir uzaktan sağlık izleme sistemi kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Medikal Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Uzaktan Sağlık İzleme, Kablosuz Haberleşme

Cloud Supported Internet of Medical Things Based Remote Health Monitoring System

Abstract: The concept of the Internet of Things as a new generation heterogeneous communication networks is frequently mentioned today. It produces solutions especially in the field of health, settlement, agriculture, transportation, industry, etc. associated with cloud technologies. The Internet of Things, which is called the Medical Internet of Things in the field of health, highlights the communication of different types of health applications and devices with each other. In our study, a scenario has been realized in the Riverbed Modeler simulation program in which an individual's various physiological measurements are collected in a central node with wireless communication and it sends data to a gateway. An infrastructure has been designed to allow the gateway to instantly transfer the data it receives to the cloud and then simultaneously display it on the screen of healthcare personnel thanks to a mobile application. In this way, a real-time Medical Internet of Things application is recommended. Heart rate, blood pressure, oxygen amount, body temperature and respiratory rate data are instantly shared between individuals and healthcare personnel, and a remote health monitoring system has been established that can be used especially in pandemic processes.

Keywords: Internet of Medical Things, Cloud Computing, Remote Health Monitoring, Wireless Communication

* Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

** Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

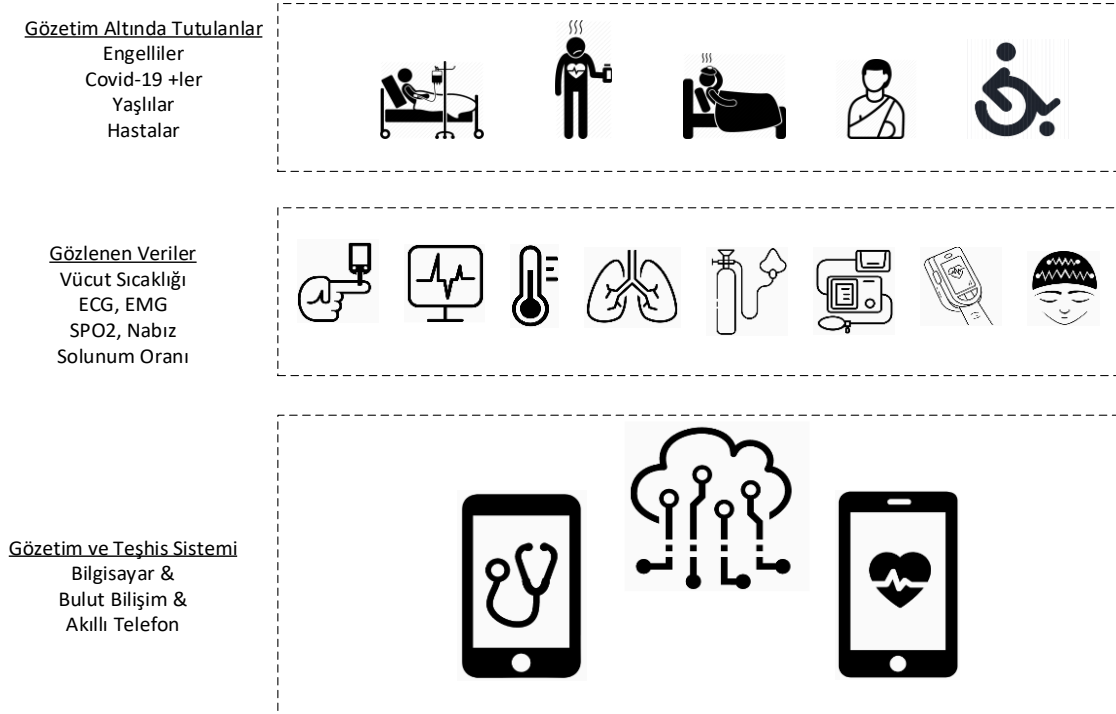
İletişim Yazarı: Murtaza CİCİOĞLU (murtazacicioglu@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Uzaktan sağlık izleme sistemleri Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramının önemli bileşenlerinden biridir. Sağlık alanında kullanılan IoT teknolojilerine Medikal Nesnelerin İnterneti (IoMT) ismi verilmiştir. IoMT, ađ teknolojilerini kullanarak sağlık hizmetleri bilgi teknolojisi sistemlerine bağlanabilen tıbbi cihazların ve uygulamaların bir birleşimi olarak tanımlanabilir. IoMT'nin amacı sağlık giderlerini düşürmek ve sağlık takibi gerekli insanların hayat kalitelerini arttırmaktır. IoMT kavramı; Wi-Fi, 4G, 5G gibi ađ teknolojileri ile solunum oranı, kalp ritmi, oksijen miktarı gibi fizyolojik veriler için tasarlanmış algılayıcı/eyleyici gibi çeşitli tıbbi cihaz ve devrelerin farklı yazılım platformları ile beraber çalışabilirlik ilkesine dayanmaktadır.

Literatürde, birden fazla uzaktan sağlık izleme devresinin ve bu devrelerin aynı ortamı kablosuz haberleşme ile paylaşmaları IEEE 802.15.6 protokolü ile tanımlanmıştır. Bunun dışında çeşitli haberleşme altyapılarını kullanan fakat tek bir görevi yerine getiren uzaktan sağlık izleme sistemleri de mevcuttur. Günümüz ihtiyaçları ve farklı sağlık verilerinin birlikte değerlendirilmesi durumu göz önüne alındığında IEEE 802.15.6 protokolü sayesinde birden fazla işlemin birlikte internet altyapısı kullanılarak gerçekleştirilmesinin daha verimli olacağı aşikârdır.

Uzaktan sağlık izleme sistemlerinin sağlık verilerini toplama yeteneği yanında bu verileri en az kayıpla ve en az gecikme ile hedefe göndermeleri beklenmektedir. Bu sebeplerden dolayı IoMT sistemlerinin belirli bir düzeyde servis kalitesi gereksinimlerini karşılayabilmesi gerekmektedir. Ayrıca IoMT sistemlerin topladığı sağlık verilerinin daha sonra kullanılması ve analiz edilebilmesi için depolanması da gerekmektedir. Yerel olarak çeşitli veri tabanları kullanılabileceği gibi bulut tabanlı depolamanın da kullanılması çoğu zaman daha verimli olmaktadır. Şekil 1'de IoMT kavramı için bir görsel verilmiştir.



Şekil 1:

Medikal nesnelerin interneti çerçevesi

Günümüzde bulut bilişim adı altında çeşitli hizmetler verilmektedir. Bu hizmetlerin başında verinin depolanması ve analiz edilmesi gelmektedir. İnternet tabanlı bilişim hizmetleri adı altında ifade edilebilen bulut bilişim özellikle kaynak paylaşımı ile uzaktan sağlık izleme sistemleri için önemli rol oynamaktadır. Herhangi bir zamanda ve konumda buluta yüklenebilecek ve gerektiğinde buluttan çekilebilecek veriler anlık veri takibi için önemlidir. Ayrıca gerçek zamanlı bir sağlık izleme sistemi için anlık veri paylaşımı hayati önem arz etmektedir.

Çalışmamızda IEEE 802.15.6 protokolünü modellediğimiz bir senaryoda üretilen çeşitli sağlık verilerinin toplandığı ve daha sonra soket programlama ile ilgili porta aktarılıp ardından bulutta depolandığını bir mimari gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mobil uygulama geliştirilerek bulutta depolanan bu veriler sağlık personeli gibi ilgili kişiler tarafından anlık görüntülenebilecektir. Geliştirilen bu sistem ile hem daha gerçekçi bir IoMT ortamı tasarlanmış hem de çeşitli senaryolar ve sağlık durumlarının gözlemlenmesine imkan sunacak bir yaklaşım geliştirilmiştir. Senaryoda seçilen sağlık verileri özellikle COVID-19 belirtilerinin teşhis edilmesinde kullanılan kalp ritmi, kan basıncı, oksijen miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum oranına verilerinden oluşmaktadır. Bu sayede uzaktan sağlık izleme ile COVID-19 pozitif vakalarının tespiti kolaylaştırılıp temassız ve uzaktan teşhis koyma imkanı sağlanmıştır.

Makalenin ikinci bölümünde IoMT ile ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde tasarlanan IoMT yapısı bileşenleri olan kablosuz ağ teknolojisi, bulut teknolojisi ve mobil program yapısı anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sağlık giderlerinin ve sağlık personelinin iş yükünün düşürülmeye çalışıldığı her geçen gün, IoMT çalışmaları da giderek hız kazanmaktadır. IoMT mimarilerinde özellikle sağlık verilerinin toplanması kısmında çalışabilecek farklı yapılarda ve görevlerde algılayıcı/eyleyici düğümler bulunmaktadır. Bu düğümler vücut sıcaklığı, nabız, ECG, oksijen miktarı gibi çeşitli büyüklükleri ölçebilmektedirler. Her biri farklı donanıma sahip iken aynı ortamda beraber bulunmaları ve çalışmaları gerekebilir. Bu sebeple aynı haberleşme kaynaklarını kullanabilen mimarilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca gözetim altında bulunan ve düğümlerle donatılmış bireylerin normal yaşam hareketlerini de rahatça yapabilmeleri bir diğer beklentidir. Bu beklenti düğümler ve diğer IoT cihazları arasında kablosuz haberleşme zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu bölümde son zamanlarda yapılan IoMT çalışmaları ele alınmıştır.

Yazarlar çalışmalarında hasta izleme için anlam temelli ve bağlama duyarlı bir mimari önermiştir. Uygulanan IoMT sistemini değerlendirmek için gebelik diyabet hastalığına yönelik bir vaka çalışması üzerinde durulmuştur (Rhayem ve diğ., 2020). Bir başka çalışmada, IoMT ağ ortamına yönelik mevcut ve potansiyel tehditlere, bu tehditlerin hedeflediği gizlilik, bütünlük, inkâr etmeme, kimlik doğrulama, yetkilendirme ve kullanılabilirlik gibi ana güvenlik yapılarının sınıflandırılması yapılmıştır (Papaioannou ve diğ., 2020).

Yazarlar çalışmalarında, COVID-19 için Cognitive Radio-IoMT (CR-IoMT) kullanan, gizliliğe duyarlı, enerji açısından verimli bir yapı sunmaktadır. Yönlendirme maliyetini en aza indirmek için Kruskal algoritması blok zinciri kullanılmış ve bu sayede ağ performansını dengelemek için enerji verimliliği sağlanmıştır (Al-Turjman & Deebak, 2020). Diğer bir çalışmada yazarlar, kötü niyetli düğümleri tahmin eden bir sistem geliştirmişler ve bu düğümleri ortadan kaldırarak ağın devamlılığını sağlamışlardır (Awan ve diğ., 2020). Yine başka bir çalışmada tıbbi cihazlar ağının güvenliğini sağlamak için yeni bir mobil ajan tabanlı saldırı tespit sistemi tasarlanmıştır. Önerilen sistem hiyerarşik, özerk ve ağ düzeyinde izinsiz girişleri ve algılayıcı verilerindeki anormallikleri tespit etmek için makine öğrenimi ve regresyon algoritmaları kullanılmıştır (Thamilarasu ve diğ., 2020).

Yazarlar çalışmalarında uç hesaplama özellikli IoMT sisteminde ETS-DNN modeli olarak adlandırılan derin sinir ağı için yeni ve etkili bir eğitim şeması sunmaktadır. Önerilen ETS-DNN adında sistem ile verilerde bulunan kalıpları kullanarak daha doğru kararlar alabilmek için

veri toplama ve işlemeyi kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (Pustokhina ve diğ., 2020). Yazarlar sistem genelinde maliyeti en aza indirmek amacıyla IoMT mimarilerinde uç bilgi işlem tabanlı sağlık sistemini incelemişlerdir (Dong ve diğ., 2020). Kablosuz vücut alan ağların (KVAA) fiziksel sınırına bağlı olarak, IoMT KVAA içi ve KVAA ötesi olarak iki alt ağa ayrılmıştır. KVAA'larda, kablosuz kanal kaynak tahsisi problemi bir pazarlık oyunu olarak modellenmiş ve benzersiz Pareto en uygun noktası Nash pazarlık çözümünden yararlanılarak hesaplanmıştır.

IoMT konusunda uzaktan sağlık izleme, akıllı hastaneler gibi konularda bir derleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca çalışmada uzaktan izlenebilecek çeşitli hastalıklar hakkında da kısa bilgiler verilmiştir (Vishnu ve diğ., 2020). Başka bir çalışmada, kurtarıcıların hareketliliğinden yararlanılarak IoMT tabanlı afet kurtarıcı sağlık izleme sistemlerindeki rota kırılmasına yönelik etkili yönlendirme onarım çözümlerini ele almaktadır (Wei ve diğ., 2020). Bir inceleme makalesinde, devam eden COVID-19 pandemisi ile savaşmak için CIoMT (Cognitive IoMT) anlatılmıştır. CR tabanlı dinamik spektrum tahsis tekniği, çok sayıda cihazı ve çok sayıda uygulamayı barındırmak için bir çözüm olduğu öne sürülmüştür. CIoMT platformu, gerçek zamanlı izleme, uzaktan sağlık izleme, vakaların hızlı teşhisi, temas takibi, kümeleme, tarama ve gözetim sağlayarak enfeksiyonun önlenmesi ve kontrolü için tıp endüstrisindeki iş yükünü azalttığını ifade etmişlerdir (Swayamsiddha & Mohanty, 2020).

IoMT'de Fri-jam şemalarının kullanımını araştıran bir makalede, özellikle IoMT sisteminin veri toplama katmanı, veri yönetimi katmanı ve tıbbi sunucu katmanından oluşan üç katmanlı mimarisini anlatmışlardır (Li ve diğ., 2020). Ayrıca bazı güncel güvenlik şemaları sunulmuş ve IoMT'nin temel güvenlik sorunları analiz edilmiştir. Mevcut IoT tabanlı algılayıcılar ve IoT pazarından kaynaklanan algılayıcı sistemleri hakkında sistematik bir inceleme sunulmuştur (Ray ve diğ., 2020). İncelenen algılayıcılar arasında karşılaştırmalı analize yer verilmiştir. Algılayıcı verileriyle ilgili güvenlik ve gizlilik sorunları ve bu sorunları azaltmanın yolları da açıklanmıştır. Bir başka çalışmada araştırma/geliştirme planları ve uygulamaları dâhil olmak üzere sağlık sektörü için IoMT'nin durumu tanıtılmaktadır (Al-Turjman ve diğ., 2020). COVID-19 pandemisinde ortopedik için Tıbbi Nesnelerin İnterneti (IoMT): Roller, zorluklar ve uygulamalar konulu çalışma özellikle pandemide ortopedik sorunlar için IoMT konusundan bahsetmişlerdir (Pratap Singh ve diğ., 2020).

Bir başka çalışmada, enerji tüketimini optimize etmek için enerji verimli sisten-bulut (fog-cloud) Tıbbi Nesnelerin İnterneti mimarisi önerilmiştir. Önerilen mimaride Bluetooth özellikli biyosensörler kullanılmış, Bluetooth teknolojisinin enerji açısından verimli ve aynı zamanda uyku ve uyanık durumlarının etkinleştirilmesine yardımcı olduğu ifade edilmiştir (Tahir ve diğ., 2019). Ayrıca başka bir çalışmada bir tişört üzerine çeşitli algılayıcılar takılarak IoMT uygulaması yapılmıştır (Balestrieri ve diğ., 2019).

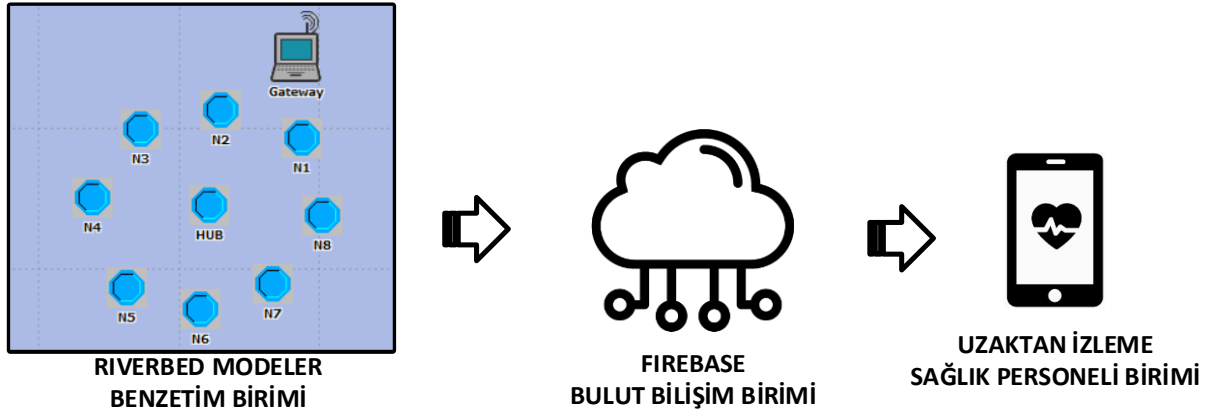
Yazarlar çalışmalarında belirsizlik faktörlerini göz önünde bulundurarak bulut tabanlı IoT ortamlarında büyük veri dağıtım sorunlarını ele almak için bir sistem önermişlerdir. Hem merkezi hem de dağıtılmış olarak Genetik Algoritma (GA) ve Simüle Tavlama Algoritması (SAA) olarak adlandırılan iki yapay zekâ (AI) tabanlı tekniği kullanarak sistemin performansını değerlendirmişlerdir (Al-Turjman ve diğ., 2019).

Literatürde IEEE 802.15.6 standardının kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır (Cicioğlu ve Çalhan, 2019, Ullah ve diğ., 2012, Rashwand ve diğ., 2016, Sarkar ve diğ., 2015, Al-Mazroa ve Rikli, 2015). Bu standardın desteklediği protokoller (CSMA/CA, Slotted-Aloha), fiziksel ve veri bağı katmanı özellikleri ve diğer detaylar için "IEEE 802.15.6-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks" kaynağına bakılması tavsiye edilir (IEEE, 2012).

Bu bölümde özellikle son yıllarda yapılan IoMT çalışmaları incelenmiştir. Bu incelemenin sonunda IEEE 802.15.6 protokolü, bulut teknolojisi ve IoT yazılımlarının beraber kullanıldığı ve COVID-19 pandemisi için geliştirilmiş bir yaklaşım görülmüştür. Bu sebeple hazırladığımız çalışma bu özellikleri bakımından literatüre katkı sağlayacaktır.

3. TASARLANAN MEDİKAL NESNELERİN İNTERNETİ YAPISI

Birbirine bağlı tıbbi cihazlar şeklinde de ifade edilen IoMT yapısı IoT tanımı gereği birden fazla cihaza sahip, heterojen yapıda ve internet bağlantısına sahip bir ağ altyapısına sahiptir. IoMT ağı, birlikte çalışabilen IoMT cihazlarının farklılıkları ve gördükleri işler bakımından her geçen gün çeşitlenmektedir. Giderek büyüyen heterojen IoMT yapısında işbirliği sağlayacak protokollerin, algoritmaların ve sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Çalışmamızda heterojen yapılar için geliştirilmiş başta sağlık olmak üzere spor ve askeri alanlar gibi farklı senaryolarda da kullanılabilen IEEE 802.15.6 tabanlı Kablosuz Vücut Alan Ağ (KVAA) mimarisi kullanılmıştır. KVAA yapısında farklı özelliklere ve görevlere sahip algılayıcı/eyleyicilerin insan vücudundan verileri elde edip merkezi bir düğüme aktarılması amaçlanmaktadır. Bu düğümler, görevleri, veri boyutları, veri öncelikleri, gönderilme sıklıkları gibi birçok bakımdan birbirinden farklılıklar göstermektedirler. Bu bakımdan KVAA yapısı IoMT açısından önem taşımaktadır. KVAA, IoMT'nin uç kısmında gerekli protokol ve algoritmaları sağlayarak IoMT'nin önemli bir iş yükünü gidermektedir. Şekil 2'de çalışmamızda tasarlanan mimarinin genel yapısı gösterilmektedir. Bu mimarideki KVAA altyapısı Riverbed Modeler benzetim programında tasarlanmıştır. KVAA yapısındaki haberleşme IEEE 802.15.6 protokolü ile gerçekleşmektedir. Bu protokole belirtilen sekiz farklı önceliğe ve göreve sahip algılayıcı düğümler ve bu düğümlerden gelen verileri toplayan bir koordinatör düğüm (HUB) temel alınmıştır. IEEE 802.15.6 standardında koordinatör düğüm HUB olarak adlandırılmıştır. Ancak bu çalışmada görevi ve daha anlaşılır olması sebebiyle koordinatör düğüm olarak isimlendirilmesi daha uygun görülmüştür. Senaryomuzda kullanılan düğümlerin x ve y koordinatları 100 x 100 (metre) bir alan üzerinde konuşlandırılmıştır.



Şekil 2:

Tasarlanan medikal nesnelerin interneti yapısı

Koordinatör düğüm topladığı verileri ağ geçidine göndermektedir. Ağ geçidinin görevi KVAA ağından aldığı verileri internete aktarmaktır. Riverbed Modeler yazılımından veriler ağ geçidi içinde yazılmış bir soket programlama tekniği ile dışarıya aktarılmaktadır. Bu sayede KVAA verileri buluta gönderilmiş olup veritabanına yazılmaktadır. Bu aşamada Firebase platformu kullanılmıştır. Daha sonrasında buluttaki veriler eş zamanlı olarak uzaktan sağlık izleme yazılımının yüklü olduğu sağlık personeli ya da hasta yakınının kullandığı akıllı cihazlara aktarılmaktadır. İlerleyen alt başlıklarda tasarlanan IoMT yapısının alt bileşenleri detaylı açıklanmaktadır.

3.1. Kablosuz Ağ Teknolojisi Yapısı

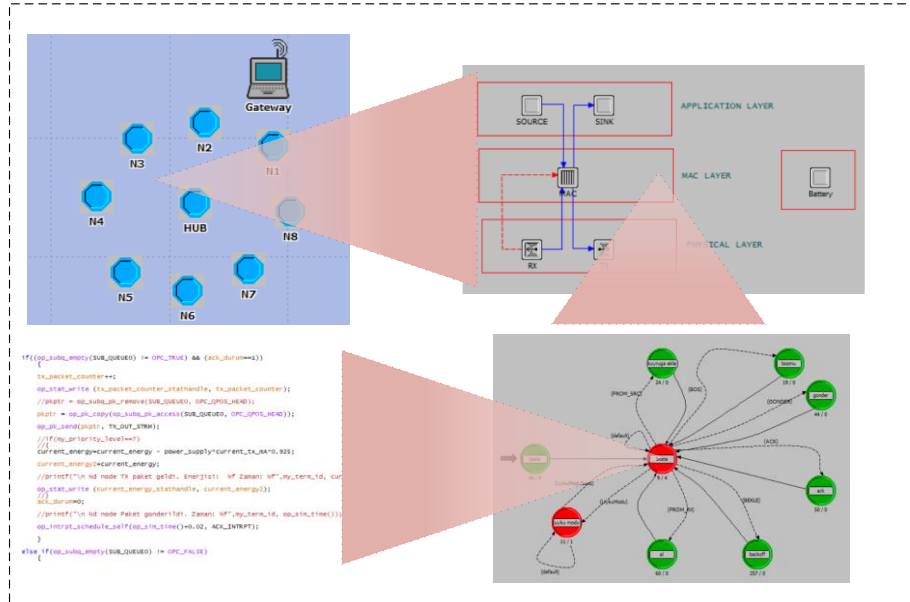
IoMT yapısında sağlık verileri Riverbed Modeler yazılımında programlanan IEEE 802.15.6 protokolü sayesinde elde edilmiştir. Bu sayede IoMT için gerçekçi bir ortam tasarlanmış ve

IoMT ucunda heterojen kişisel sağlık verilerinin kablosuz olarak toplanabileceği bir IEEE standardı kullanılmıştır.

Riverbed Modeler günümüzde uygulamaya konulan ya da konulması planlanan her tür ağ için nesneye dayalı programlama sunan bir benzetim programıdır. Kullanıcı ara yüzü, hazır ve düzenlenebilecek güncel protokol kütüphanesi, kablolu, kablosuz, uydu vb. altyapılara hizmet etme kabiliyetleri bakımından diğer benzetim yazılımlarına göre üstünlüklere sahiptir. Şekil 3’de tasarlanan KVAA yapısı görülmektedir.

Şekil 3’te görüleceği üzere, ağ oluşturan cihazların ve düğümlerin yerleşimini gösteren bir proje editörü, her cihazın kullandığı TCP/IP protokol kümesinin bulunduğu düğüm editörü, yine her bir cihazın haberleşme protokollerinin durum geçişleri ve olay sürümlü yapısı için işlem editörü ve son olarak C/C++ (daha özeldede Proto-C) kodlarının bulunduğu editör bulunmaktadır.

Önerdiğimiz mimaride KVAA en temelde sekiz algılayıcı düğüm ve bir koordinatör düğümden oluşmaktadır. Bu mimari 2.4 GHz ISM bandında çalışmakta ve öncelik tabanlı CSMA/CA protokolünü kullanmaktadır. Koordinatör düğüm algılayıcı düğümlerden gelen verileri toplamakta ve hedefe (uzak kontrol birimleri) ulaştırmak için ağ geçidi düğümünü kullanmaktadır. Algılayıcı düğümler farklı önceliklere sahip olmakla birlikte kalp ritmi, kan basıncı, oksijen miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum oranı verilerini algılamaktadırlar.



Şekil 3:

Tasarlanan kablosuz vücut alan ağ yapısı

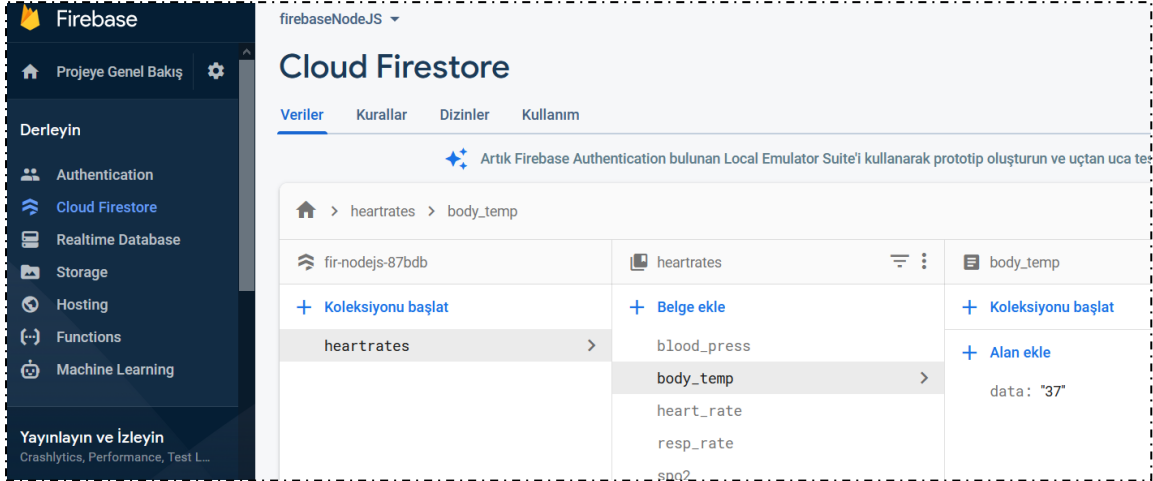
3.2. Bulut Teknolojisi Yapısı

Bulut bilişim çeşitli teknolojilerin ve cihazların internet üzerindeki kaynaklardan faydalanabilecekleri bilişim hizmetlerinin genel adıdır. Bu kaynaklar veri analizi yapabilen, veri tabanı ve depolama hizmetleri sağlayabilen altyapılara sahiptir. Bulut bilişim sağlayıcıları altyapı hizmeti (IaaS), yazılım hizmeti (SaaS) ve platform hizmeti (PaaS) adı altında üç sınıf hizmet sağlamaktadır. IaaS hizmetleri olarak yüksek düzeyli API’ler sağlayan çevrimiçi hizmetler ifade edilmektedir. IaaS; ağ iletişimi, depolama, sunucular ve sanallaştırma dâhil olmak üzere en düşük ağ altyapısı düzeylerini yönetmek için API’lerin kullanılmasıdır. SaaS, kullanıcıların bulut sağlayıcısının istemci veya program ara yüzlerinden sağlayıcının altyapısında çalışan uygulamalarını kullanmasına ve bunlara erişmesine olanak tanır. PaaS, kullanıcılara altyapının bakımını yapmadan araçlar (yani programlama dilleri, kitaplıklar, hizmetler) kullanarak uygulama oluşturma veya dağıtma yeteneği sunan daha büyük bir bulut

hizmeti soyutlaması sağlar. PaaS ve SaaS arasında bir ara mimari olan BaaS oluşturmanın amacı, mobil internetin hızlı geliştirme ihtiyaçlarını karşılamak ve hizmet olarak arka uç yetenekleri sağlamaktır. PaaS platformları üzerine inşa edilen geliştiriciler, yazılım çözümlerini geliştirmek için servis verilen arka uç yeteneklerini kullanabilir.

BaaS, geliştiricilerin bir web veya mobil uygulamanın tüm perde arkası yönlerini dış kaynak olarak kullandıkları bir bulut hizmeti modelidir. BaaS sağlayıcıları, bulut depolama ve barındırmanın yanı sıra kullanıcı kimlik doğrulaması, veritabanı yönetimi, uzaktan güncelleme ve push bildirimleri (mobil uygulamalar için) gibi sunucularda gerçekleşen etkinlikler için önceden yazılmış yazılımlar sağlar. Firebase BaaS hizmeti olarak Google tarafından mobil ve web uygulamaları oluşturmak için geliştirilmiştir. Firebase, ilk olarak çevrimiçi sohbet modüllerini web sitelerine entegre etmeye yardımcı olan bir API sağlamıştır. Sonrasında ise, yeni özellikler ve işlevler sunarak bulut deneyimini sürekli iyileştiren baskın BaaS platformlarından biri olmuştur.

Tasarlanan IoMT yapısında KVAA tarafından üretilen sağlık verileri ağ geçidi üzerinden soket programlama ile gerçek ortama aktarılarak, Firebase bulutundaki gerçek zamanlı veri tabanına yazılmaktadır. Şekil 4'de çalışmamızda kullanılan veri tabanı ve bu veri tabanında bulunan alanlar gösterilmektedir.



Şekil 4:

Firestore'de Cloud Firestore ara yüzü

Firestore teknolojisinde Cloud Firestore, verilerle küresel ölçekte kolayca çalışılabilmesine olanak tanıyan bir NoSQL belge veri tabanıdır. Firestore, verileri depolamak ve senkronize etmek için esnek, ölçeklenebilir bir NoSQL bulut veritabanıdır. Verileri, gerçek zamanlı dinleyiciler aracılığıyla istemci uygulamalarında senkronize halde tutar ve ağ gecikmesi veya İnternet bağlantısından bağımsız olarak çalışan duyarlı uygulamalar oluşturabilmek için çevrimdışı destek sunmaktadır.

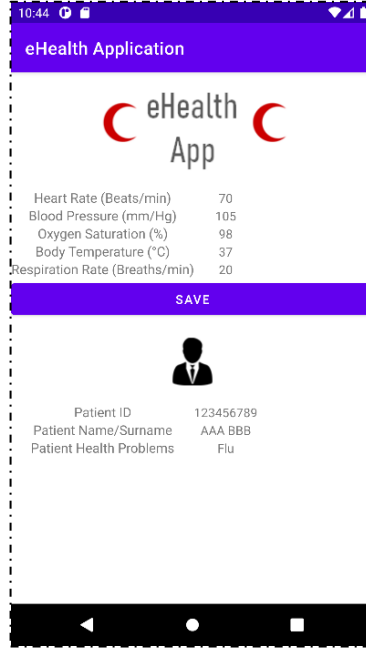
Şekil 4'te görüldüğü üzere "heartrates" veri tabanındaki blood_press, body_temp, heart_rate, resp_rate ve spo2 isimindeki belgeler içindeki data alanlarına Riverbed Modeler yazılımından alınan veriler eş zamanlı olarak kaydedilmektedir. Bu veriler kalp ritmi, kan basıncı, oksijen miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum oranı verileridir. Bu şekilde gerçek zamanlı depolanan veriler mobil ve web servislerine sunulabilmektedir. Tasarlanan IoMT sisteminin son parçasında Firestore içine depolanan verilerin mobil platformda görüntülenmesi gerçekleştirilmektedir.

3.3. Mobil Teknolojisi Yapısı

Yeni koronavirüs hastalığı (Covid-19), 13 Ocak 2020 tarihinde Çin'in Wuhan eyaletinde yüksek ateş ve nefes darlığı ile tanımlanan yeni viral solunum yolu hastalığı olarak ortaya çıkmıştır. Hastalığın damlacık ve temas yoluyla bulaştığı tespit edilmiştir. Oluşturduğu küresel salgın durumundan ötürü pandemi olarak tanımlanmaktadır. COVID-19 için en yaygın belirtiler ateş, kuru öksürük ve yorgunluk iken daha ciddi belirti ise solunum güçlüğüdür. Bu belirtilerin yanında farklı belirtileri de bulunmaktadır.

Bu bölümde IoMT yapısının diğer ucunda sağlık personeli ya da hasta/engelli yakını tarafından kullanılacak mobil uygulama anlatılmaktadır. Firestore veri tabanı ile senkronize çalışan mobil uygulama, veri tabanındaki anlık değişimleri internet üzerinden çekerek kullanıcı ara yüzüne yazmaktadır. Kalp ritmi, kan basıncı, oksijen miktarı, vücut sıcaklığı ve solunum oranı verileri olarak belirtilen veriler ara yüzde görüntülenmekte ve ayrıca hastanın çeşitli bilgileri de ekranda gösterilmektedir. Şekil 5'te tasarlanan ara yüz verilmiştir.

Bu çalışmamızda başta COVID-19 olmak üzere çeşitli bulaşıcı hastalıklar için temasın problem olabileceği durumlarda gerçek zamanlı bir uzaktan sağlık izleme sistemi tasarlanmıştır. KVAA yapısında toplanılan beş farklı sağlık verisi eş zamanlı olarak mobil uygulama üzerinden takip edilebilmektedir.



Şekil 5:

Mobil uygulama ara yüzü

3.4. Başarım Değerlendirmesi

Tasarlanan Bulut Destekli Medikal Nesnelerin İnterneti Tabanlı Uzaktan Sağlık İzleme Sistemi'nin bir bileşeni olan KVAA yapısının başarımının incelenmesi için örnek bir senaryo gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoda Şekil 3'de gösterildiği üzere bir adet koordinatör, bir adet ağ geçidi (gateway) ve bu koordinatöre bağlı sekiz farklı önceliğe (N1,N2...,N8) sahip algılayıcı düğüm bulunmaktadır. Bu sekiz farklı algılayıcı düğüm ve koordinatör CSMA/CA temelli IEEE 802.15.6 protokolü ile haberleşmektedir. Sekiz farklı algılayıcı düğümün ürettiği veriler IEEE 802.15.6 sayesinde koordinatörde toplanmakta ve düğümlere atanan önem sırasına göre sıralanmaktadır. Sonrasında ise ağ geçidi üzerinde yazılan socket programlama fonksiyonları yardımıyla tüm paketler dış ortama yani bulut sistemine aktarılmaktadır. Bu sayede Riverbed Modeler benzetim yazılımında gerçekleştirilmiş KVAA senaryosunun verilerini gerçek

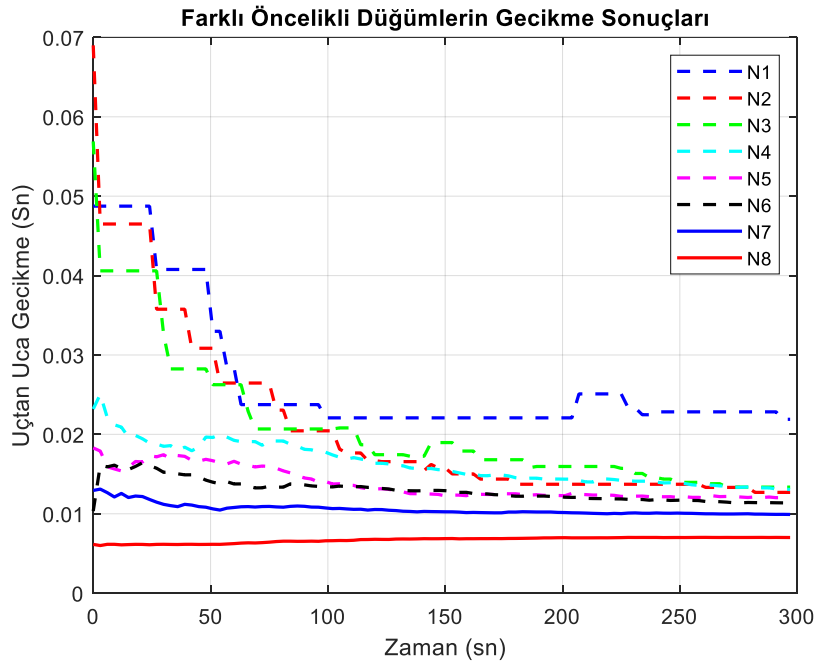
ortamlarda takip etmek, uzaktan izlemek veya analiz edip yeni sonuçlar üretmek için önemli bir altyapı oluşturulmuştur.

Tablo 1’de KVAA mimarisi için benzetim parametreleri verilmiştir. Sekiz farklı algılayıcı düğüm üstel dağılıma göre paketler üretmektedir. Düğümler ürettikleri vücut değerlerine göre farklı boyutlarda oldukları için farklı paket gelişler-arası sürelerle üretilmiştir. Tasarlanan ağın başarımlı değerlendirilmesi için en önemli iki parametre olan gecikme ve iş çıkarım sonuçları incelenmiştir.

Tablo 1. Benzetim parametreleri

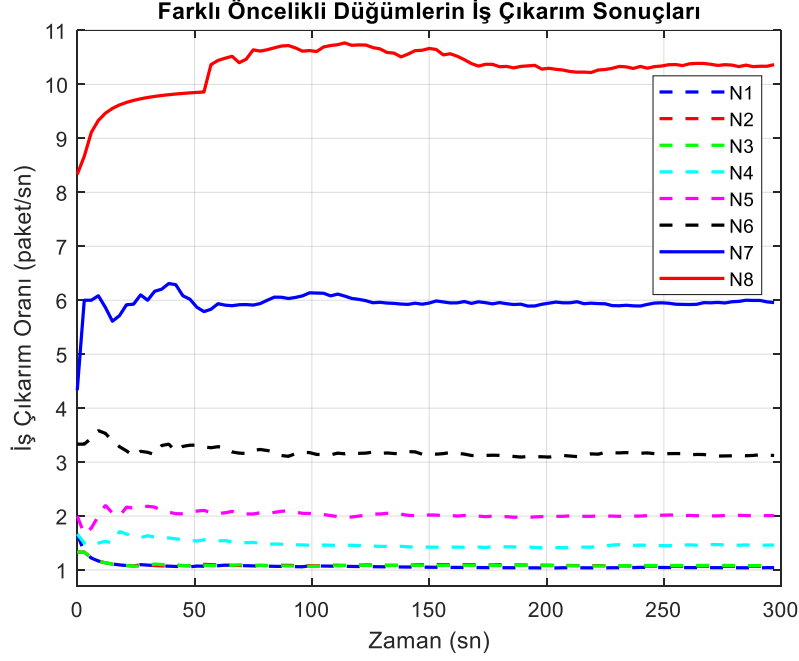
Parametreler	Değerler
Benzetim süresi	300 sn
Frekans	2400 – 2483,5 GHz
Algılayıcı ve koordinatör düğüm sayısı	1 Koordinatör + 8 düğüm + 1 ağ geçidi
Bant genişliği	1 MHz
Veri hızı	971,4 kbps
Paket boyutu	100 bayt
Paket gelişler-arası süresi	N8 = 0,10 sn. N4 = 0,66 sn.
	N7 = 0,16 sn. N3 = 0,8 sn.
	N6 = 0,33 sn. N2 = 0,9 sn.
	N5 = 0,5 sn. N1 = 1 sn.

Şekil 6’da KVAA’nın gecikme sonuçları verilmiştir. Sekiz farklı algılayıcı düğümden en az önceliğe sahip olan N1 düğümünün gecikme sonuçları en fazla çıkarken en yüksek önceliğe sahip N8 düğümü en az gecikmeye sahiptir. Bu gecikme farklılıkları insan vücudu verilerinin farklılıklarından ve önem sırasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılıklar paket üretim sıklığı, paket iletim aralıkları ve öncelikleri bakımından ISO/IEEE 11073 standardında detaylıca açıklanmıştır. Ayrıca IEEE 802.15.6 standardında CSMA/CA protokolü düğümler arasında öncelikleri belirleyebilmek için çekişme pencereleri arasında farklılıklar oluşturmuştur. Bu sayede önceliği yüksek olan düğüm hedefe daha az gecikme ile ulaşmaktadır.



Şekil 6:
Gecikme sonuçları

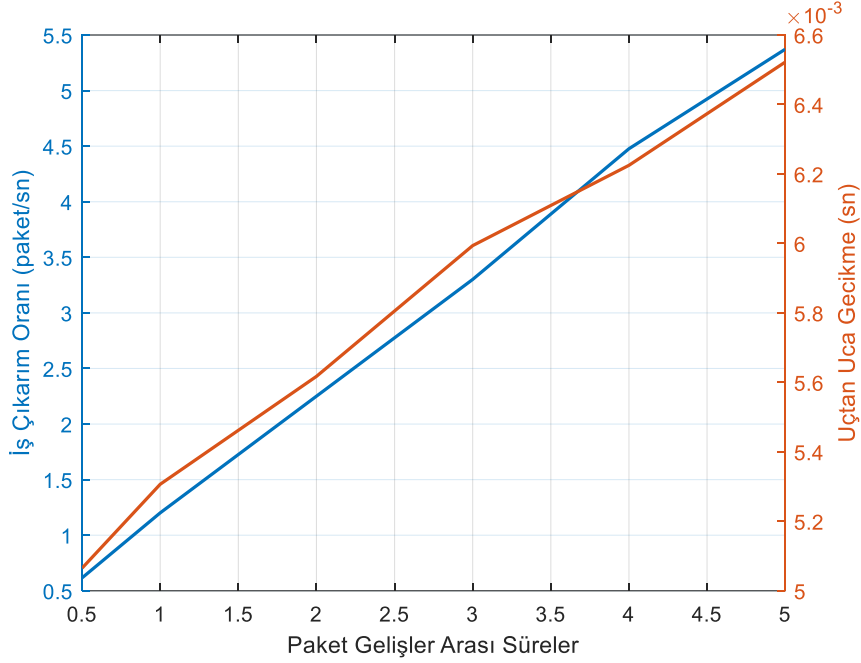
Şekil 7’de KVAA’nın iş çıkarım sonuçları verilmiştir. Sekiz farklı algılayıcı düğümünden en az önceliğe sahip olan N1 düğümünün iş çıkarım sonucu en az çıkarken, en yüksek önceliğe sahip N8 düğümü en fazla iş çıkarım oranına sahiptir. Bu farklılıklar Tablo 1’de verilen paket üretim sıklıkları sonucu oluşmuştur. N8 düğümüne atanan 0.1sn ile bu en öncelikli algılayıcı düğümün her saniye 10 paket üretmesi ve koordinatör düğümüne iletmesi sağlanmıştır. Bu sayede önceliği yüksek olan düğümün hedefe ulaştırdığı iş çıkarım oranı da en yüksektir.



Şekil 7:

İş çıkarım sonuçları

Şekil 8’de ise KVAA’nın aynı öncelik seviyesine sahip düğümünün (N8) farklı paket gelişler arası süreleri için iş çıkarım oranı ve uçtan uca gecikme dengesi grafiği verilmiştir. En yüksek önceliğe sahip olan N8 düğümü için elde edilen sonuçlara göre paket gelişler arası süreler arttıkça iş çıkarım oranı ve uçtan uca gecikme değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Farklı öncelik seviyelerinin bulunmaması düğümler arası çekişme ve paket çarpışma olasılığını düşürmekte, önerilen mimarinin performansını da arttırmaktadır.



Şekil 8:

Farklı paket gelişler arası süreler için iş çıkarım oranı ve uçtan uca gecikme dengesi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Salgın hastalıklar, insan hayatını tarih boyunca tehdit etmiştir. Günümüz teknolojileri ile salgının tehditlerini ve zararlarını en aza indirmek mümkündür. Son yıllarda IoMT teknolojileri sayesinde uzaktan sağlık hizmetleri daha verimli hale gelmiştir. Bu çalışmada gerçek zamanlı bir IoMT uygulaması geliştirilmiş ve başarılı bir şekilde eş zamanlı olarak ilk kullanıcı ve son kullanıcı arasında veri alış verişinin gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bulut destekli medikal nesnelerin interneti tabanlı uzaktan sağlık izleme sisteminin ağ başarımlarını ortaya çıkarmak amacıyla da iş çıkarım ve gecikme sonuçları hem zamana hem de farklı paket gelişler arası süreler göre incelenmiş olup elde edilen sonuçlar, önerilen mimarinin gecikme duyarlı ve yüksek performanslı olduğunu göstermektedir. Bu sayede sağlık verileri uç düğümlerden bulut teknolojilerine kadar farklı teknolojilerin servis kalite gereksinim parametrelerine göre entegre edildiği yeni bir mimari geliştirilmiştir. Gelecek çalışmalar için farklı hastalık senaryoları üzerinde araştırmalar yapılması, önemli sağlık verilerinin tespit edilmesi, uç düğümler veya bulut teknolojileri yardımıyla veri analizi ile makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yeni çalışmalar yapılması düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Murtaza Cicioğlu ve Ali Çalhan çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama ve veri analizi, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikrinsel içeriğin eleştirel incelenmesi, son onay ve tam sorumluluk alanlarına katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

1. Al-Turjman F, Deebak B (2020) Privacy-Aware Energy-Efficient Framework Using the Internet of Medical Things for COVID-19. *IEEE Internet of Things Magazine* 3:64–68. doi: 10.1109/IOTM.0001.2000123
2. Al-Mazroa A. ve N. E. Rikli (2015) Performance evaluation of IEEE 802.15.6 MAC in WBANs - A case study”, içinde *Conference Proceedings - 6th International Conference on Information Technology and Multimedia at UNITEN: Cultivating Creativity and Enabling Technology Through the Internet of Things*, 2015, ss. 66–71. doi: 10.1109/ICIMU.2014.7066605
3. Al-Turjman F, Nawaz MH, Ulsar UD (2020) Intelligence in the Internet of Medical Things era: A systematic review of current and future trends. *Computer Communications* 150:644–660. doi: 10.1016/j.comcom.2019.12.030
4. Al-Turjman F, Zahmatkesh H, Mostarda L (2019) Quantifying Uncertainty in Internet of Medical Things and Big-Data Services Using Intelligence and Deep Learning. *IEEE Access* 7:115749–115759. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931637
5. Awan KA, Din IU, Almogren A, Almajed H, Mohiuddin I, Guizani M (2020) NeuroTrust - Artificial Neural Network-based Intelligent Trust Management Mechanism for Large-Scale Internet of Medical Things. *IEEE Internet of Things Journal* 1–1. doi: 10.1109/JIOT.2020.3029221
6. Balestrieri E, Boldi F, Colavita AR, De Vito L, Laudato G, Oliveto R, Picariello F, Rivaldi S, Scalabrino S, Torchitti P, Tudosa I (2019) The architecture of an innovative smart T-shirt based on the Internet of Medical Things paradigm. *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. IEEE, ss 1–6. doi: 10.1109/MeMeA.2019.8802143
7. Cicioğlu M. & Çalhan A. (2019) HUBsFLOW: A novel interface protocol for SDN-enabled WBANs. *Computer Networks*, 160, 105-117. doi: 10.1016/j.comnet.2019.06.007
8. Dong P, Ning Z, Obaidat MS, Jiang X, Guo Y, Hu X, Hu B, Sadoun B (2020) Edge Computing Based Healthcare Systems: Enabling Decentralized Health Monitoring in Internet of Medical Things. *IEEE Network* 34:254–261. doi: 10.1109/MNET.011.1900636
9. IEEE Computer Society, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks. 2012.
10. Li X, Dai H-N, Wang Q, Imran M, Li D, Imran MA (2020) Securing Internet of Medical Things with Friendly-jamming schemes. *Computer Communications* 160:431–442. doi: 10.1016/j.comcom.2020.06.026
11. Papaioannou M, Karageorgou M, Mantas G, Sucasas V, Essop I, Rodriguez J, Lymberopoulos D (2020) A Survey on Security Threats and Countermeasures in Internet of Medical Things (IoMT). *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. doi: 10.1002/ett.4049
12. Pratap Singh R, Javaid M, Haleem A, Vaishya R, Ali S (2020) Internet of Medical Things (IoMT) for orthopaedic in COVID-19 pandemic: Roles, challenges, and applications. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* 11:713–717. doi: 10.1016/j.jcot.2020.05.011
13. Pustokhina IV, Pustokhin DA, Gupta D, Khanna A, Shankar K, Nguyen GN (2020) An Effective Training Scheme for Deep Neural Network in Edge Computing Enabled Internet of Medical Things (IoMT) Systems. *IEEE Access* 8:107112–107123. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000322

14. Rashwand S., Mistic J., ve Mistic V. B. (2016) “Analysis of CSMA/CA Mechanism of IEEE 802.15.6 under Non-Saturation Regime”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, c. 27, sayı 5, ss. 1279–1288. doi: 10.1109/TPDS.2015.2447528
15. Ray PP, Dash D, Kumar N (2020) Sensors for internet of medical things: State-of-the-art, security and privacy issues, challenges and future directions. *Computer Communications* 160:111–131. doi: 10.1016/j.comcom.2020.05.029
16. Rhayem A, Mhiri MBA, Drira K, Tazi S, Gargouri F (2020) A semantic-enabled and context-aware monitoring system for the internet of medical things. *Expert Systems*. doi: 10.1111/exsy.12629
17. Sarkar S., Misra S., Bandyopadhyay B., Chakraborty C., ve Obaidat M. S. (2015) “Performance analysis of IEEE 802.15.6 mac protocol under non-ideal channel conditions and saturated traffic regime”, *IEEE Transactions on Computers*, c. 64, sayı 10, ss. 2912–2925. doi: 10.1109/TC.2015.2389806
18. Swayamsiddha S, Mohanty C (2020) Application of cognitive Internet of Medical Things for COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews* 14:911–915. doi: 10.1016/j.dsx.2020.06.014
19. Tahir S, Bakhsh ST, Abulkhair M, Alassafi MO (2019) An energy-efficient fog-to-cloud Internet of Medical Things architecture. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 15:155014771985197. doi: 10.1177/1550147719851977
20. Thamilarasu G, Odesile A, Hoang A (2020) An Intrusion Detection System for Internet of Medical Things. *IEEE Access* 8:181560–181576. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3026260
21. Ullah S., Chen M., ve Kwak K. S. (2012) “Throughput and Delay Analysis of IEEE 802.15.6-based CSMA/CA Protocol”, *Journal of Medical Systems*, c. 36, sayı 6, ss. 3875–3891. doi: 10.1007/s10916-012-9860-0
22. Vishnu S, Ramson SRJ, Jegan R (2020) Internet of Medical Things (IoMT) - An overview. *5th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*. *IEEE*, ss 101–104. doi: 10.1109/ICDCS48716.2020.243558
23. Wei K, Zhang L, Guo Y, Jiang X (2020) Health Monitoring Based on Internet of Medical Things: Architecture, Enabling Technologies, and Applications. *IEEE Access* 8:27468–27478. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2971654

