Çoklu Biyosensör Dizilerinin Nesnelerin İnterneti ile Uzaktan İzlenmesi için Altyapı Oluşturulması

An Infrastructure for Remote Monitoring of Multiple Biosensor Arrays with Internet of Things

Ayça Kumluca Topallı
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Ekonomi Üniversitesi
Balçova, İzmir, Türkiye
ayca.topalli@ieu.edu.tr

***Özetçe*—Nesnelerin İnterneti tabanlı telemetri uygulamalarının sayıları hızla artmaktadır. Bu araştırmalar genellikle biyosensör tasarımları üzerinedir; fakat sorunsuz veri aktarımı da önemli bir konudur. Bu çalışma, birçok farklı konumdaki biyosensörlerden aynı sunucuya aynı anda yoğun veri akış trafiği olduğu durumda, sağlam bir altyapı oluşturmak, verileri saklamak, işlemek ve çeşitli arayüzlerle sunmak için güvenilir bir platform kurma üzerinedir. Microsoft Azure altyapısının kullanıldığı sistem, aynı anda 100 farklı veri girişi ile sınanmıştır. Önerilen sistem, bebek kuvözü takibi, yaşlılara yönelik uzaktan izleme gibi sağlık hizmetleri için çözüm sunmaktadır.**

Anahtar Kelimeler—sağlık hizmetleri; veri iletimi; bulut bilişim.

***Abstract*—The number of telemetry applications based on Internet of Things is increasing rapidly. These researches are generally about biosensor design; but seamless data transmission is also important. This study is about to construct a robust infrastructure in case of a busy data transfer traffic simultaneously from many biosensors at many different locations to the same server, to setup a reliable platform for data storing, processing, and presenting with different interfaces. The system where Microsoft Azure infrastructure is used is tested by 100 different data input simultaneously. Proposed system offers a solution for health care services such as incubator monitoring, remote monitoring of elderly, etc.**

Keywords—health care; data transmission; cloud computing.

I. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü, 60 yaş ve üstü bireylerin sayısının 2020 yılında 5 yaşından küçük çocuk sayısını geçtiğini ve 2050 yılına kadar bu sayının dünya nüfusunun %22'sine ulaşacağını belirtmiştir [1]. Ayrıca, gelecekte daha çok yaşlının tek başına yaşayacağı beklenmektedir [2]. Yine Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, her yıl yaklaşık 15 milyon prematüre bebek doğmaktadır ve bu, toplam doğumların %5 ile %18'i arasına denk gelmektedir [3]. Prematüre bebeklerin ısı üretecek organları tam gelişmemiştir ve vücut sıcaklıklarını koruyacak yağdan yoksundurlar [4]. Ne yazık ki, bir milyona yakın prematüre bebek her yıl doğum sırasında ya da doğumdan sonraki ilk günde çıkan sorunlar yüzünden hayatını kaybetmektedir. Beş yaş altı çocuk ölümlerinde ilk sırayı prematüre doğum almaktadır [5]. Bu veriler ışığında görülmektedir ki, yaşlanan toplum, artan kronik hastalıklar, prematüre doğumlar gibi nedenlerle gerek yaşlı bireylerin gerekse prematüre bebek kuvözlerinin sürekli izlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sağlık sektörü son yıllarda çok hızlı bir evrim geçirmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), biyosensörler ve gelişmiş tıbbı cihazlar sayesinde, geleneksel tanı ve tedavi süreçlerinde hastanelerde geçirilen uzun zamanların yerini, uzaktan izleme ve tanı koyma gibi modern ve hızlı yöntemler almaktadır. Bu da sağlık hizmetlerinde maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır [6]. IoT, sağlık sektöründe uzaktan hizmete olanak sağladığı için son yıllarda büyük bir ilgi görmektedir. IoT tabanlı sistemler, sensörler yardımıyla vücut sıcaklığı, kalp ritmi, kandaki oksijen düzeyi, bebek kuvözlerinde sıcaklık, nem ve gaz gibi birçok fizyolojik veriyi toplayıp analiz edebilmekte, sağlık personeline bu verileri gerçek zamanlı sunup belirlenen sınırlar dışında ölçümler alındığında alarm oluşturabilmektedir [7]. Biyosensörler ve IoT tabanlı uzaktan izleme sistemleri kullanılmak istendiğinde, kurulacak altyapının sağlam ve güvenilir olması gerekmektedir. Bebek kuvözleri örneğinde, birçok hastanenin birçok kuvözündeki birçok biyosensörden veri akışı olacaktır. Benzer şekilde, evlerinde uzaktan izlenecek yaşlı bireyler örneğinde, birçok kişiden çeşitli veriler toplanacaktır. Bu, bulut sunucuya aynı anda binlerce verinin gelmesi demektir. Bu veriler sunucuda doğru, kayıpsız ve hızlı bir şekilde işlenmeli, sağlık personeline sunulacak Web ve mobil arayüzlerde hangi biyosensörden hangi verinin geldiği hızlı ve anlaşılır bir şekilde gösterilmelidir. Dolayısıyla, bulut altyapısının doğru kurulması önemli bir konudur.

Microsoft Azure [8], çoklu ve hızlı veri akışı olan sistemler için, yoğun veri trafiğine uygun, test edilmiş ve güvenilir bir bulut sunucu olanağı sağlamaktadır. Bulut çözüm olduğu için, yerel sunuculara kıyasla, her yerden erişilebilir olma avantajı vardır. Sistem kurulduktan sonra eklenebilecek yeni veriler de sorunsuz işlenmektedir. Bu bağlamda, ölçeklenme sorunu yoktur. Kullanıcıya hazır veritabanı olanağı verdiği için,

979-8-3315-2981-9/24/$31.00 ©2024 IEEE

veritabanı tasarımı ve kodlaması yapmaya gerek kalmaz. Yine baştan tasarlanan sistemlere kıyasla, yedekleme ve bakım yapma işlemleri otomatik gerçekleştiğinden bu işlemler için insan gücü ve zaman kaybı olmamakta; veri kaybı, çökme gibi istenmeyen durumlar yaşanmamaktadır. Veri sunumu için Azure uyumlu arayüz çözümleri, raporlama için hazır araçlar bulunmaktadır. Güvenli veri aralıkları tanımlanabilmekte, sistem bu aralıklar dışında veri aldığında kullanıcıyı uyarması için alarmlar kurulabilmektedir. Ayrıca, istenirse verilerle makine öğrenmesi yapılabilmesi için bir yapay zekâ modülü de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, yalnız yaşayan yaşlı bireylerin ya da bebek kuvözlerinin biyosensörler ve IoT yardımıyla uzaktan izlenmesi konusunda, çoklu ve yoğun veri akışını güvenilir bir biçimde sağlamak, verileri saklamak ve sağlık personeline anlaşılır bir şekilde sunmak için Microsoft Azure altyapısının kullanıldığı bir sistem önerilmektedir. Önerilen bu sistemin stabil olduğu, 100 sanal biyosensör verisi ile gösterilmiştir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Sağlık hizmetleri alanında yapılan uzaktan izleme çalışmalarında IoT ve sensörler geniş ölçüde kullanılmıştır [9-15]. Kurutkan ve Köse, sağlık hizmetlerinde IoT uygulamalarını ele alan, Web of Science veritabanında 2001-2019 yılları arasında yer alan 503 adet İngilizce bilimsel yayını incelemiştir. Araştırmalarına göre, 2014 yılından sonra bu konuda büyük bir artış vardır [16].

Lu ve arkadaşları, biyosensörlerin sağlık hizmetlerini nasıl geliştirdiğini ortaya koymuşlar ve bu sensörlerin gelecekte nasıl fırsatlarla ve zorluklarla karşılaşacağını araştırmışlardır. Giyilebilir, yenilebilir ve takılabilir tipte biyosensörleri ve bunların mühendislik uygulamalarını özetlemişlerdir [17]. Islam ve arkadaşları, kandaki oksijen düzeyini ve nabzı ölçen bir sensör, EKG sinyali için bir sensör modülü ve vücut sıcaklığını ölçen kızılötesi bir sensör kullanarak aldıkları verileri NodeMCU devresi ve ESP8266 Wi-Fi modülü ile bir sunucuya iletmişler ve kalp atışlarından hastalık tanısı için bir derin öğrenme modeline vermişlerdir. Sonuçları, geliştirdikleri mobil ve Web arayüzleri ile sağlık personeline sunmuşlardır [18].

Cicioğlu ve Çalhan çalışmalarında bir bireyin çeşitli fizyolojik ölçümlerinin kablosuz haberleşme ile bulutta depolandığını bir mimari gerçekleştirmiştir. Bulut ortamı olarak Google Firebase kullanmışlar, kendi tasarladıkları bir mobil uygulama üzerinden, sensörlerin yalnızca anlık verilerini göstermişler, tek bir hasta için benzetim yapmışlardır [19]. Fajrin ve arkadaşları bebek kuvözlerinde sıcaklık, nem ve gürültü değerlerini izlemek için sensörlerden ve bir ESP32 mikrodenetleyiciden yararlanmıştır. Çalışmalarının amacı, bu parametreleri izleyerek bebek için zararlı olabilecek değerlere gelmelerini önlemektir. Sağlık personeline Android telefon uygulaması üzerinden erişim sağlamışlardır. Denemelerini tek sıcaklık, nem ve gürültü sensörü ile yapmışlardır [20].

Kristya ve arkadaşları, prematüre bebek kuvözleri için sıcaklık ve nem değişimlerini izleyebilecekleri pratik bir çözüm amaçlamışlardır. Onlar da bir sıcaklık ve bir nem sensörünü ESP32'ye bağlayarak verileri Wi-Fi üzerinden göndermişler ve küçük bir TFT ekranda göstermişlerdir [21]. Tej ve arkadaşları, bebek kuvözündeki bir sıcaklık, bir nem ve bir nabız sensöründen okunan analog değerleri bir Arduino mikrodenetleyicisi ile sayısallaştırıp RaspberryPi mikroişlemcisine aktarmışlar ve bir LCD ekranında göstermişlerdir. Bir alarm durumunda GSM üzerinden bir cep telefonuna mesaj iletmişler ve bir vantilatör ile sıcaklık denetimi sağlamışlardır. Ayrıca RaspberryPi mikroişlemcisine bağladıkları bir kamera ile Wi-Fi üzerinden, hazırladıkları bir Web sayfasında bebeği izleme olanağı sunmuşlardır [22].

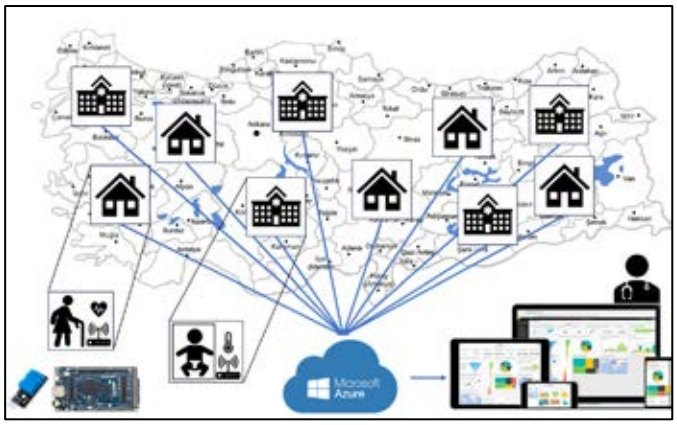
Benzer bir şekilde, Shalannanda ve arkadaşları, bir vücut biyosensörü, bir ortam sıcaklığı, bir nem ve bir gaz sensörünü Arduino'ya bağlamışlar, okunan değerleri ESP8266 Wi-Fi modülü ile yerel bir sunucuya göndermişlerdir. Sunucuda oluşturdukları veritabanına bu değerleri kaydetmişler ve tasarladıkları Android mobil uygulama ve Web sayfası üzerinden sağlık personeline sunmuşlardır [23]. Khotimah ve arkadaşları çalışmalarında, bebek kuvöz sıcaklığını, Arduino ile HC05 Bluetooth modülü kullanarak cep telefonuna aktarmışlardır. Bu nedenle veri aktarımı 12,25m ile sınırlı kalmıştır [24].

Yukarıda sözü edilen çalışmalarda, genelde tek bir sıcaklık, tek bir nem sensörü gibi ölçüm cihazları kullanılmış, veriler yerel sunucuda toplanmıştır. Onlarca ya da yüzlerce sensör verisi aynı anda sunucuya iletildiğinde ne gibi sorunlar çıkar, sunucuda veritabanı nasıl oluşturulur, veri güvenliği nasıl sağlanır, alarm üreten kodun, mobil uygulamanın ve Web sayfasının testleri nasıl yapılır gibi konulara öncelik verilmemiştir. Bu çalışmalarda sensörden sunucuya veri aktarımının gösterimi yeterli olmuş, ölçeklenebilirlik konusu odakta olmadığı için incelenmemiştir. Verilerin gösterimi için basit mobil uygulamalar ya da Web arayüzleri hazırlanmıştır. Mobil uygulamalarda sadece Android işletim sistemine uygun çözümler görülmektedir.

Burada önerilen sistem, önceki çalışmalardan farklı olarak, Microsoft Azure altyapısını kullanmaktadır. Dolayısıyla, çoklu biyosensör dizilerinden aynı anda gelen birçok veri, bulut sunucuda sorunsuz bir biçimde saklanabilmekte ve bu altyapıya uygun arayüzlerle istenilen veriye ister nümerik ister grafik olarak hızlıca erişilebilmektedir. Ayrıca aynı altyapı hem Android hem iOS işletim sistemlerine uygun mobil uygulama ve Web arayüzü sunmaktadır. Bu arayüzler üzerinden kolaylıkla alarm kurulabilmekte, alarm durumu oluştuğunda sistem, belirlenen kişilere e-posta gönderebilmektedir. Gerçek hayata uygulanabilirlik açısından bu çalışmanın bir kaynak olarak kullanılması hedeflenmiştir.

III. YÖNTEM

Bu çalışmada önerilen sistem taslağı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu sistemde, birçok hastane ya da ev ortamından aynı anda veri toplayan biyosensörler bulunmaktadır. Bu biyosensörlere, yalnız yaşayan yaşlı bireylerden ölçüm alan nabız ve hareket sensörleri, hastanelerdeki prematüre bebek kuvözlerinden ölçüm alan sıcaklık, nem ve gaz sensörleri örnek olarak gösterilebilir. Burada önemli olan, bu çok sayıda ve farklı lokasyonlardaki biyosensörlerin, mikrodenetleyiciler aracılığı ile aynı anda, aynı sunucuya veri iletmesi ve bu verilerin kayıpsız ve hızlı bir biçimde depolanmasıdır. Veri trafiği yoğun olduğunda, depolanacak veri boyutu büyüdüğünde, aynı anda birden fazla veri girişi yaşandığında, sunucu performansı son derece önem kazandığından bu konuda en güvenilir platformlardan biri olan Microsoft Azure altyapısı seçilmiştir.



Şekil. 1. Önerilen sistem taslağı.

Biyosensörlerden sunucuya kablosuz veri iletimi için Arduino mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Azure bağlantısı için Arduino geliştirme ortamına "Azure IoT SDK for C" ve "MQTT" yazılım kütüphaneleri eklenmiştir. Web arayüzü ve mobil uygulama çözümü için Azure ile tümleşik çalışan Microsoft Power BI veri görselleştirme yazılımından yararlanılmıştır. Bu araç üzerinden, veritabanında saklanan verilerden herhangi bir sensöre ait olanı, belirtilen tarih ya da değer aralıklarına göre seçilebilmekte, değerler nümerik formatta ya da çeşitli grafikler olarak ekrana çıkarılabilmekte ya da PDF olarak dışarıya aktarılabilmekte ve çeşitli alarmlar kurulabilmektedir.

IV. BULGULAR

A. *Gerçek Veriler*

İlk olarak, iki adet DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, İzmir'de iki farklı lokasyondan aynı anda ölçüm almak ve Arduino Giga mikrodenetleyicisi yoluyla Wi-Fi ile Microsoft Azure üzerinde yaratılan IoT-Hub'a veri iletmek için kullanılmıştır. Veriler, Arduino kodundan Azure sistemine alttaki gibi bir json formatında iletilmiştir:

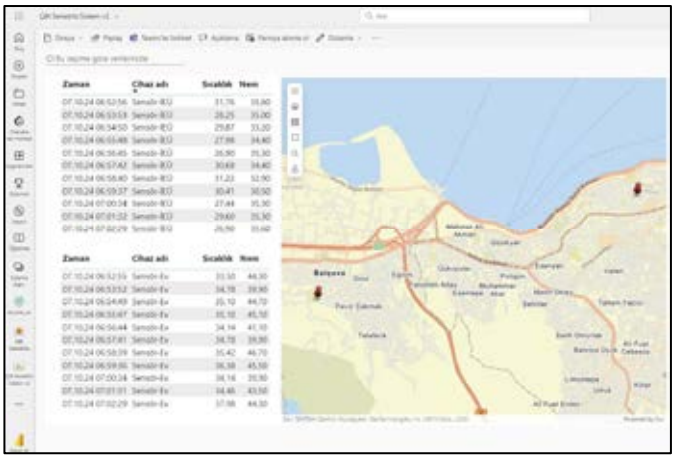
```
{"Sıcaklık": 28.7, "Nem": 24.0, "Cihaz adı": "Sensör-İEÜ", "deviceId": iot-dev-001, "deviceLocLat": 38.388243, "deviceLocLong": 27.045184, "Konum": "İEÜ", "EventProcessedUtcTime": "2024-07-10T12:32:58.979Z", "IoTHub": "Azure-Hub-TipTekno24"}
```

Azure sunucusunda toplanan veriler, Power BI arayüzü ile Şekil 2'deki gibi kayıpsız ve anlaşılır olarak görüntülenmiştir.

B. *Benzetimli Veriler*

Bu çalışmanın amacı çok sayıda biyosensör verisi için Microsoft Azure altyapısı oluşturmaktır; fakat fiziksel olarak yapılan denemelerde, bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, iki adet gerçek düzenek kullanılmıştır.

Önerilen altyapının çok daha fazla biyosensör verisi ile sorunsuz çalışabileceğini sınamak için, 100 adet sanal sensör yaratılmıştır. Bunun için Linux ortamında, Python dili ve "Azure IoT SDK for Python" yazılım kütüphanesi ile her biri farklı bir değer etrafında rassal gürültü içeren sayılar üretip bunları bir dakika aralıklarla Azure sunucusuna ileten 100 adet komut dosyası oluşturulmuştur. Bu dosyalar yirmili kümeler halinde beş ayrı ağda çalıştırılarak Azure ortamına veri gönderilmiştir.



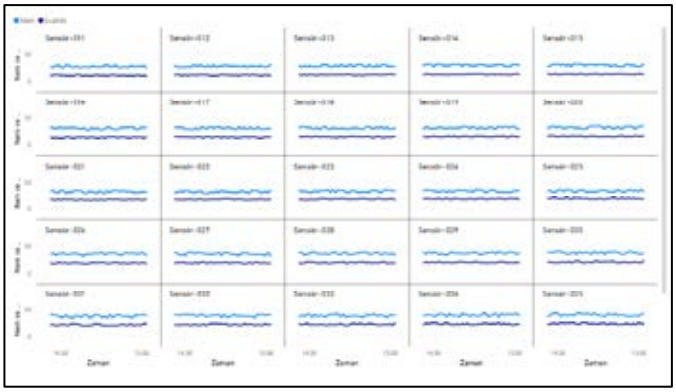
Şekil. 2. İki cihazdan gelen verileri görüntüleme.

Sunucu tarafında toplanan verilere bakıldığında, her dakikada 100 farklı değer geldiği görülmüştür. Bu da tüm sensörlerden gönderilen verilerin kayıpsız olarak işlendiğini göstermektedir.

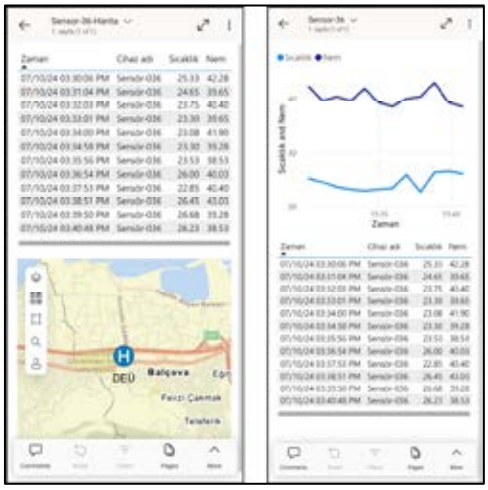
Şekil 3 ve Şekil 4'te, Power BI arayüzü ile istenilen verilerin Web ya da mobil arayüzü ile grafik, tablo ya da haritada konum olarak görüntülenmesi verilmiştir. Bu görselleri elde etmek için hiçbir uygulama geliştirmeye gerek yoktur. Ayrıca biyosensörlerden anormal bir veri gelmesi durumunda, kurulan altyapı uyarı vermektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, okunan sıcaklık, önceden belirlenen alarm değeri olan 38 derecenin üzerine çıkınca sistem, tanımlanan kullanıcıya e-posta mesajı göndermiştir.

V. SONUÇLAR

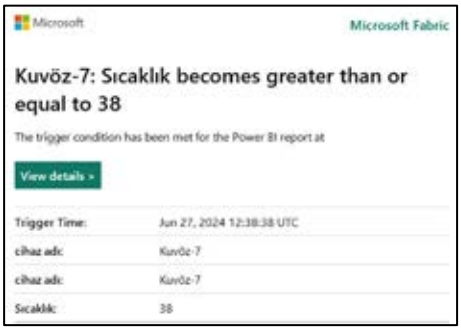
Bu çalışmanın amacı, IoT tabanlı telemetri sistemlerinde Microsoft Azure sunucu altyapısı kullanarak, çoklu biyosensör dizilerinden hızlı ve kayıpsız veri iletimini, saklanmasını ve sunulmasını göstermektir. Biyosensörler sayesinde, uzaktan izleme, sağlık hizmetlerinde hasta bakımını iyileştirmek ve maliyetleri düşürmek için bir çözüm olarak zaten kabul edilmektedir. Bu yaklaşımın, sunucu kurulumu ve sağlık personeli ile iletişim için uygulama geliştirme kısımlarının, Microsoft Azure gibi bilinen ve sağlam bir altyapı ile desteklenmesi, bu kısımların baştan yapılmasına kıyasla, zaman kazandıracak ve maliyetleri daha da düşürecektir.



Şekil. 3. Web tabanlı çoklu veri görüntüleme.



Şekil. 4. Mobil uygulamadan çoklu veri görüntüleme.



Şekil. 5. Alarm durumunda gönderilen e-posta mesajı.

Bu araştırmanın bu alana katkısı, önerilen sistemin kullanım kolaylığını göstermek ve 100 biyosensörden gelen yoğun veri akışına rağmen veri kaybı ya da kullanıcıyla etkileşimde bir yavaşlama olmadığını vurgulamaktır. Burada önerilen, sadece bebek kuvözleri ya da yaşlı bakımı için değil, sağlık sektöründeki her türlü uzaktan izleme hizmeti için kullanılabilecek ve sağlık personelinin işini kolaylaştıracak bir sistemdir. Bu sistem, makine öğrenmesi ile tehlike yaratabilecek durumlar için erken uyarı özelliği de eklenerek geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] "Ageing and Health," who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health, Oct. 01, 2022.

[2] Jacob Ausubel, "Older people are more likely to live alone in the U.S. than elsewhere in the world," https://www.pewresearch.org/short-reads/2020/03/10/older-people-are-more-likely-to-live-alone-in-the-u-s-than-elsewhere-in-the-world/, Mar. 10, 2020.

[3] "Preterm birth," https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth, May 10, 2023.

[4] A. Perez, F. van der Meer, and D. Singer, "Target body temperature in very low birth weight infants: clinical consensus in place of scientific evidence," Frontiers in Pediatrics, vol. 7, p. 227, 2019, doi: 10.3389/fped.2019.00227.

[5] L. Liu et al., "Global, regional, and national causes of under-5 mortality in 2000–15: an updated systematic analysis with implications for the Sustainable Development Goals," The Lancet, vol. 388, no. 10063, pp. 3027–3035, Dec. 2016, doi: 10.1016/S0140-6736(16)31593-8.

[6] G. Yang et al., "A health-IoT platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2180–2191, Nov. 2014, doi: 10.1109/TII.2014.2307795.

[7] M. C. Chuah and F. Fu, "ECG anomaly detection via time series analysis," in Frontiers of High Performance Computing and Networking ISPA 2007 Workshops, Niagara Falls, Canada: Springer Berlin Heidelberg, Aug. 2007, pp. 123–135. doi: 10.1007/978-3-540-74767-3_14.

[8] "Microsoft Azure," https://azure.microsoft.com/en-us.

[9] C. Celebioglu and A. K. Topalli, "IoT-based incubator monitoring and machine learning powered alarm predictions," Technology and Health Care, vol. 32, no. 4, pp. 2837–2846, Jul. 2024, doi: 10.3233/THC-240167.

[10] O. Ozek, C. Akgun, K. Kilic, A. Akan, and A. K. Topalli, "A unified diagnosis kit design for telemedicine," in 2022 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO), IEEE, Oct. 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/TIPTEKNO56568.2022.9960215.

[11] M. A. Almaiah, F. Hajjej, A. Ali, M. F. Pasha, and O. Almomani, "A novel hybrid trustworthy decentralized authentication and data preservation model for digital healthcare IoT based CPS," Sensors, vol. 22, no. 4, p. 1448, Feb. 2022, doi: 10.3390/s22041448.

[12] A. Ali et al., "An Industrial IoT-based blockchain-enabled secure searchable encryption approach for healthcare systems using neural network," Sensors, vol. 22, no. 2, p. 572, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22020572.

[13] Z. Ashfaq et al., "A review of enabling technologies for Internet of Medical Things (IoMT) Ecosystem," Ain Shams Engineering Journal, vol. 13, no. 4, p. 101660, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.asej.2021.101660.

[14] P. Valsalan, T.A.B. Baomar and A.H.O. Baabood, "IoT based health monitoring system," Journal of Critical Reviews, vol. 7, no. 04, pp. 739–743, Feb. 2020, doi: 10.31838/jcr.07.04.137.

[15] T. Poongodi, R. Krishnamurthi, R. Indrakumari, P. Suresh, B. Balusamy, "Wearable Devices and IoT," in A Handbook of Internet of Things in Biomedical and Cyber Physical System, Springer, 2020, pp. 245–273.

[16] M. N. Kurutkan and G. Köse, "Sağlık hizmetlerinde nesnelerin interneti uygulamalarının bibliyometrik analizi," European Journal of Science and Technology, vol. 27, pp. 412–432, Sep. 2021, doi: 10.31590/ejosat.868000.

[17] T. Lu, S. Ji, W. Jin, Q. Yang, Q. Luo, and T.-L. Ren, "Biocompatible and long-term monitoring strategies of wearable, ingestible and implantable biosensors: reform the next generation healthcare," Sensors, vol. 23, no. 6, p. 2991, Mar. 2023, doi: 10.3390/s23062991.

[18] M. R. Islam, M. M. Kabir, M. F. Mridha, S. Alfarhood, M. Safran, and D. Che, "Deep learning-based iot system for remote monitoring and early detection of health issues in real-time," Sensors, vol. 23, no. 11, p. 5204, May 2023, doi: 10.3390/s23115204.

[19] M. Cicioğlu and A. Çalhan, "Bulut destekli medikal nesnelerin interneti tabanlı uzaktan sağlık izleme sistemi," Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, pp. 1083–1096, Dec. 2021, doi: 10.17482/uumfd.856981.

[20] H. R. Fajrin, K. Muhammad, and W. Kusuma Wardana, "Monitoring of incubator parameters using android applications," in 2021 1st International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), IEEE, Oct. 2021, pp. 154–159. doi: 10.1109/ICE3IS54102.2021.9649740.

[21] F. Kristya, S. Luthfiyah, I. D. G. Hari Wisana, and M. Thaseen, "Baby incubator monitoring center for temperature and humidity using WiFi network," Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics, vol. 3, no. 1, pp. 8–13, Jan. 2021, doi: 10.35882/jeeemi.v3i1.2.

[22] K. N. Tej, K. Nagabhushanam, and S. Bachu, "IBMPS: Incubator baby monitoring and parameter sensing," in 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), IEEE, Mar. 2021, pp. 514–518. doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441959.

[23] W. Shalannanda, I. Zakia, E. Sutanto, and F. Fahmi, "Design of hardware module of IoT-based infant incubator monitoring system," in 2020 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), IEEE, Sep. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICWT50448.2020.9243665.

[24] K. Khotimah, M. I. Sudrajat, and S. Wahyu Hidayat, "Infant incubator temperature controlling and monitoring system by mobile phone based on Arduino," in 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), IEEE, Dec. 2019, pp. 494–498. doi: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034646.