

Medikal Nesnelerin İnterneti (IoMT) ile Hayati Verilerin Gerçek Zamanlı Uzaktan Takibi

Real-Time Remote Monitoring of Vital Data Using the Internet of Medical Things (IoMT)

Glnur BAYRAKLI¹



Esra SARI²



Emine DOĞRU BOLAT³



Araştırma
Makalesi
Research Article

Geliş tarihi/Received:
16.06.2025

Son revizyon teslimi/Last
revision received:
12.09.2025

Kabul tarihi/Accepted:
19.09.2025

Yayın tarihi/Published:
Aralık 2025

Atıf/Citation:

Bayraklı, G., Sari, E., Doğru Bolat, E.,
(2025). Medikal Nesnelerin İnterneti
(IoMT) ile Hayati Verilerin Gerçek
Zamanlı Uzaktan Takibi Journal of
Kocaeli Health and Technology
University, 3(3), 25-40

DOI:

ÖZET

Sağlık hizmetlerine yönelik artan talep ve yaşlı nüfusun büyümesi, kesintisiz hasta takibini zorunlu kılmaktadır. Kronik hastalar, evde bakım görenler ve enfeksiyon riski taşıyan bireyler için anlık izleme, komplikasyonları en aza indirmede kritik rol oynar. Geleneksel yöntemler hastane ziyareti ve fiziksel muayene gerektirdiğinden hem hasta konforunu düşürür hem de sistem üzerindeki yükü artırır. Bu alışma, ESP32 mikrodenetleyici kartı ile MAX30100, DHT22 ve DS18B20 sensörlerinden gelen verileri kablosuz olarak Firebase Realtime Database'e ileten, web tabanlı bir IoMT zm sunar. Kalp atış hızı, oksijen doğgunluğu, vücut sıcaklığu ve ortam nemi gerçek zamanlı izlenir; eşik değerlerin aşımı durumlarında kullanıcı ve klinisyenlere anında uyarı gider. Böylece pandemi gibi krizlerde temas azaltılır, evde bakım sreeri güvenli hâle gelir ve hastaneye başvurular azalır. Hastane merkezli yaklaşımların ötesine geçen sistem, sağlık hizmetlerini zaman ve mekândan bağımsız, daha verimli bir yapıya taşımayı amaçlar.

Anahtar Kelimeler: ESP32, Firebase, Medikal Nesnelerin İnterneti (IoMT), Teletıp, Uzaktan Hasta Takibi

¹ Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mhendisliğu, Kocaeli, Türkiye, gulnurbayrakli86@gmail.com, ORCID: 0009-0003-1919-9697

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mhendisliğu, Kocaeli, Türkiye, eesrasari07@gmail.com, ORCID: 0009-0000-1130-8498

³ Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mhendisliğu, Kocaeli, Türkiye, ebolat@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8290-6812



ABSTRACT

The growing demand for healthcare services and the expansion of the elderly population make uninterrupted patient monitoring essential. Real-time tracking is critical for minimizing complications in people with chronic diseases, those receiving home care, and individuals at risk of infection. Conventional methods—relying on hospital visits and physical examinations—lower patient comfort and place additional strain on healthcare systems. This study presents a web-based IoMT (Internet of Medical Things) solution that wirelessly transmits data from MAX30100, DHT22, and DS18B20 sensors to a Firebase Realtime Database via an ESP32 microcontroller. Heart rate, oxygen saturation, body temperature, and ambient humidity are monitored continuously, and threshold violations trigger instant alerts to users and clinicians. As a result, contact during crises such as pandemics is reduced, home-care processes become safer, and hospital admissions decrease. By moving beyond hospital-centric models, the system aims to deliver healthcare that is independent of time and location, thereby improving overall efficiency.

Key Words: ESP32, Firebase, Internet of Medical Things (IoMT), Remote Patient Monitoring, Telemedicine

1. GİRİŞ

Dnya nfusu, düşük doğum oranları ve artan yaşam sresi gibi demografik değişkenler nedeniyle hızla yaşlanmaktadır. 2025–2050 yılları arasında dünya genelindeki 65 yaş ve üzeri birey sayısının 1,6 milyara ulaşacağı öngörülmektedir (1). Yaşlanan nüfusla birlikte inme, demans, kalp krizi gibi sağlık sorunlarının yaygınlaşması; sağlık sistemleri üzerinde ciddi yk oluşturmakta ve kaynak tüketimini artırmaktadır. Kronik hastalıklar, genellikle üç aydan uzun süren, tekrarlayıcı ya da kalıcı bir seyir izleyerek bireyin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilen hastalıklardır (2). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kronik hastalıkların görülme sıklığı artmaktadır. Dünyadaki ölümlerin yaklaşık %76,4’ bulaşıcı olmayan hastalıklar nedeniyle meydana gelmektedir (3). TÜİK 2017 lm Nedeni İstatistiklerine göre, ülkemizde ölümlerin yaklaşık %40’ı dolaşım sistemi hastalıklarından, %20’si kanser, %12’si solunum sistemi hastalıkları, %5’i ise endokrin-beslenme ve metabolizma ile ilgili nedenlerden kaynaklanmaktadır (4). TÜİK verilerine göre, 65 yaş ve üzeri bireylerin %78,7’si en az bir kronik hastalığa sahiptir. 70 yaş ve üzeri bireylerde bu hastalıklar nedeniyle hastaneye başvuru oranının %40’a ulaşması yaşlı bireylerde düzenli ve sürekli sağlık takibinin önemini açıkça ortaya koymaktadır (5). Bu durum, evde sağlık takibine olan ihtiyaı artırmakta ve uzaktan izleme sistemlerini ön plana çıkarmaktadır.

Kronik hastalıkların artışı, yaşlı nüfusun büyümesi, Covid-19 gibi bulaşıcı hastalıkların ve evde bakım gören hastaların artmasıyla birlikte uzaktan erişim ve kişiselleştirilmiş bakım imkânı sağlayan sağlık modellerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu ihtiyaca cevap olarak geliştirilen teletıp, dijital iletişim teknolojileri aracılığıyla sağlık hizmetlerinin uzaktan sunulmasını ifade etmektedir (6). Ancak geleneksel teletıp uygulamaları genellikle sadece görüntülü görüşme ve hastanın kendi beyanlarına dayalı semptom aktarımıyla sınırlı kalmaktadır. IoMT'nin teletıpla entegre edilmesi, bu sınırlamaların aşılmasını sağlamakta ve sağlık çalışanlarına anlık, nesnel fizyolojik verilere erişim imkânı sunmaktadır. Bu entegrasyon; özellikle yalnız yaşayan bireyler, hareket kabiliyeti kısıtlı hastalar veya sağlık hizmetlerine erişimi zor olan kırsal bölgelerde yaşayanlar için tanı doğruluğunu artırmakta ve zamanında müdahale imkânı sağlamaktadır. Bu sayede, hastane yoğunluğu ve sağlık çalışanları üzerindeki iş yükü azaltılarak verimlilik artırılmaktadır (7).

Son yıllarda dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunum biçimini önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bu dönüşüme katkı sağlayan en dikkat çekici yeniliklerden biri, Medikal Nesnelerin İnterneti (IoMT) olarak adlandırılan teknolojidir. IoMT, birbirine bağlı tıbbi sensörler ve akıllı cihazlar aracılığıyla fizyolojik verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilmesini, analiz edilmesini ve uzaktan erişilmesini mümkün kılarak, sağlık hizmetlerini zamandan ve mekândan bağımsız hâle getirmektedir (8). Bu sistemler sayesinde kalp atış hızı, vücut sıcaklığı ve kandaki oksijen doygunluğu gibi hayati veriler sürekli olarak izlenebilmekte ve sağlık çalışanlarına anlık olarak iletilebilmektedir. Bu sürekli ve anlık veri akışı, sadece hasta takibini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda potansiyel sağlık sorunlarının erken teşhis edilmesine ve acil durumlara daha hızlı müdahale edilmesine olanak tanır (9).

Bu çalışma kapsamında, uzaktan hasta takibini mümkün kılan düşük maliyetli, taşınabilir ve gerçek zamanlı veri aktarımı yapabilen bir IoMT prototip sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Sistem, entegre Wi-Fi desteği, düşük güç tüketimi ve uygun fiyatı ile öne çıkan ESP32 mikrodenetleyici kartı üzerine inşa edilmiştir (10). Nabız ve SpO₂ ölçümü için MAX30100 sensörü, vücut sıcaklığı ölçümü için ise DS18B20 sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Bu sensörlerden elde edilen veriler, kablosuz bağlantı yoluyla Google Firebase Real-Time Database altyapısına aktarılmakta ve güvenli bir şekilde bulutta saklanmaktadır. Geliştirilen web tabanlı arayüz sayesinde, sağlık çalışanları, hastalar ve hasta yakınları bu verilere uzaktan erişebilmektedir. Belirlenen eşik değerinin altına düşmesi veya aşılması durumunda ise sistem,

kullanıcıya veya ilgili sağlık personeline otomatik uyarılar göndermektedir. Geleneksel hastane merkezli sistemlerin aksine, bu IoMT prototipi ev ortamında sürekli hasta takibini desteklemektedir. Sistem; kronik hastalık yönetimi, yaşlı bakım hizmetleri ve ameliyat sonrası iyileşme süreçlerinin izlenmesi gibi alanlarda önemli avantajlar sağlar. Literatürdeki çeşitli alışmalar, IoMT tabanlı uzaktan izleme sistemlerinin hastaneye yatış oranlarını azalttığını, tedavi sonuçlarını iyileştirdiğini ve sağlık kurumları için operasyonel maliyetleri düşürdüğünü göstermektedir (11). Ayrıca COVID-19 pandemisi, temassız ve geniş ölçekte uygulanabilir sağlık izleme teknolojilerinin öneminin daha da belirgin hâle getirmiştir (12). Geliştirilen sistem, basitliği, ölçeklenebilirliği ve yaygınlaştırılabilirliği açısından önemlidir. Sistem; ileri düzey tıbbi cihazlara ya da karmaşık bir altyapıya ihtiyaç duymadan, hayati veri takibi ve uzaktan erişim işlevlerine odaklanacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuç olarak bu çalışma, teletıp uygulamalarının kapsamını ve işlevselliğini artıran somut bir IoMT zm sunarak dijital sağlık alanına katkı sağlamaktadır. Yaygın olarak erişilebilen mikrodenetleyici ve bulut teknolojilerinden yararlanarak geliştirilen sistem, gerçek zamanlı sağlık verilerinin uzaktan hasta takibinde nasıl etkili biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Acil durumlarda hızlı müdahaleyi destekleyen, koruyucu hekimlik süreçlerini kolaylaştıran ve bireyselleştirilmiş sağlık modellerini teşvik eden bu tür yenilikler, gelecekteki bağlantılı sağlık sistemlerinin temel bileşenleri arasında yer alacaktır. Bu projede geliştirilen cihazın amacı, hastalıkların doğrudan teşhisinden ziyade; erken fark edilmesi, risk değerlendirmesi yapılması ve tedavi sürecinin takibine katkı sağlamaktır.

Bu alışma, düşük maliyetli ve taşınabilir IoMT prototip cihazının yaşlılar, kronik hastalar, Covid-19 hastaları ve evde bakım gören bireylerin sağlık durumlarını uzaktan takip edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu makale, söz konusu cihazın tasarımı, geliştirme aşamalarını ve işlevselliğini ayrıntılı şekilde sunarak, cihazın sağlık hizmetlerinde uzaktan takip potansiyelini açıklamak amacıyla hazırlanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, hasta sağlığını etkileyen temel fizyolojik parametrelerin (kalp atış hızı, oksijen doygunluğu, vücut sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve nem) gerçek zamanlı ve kesintisiz olarak izlenmesini sağlayan IoMT tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. (13) Sistem; düşük maliyetli, taşınabilir ve kablosuz veri iletimine uygun donanım bileşenleri ile yapılandırılmıştır. Elde edilen veriler hem yerel olarak LCD ekran üzerinden hem de internet aracılığıyla uzaktan izlenebilir bir web arayüzü üzerinden sunulmaktadır. Ayrıca, belirlenen sınır değerlerin dışına çıkan ölçümler için sistem kullanıcıya anında sesli ve görsel uyarılar sağlamaktadır. Tüm

ölçümler ESP32 mikrodenetleyici tarafından toplanmakta ve Firebase Realtime Database üzerinden bulut ortamına aktarılmaktadır. Bu bölümde, kullanılan donanım ve yazılım bileşenleri ile sistemin tasarım süreci detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1. Kullanılan Donanım Bileşenleri

Bu bölümde, gerçekleştirilen sistemde kullanılan donanım bileşenleri alt başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır. ESP32 Geliştirme Kartı, MAX30100 Nabız ve SpO₂ Sensörü, DS18B20 Dijital Vücut Isı Sensörü, DHT22 Ortam Nem ve Sıcaklık Sensörü ve LCD ekran gibi sistemin işlevselliğini sağlayan tüm bileşenlerin teknik özellikleri, görevleri ve sisteme katkıları hakkında bilgiler sunulmuştur. Her bir donanımın, sistemdeki rolü dikkate alınarak seçilme nedenlerine de değinilmiştir.

2.1.1. ESP32 Geliştirme Kartı

ESP32, Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamaları geliştirmek için kullanılan, düşük maliyetli bir mikrodenetleyicidir. Entegre Wi-Fi ve Bluetooth özellikleri sayesinde kablosuz bağlantıyı kolayca sağlayarak çeşitli cihazların internete erişmesini ve birbirleriyle iletişim kurmasını mümkün kılar. Güçlü işlemcisi, çeşitli giriş/çıkış (GPIO) pinleri ve düşük enerji tüketimi onu akıllı cihazlardan endüstriyel uygulamalara kadar birçok alanda tercih sebebi yapar. Diğer entegrelerden ayrılan temel özelliği, her iki kablosuz bağlantı türünü tek bir çipte sunarak maliyeti düşürmesi ve sistem tasarımını basitleştirmesidir. En yaygın programlama dillerinden olan C++ ve Arduino IDE kullanılarak programlanabilir. Ek olarak, ESP-IDF (Espressif IoT Geliştirme Çerçevesi) özellikle ESP32 geliştirme için kapsamlı bir kütüphane ve araç seti sağlar (14).

2.1.2. MAX30100 Nabız ve SpO₂ Sensörü

MAX30100, fotopletizmografi (PPG) prensibiyle çalışan entegre bir nabız oksimetrosu ve kalp atış hızı sensörüdür. Bu sensör, kırmızı (660nm) ve kızılötesi (880nm) LED'ler kullanarak bir fotodetektör aracılığıyla, cilt altındaki kan hacmi değişikliklerini optik olarak ölçer. Bu ölçümler sayesinde kalp atış hızı ve kandaki oksijen saturasyonu (SpO₂) belirlenebilir. ESP32 mikrodenetleyicisi gibi cihazlarla I2C protokolü üzerinden iletişim kurarak, nabız hızı ve oksijen doygunluğu verilerini aktarır (15). SCL ve SDA pinleri I2C iletişim protokolü üzerinden veri iletimi ve saat sinyali sağlamak için kullanılan pinlerdir; SCL saat sinyali gönderirken, SDA veri iletimi ve alımı için kullanılır. Bu özellik, sensörün sağlık izleme sistemlerine kolayca entegre edilmesini sağlar.

2.1.3. DS18B20 Dijital Vücut Isı Sensörü

DS18B20, ortam sıcaklığını dijital olarak ölçen, hassas ve kullanımı kolay bir sensördür. -55°C ila $+125^{\circ}\text{C}$ alışma sıcaklığı aralığına ve $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyete sahiptir. En önemli özelliklerinden biri, tek-telli (1-Wire) iletişim protokolü sayesinde tek bir hat üzerinden hem g hem de veri iletimi sağlar. Her DS18B20 sensörünün benzersiz bir 64-bit seri numarası vardır, bu da aynı veri hattına birden fazla sensörün bağlanabilmesine ve ayrı ayrı adreslenerek okunabilmesine olanak tanır (16). Bu zellikleri sayesinde ev otomasyonu, endüstriyel kontrol sistemleri, çevresel izleme ve sıcaklık takibi gerektiren birçok uygulamada yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, su geçirmez versiyonları sayesinde nemli veya sıvı ortamlarda da güvenilir ölçümler yapabilir.

2.1.4. DHT22 Ortam Nem ve Sıcaklık Sensörü

DHT22, dijital ortam nemi ve sıcaklık ölçümü yapan bir sensördür ve genellikle düşük maliyetli, hassas ortam izleme uygulamalarında kullanılır. Bu sensör, sıcaklık ölçümlerini -40°C ile 80°C arasında ve nem ölçümlerini ise %0 ile %100 arasında yapabilmektedir. DHT22'nin ölçüm hassasiyeti, sıcaklık için $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ve nem için $\pm \%2-5$ RH (nemin bağlı nemi) aralığındadır (17). Bu sensör özellikle IoT uygulamalı projeler için; akıllı ev sistemleri, sağlık izleme ve çevresel izleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.5. LCD (2x16)

LCD, sıvı kristal teknoloji kullanılarak görüntü üreten bir ekran türüdür. Elektriksel sinyallerle sıvı kristallerin yn değiştirilir, bu durum ışığın geçişini kontrol ederek görüntülerin oluşmasını sağlar (18). Mikrodenetleyici ile haberleşerek alınan verilerin kullanıcıya anlık olarak sunulmasını sağlar. I2C modülü ile bağlandığında daha az pin kullanımı ve kolay bağlantı imkânı sunar. Bu sayede hastanın verilerini sadece uygulamadan değil anlık olarak cihazdan da gzlemleyebilmesini sağlar.

2.2. Kullanılan Yazılım Araçları

Projenin yazılım kısmında, sensör verilerinin işlenmesi ve kullanıcıya sunulması için çeşitli araçlar ve teknolojiler kullanılmıştır. Firebase veritabanının ESP32 modülü ile entegrasyonu sayesinde, sadece bulunduğu ortamda hastanın verilerine erişmekle kalmayıp aynı zamanda anlık sağlık verilerini güvenli bir Şekilde bulut ortamına aktararak yetkisi olan kullanıcılar tarafından da farklı lokasyonlardan takip edilebilmektedir. Bu yazılım bileşenleri, projenin verimli, ulaşılabilir ve kullanıcı dostu olmasını sağlayan temel unsurları oluşturmuştur.

2.2.1. Visual Studio Code

Projede, ESP32 mikrodnetleyicisinin programlanmasında Visual Studio Code (VS Code) kullanılmıştır. Visual Studio Code, hafif, esnek ve güçlü bir kod editörü olarak, geniş eklenti desteği ile yazılım geliştirmeyi kolaylaştırmaktadır. ESP32 üzerinde geliştirme yapmak için kullanılan VS Code, özellikle Arduino IDE'nin sunduğu özelliklerin yanı sıra, geliştiricilere daha fazla özelleştirme seçeneği sunar. Projede, ESP32 mikrodnetleyicisinin veri toplama ve Firebase ile bağlantı kurma işlemleri için PlatformIO eklentisi kullanılarak, C++ dilinde programlama yapılmıştır (19).

2.2.2. Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı

Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı, anlık veri iletimini sağlayan bulut tabanlı bir veri tabanıdır. Firebase, veri iletiminde HTTPS (SSL/TLS) protokolünü kullanarak verilerin internet üzerinden şifreli olarak aktarılmasını sağlar. Böylece, hasta verileri kullanıcı cihaz ile sunucu arasında güvenli bir şekilde iletilir. Firebase ayrıca, kullanıcıların güvenli şekilde oturum açmasını sağlayan Firebase Authentication sistemi ile yetkisiz erişimleri engeller. Veritabanı erişimi ise Firebase'in sağladığı güvenlik kuralları ile kontrol altına alınır. Bu kurallar sayesinde kullanıcılar sadece yetkileri dahilinde verilere erişebilir ve veri bütünlüğü korunur. Firebase alt yapısı hem veri iletiminde hem de depolama aşamasında çok katmanlı güvenlik önlemleri sunarak hasta verilerinin gizliliği ve güvenliğini sağlamaktadır. Bu sayede sadece izin verilen kullanıcıların erişimi mümkün kılınarak hasta verilerinin gizliliği ve güvenliği korunur (20).

2.2.3. HTML/CSS/JavaScript

Proje için geliştirilen web arayüzü, HTML, CSS ve JavaScript dilleri kullanılarak tasarlanmıştır. HTML, sayfa yapısının oluşturulmasını sağlarken, CSS ile görsel tasarım ve düzenleme yapılmıştır. JavaScript ise sayfada etkileşimi, kullanıcının verileri görüntülemesini sağlamak ve Firebase ile bağlantı kurarak verileri alıp dinamik olarak güncellemek için kullanılmıştır. JavaScript sayesinde, kullanıcı arayüzünde verilerin anlık olarak güncellenmesi ve kullanıcıların verileri interaktif bir şekilde görmeleri sağlanmıştır. Firebase ile yapılan bağlantı sayesinde, veriler web sayfasında gerçek zamanlı olarak görüntülenmektedir (21).

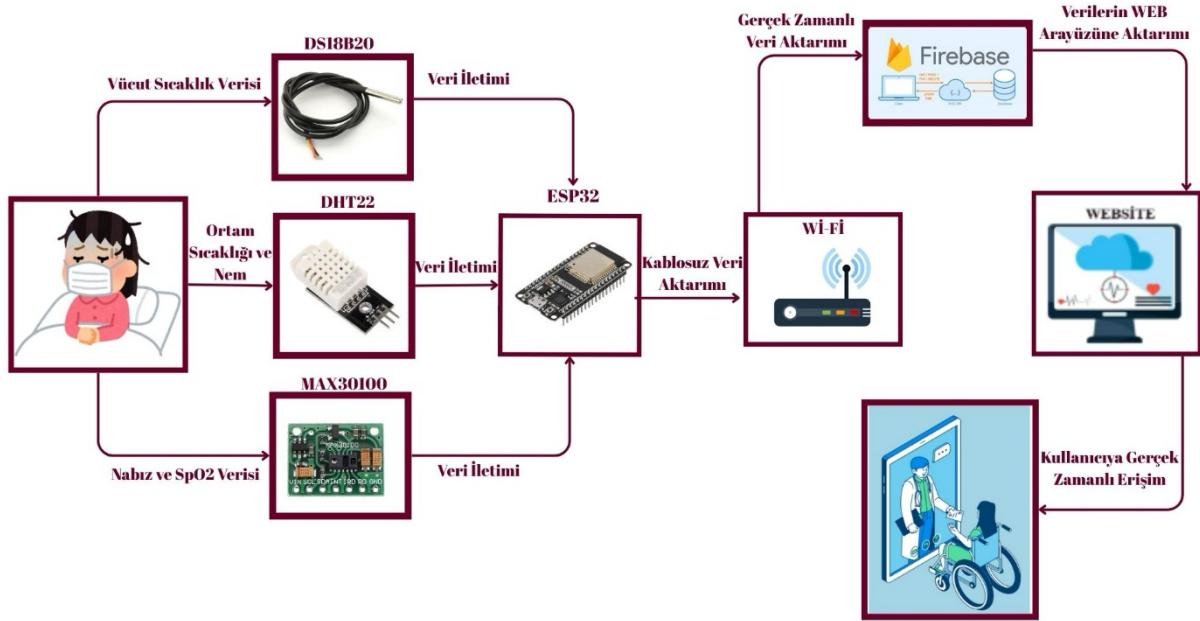
2.2.4. Node.js

Sistemin yazılım altyapısında, sensör verilerinin alınıp işlenmesi ve istemcilere iletilmesi amacıyla Node.js tabanlı bir sunucu uygulaması geliştirilmiştir. Node.js; olay güdümlü, asenkron yapısı sayesinde gerçek zamanlı veri iletimi gerektiren uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu bağlamda, ESP32 mikrodnetleyicisinden gelen sensör verileri, HTTP veya WebSocket protokolü aracılığıyla Node.js sunucusuna iletilmiş, ardından istemcilere

yönlendirilerek tarayıcı üzerinden izlenebilir hale getirilmiştir. Veri güvenliği ve sistemin modülerliği göz önünde bulundurularak, sunucu uygulaması Firebase ile entegre edilmiştir. Firebase Gerçek Zamanlı Veritabanı kullanılarak veriler eş zamanlı olarak görüntülenmekte ve güncellenmektedir. Bu yapı sayesinde, çoklu istemci desteği sağlanmış ve verilerin herhangi bir istemci tarafından güncel olarak takip edilmesine imkn tanınmıştır.

3. Gerçeklenen Sistem

Bu alışmada, Şekil 1’de blok diyagramı verilen hayati verilerin gerçek zamanlı takibini ve uzaktan erişimini sağlayan bir sağlık izleme sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Geliştirilen sistem, sensörlerden alınan yaşamsal verileri hem yerel ağda hem de bulut tabanlı platformlar aracılığıyla gerçek zamanlı olarak takip edilebilir hale getirmektedir. Bu sayede kullanıcılar, sağlıkla ilgili kritik verileri gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte ve olası anormalliklerde uyarı olarak erken müdahale şansı elde etmektedir.



Şekil 1. Gerçeklenen Sistemin Blok Őeması (22-28)

3.1. Sistemin Donanım Birimi

Kullanılacak sensörlerin bağlantı Őekilleri ve pin yapıları literatür ve üretici dokümanları incelenerek belirlenmiştir. Her bir sensör ESP32 kartı ile Arduino IDE üzerinden ayrı ayrı bağlanarak test edilmiştir. Hastanın sıcaklık verileri, DS18B20 sensörü kullanılarak ESP32 kartının GPIO4 pininden dijital olarak okunmuştur. (22) DHT22 sensörü, ESP32 kartının GPIO32 pinine bağlanarak hastanın bulunduğu ortamın sıcaklık ve nem değerlerini ölçmüştür.

(23) MAX30100 sensörü, I2C haberleşme protokolü kullanılarak ESP32 kartı ile iletişim sağlamış; bu sayede hastanın nabız ve kandaki oksijen doygunluk (SpO₂) verileri okunabilmiştir. (24) Tüm sensörlerin tek tek çalıştığı doğrulandıktan sonra aynı anda ESP32'ye entegre edilerek birlikte çalışmaları sağlanmıştır. (25) Böylelikle, sistem farklı sensörlerden gelen verileri senkronize bir şekilde alarak eş zamanlı değerlendirme imkânı sunmuştur.

3.2. Sistemin İletişim Altyapısı

Sistemde elde edilen yaşamsal verilerin yalnızca yerel ortamda değil, aynı zamanda internet üzerinden uzaktan izlenebilir olması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, ESP32 modülünün dahili Wi-Fi özelliği kullanılarak cihazın ağa bağlanması sağlanmıştır. (26) Verilerin ilk etapta yerel ağ üzerinden izlenmesi sağlanmış, ardından uzaktan erişim ihtiyacına yönelik olarak bulut tabanlı bir sistem entegre edilmiştir. (27) Bu sayede veriler hem lokal hem de internet üzerinden gerçek zamanlı olarak takip edilebilir duruma getirilmiştir. (28) Bu sayede hasta ile doktor arasında uzaktan hasta takibini mümkün kılan gerçek zamanlı veri aktarımı yapabilen bir IoMT prototip sistemi tasarlanmıştır.

ESP32 tarafından toplanan sensör verileri iki aşamalı olarak iletilmiştir:

Yerel İzleme: Cihaz ile aynı ağda bulunan kullanıcılar, IP üzerinden erişebilecekleri web arayüzü ile verileri anlık olarak görüntüleyebilmektedir. Bu durumda sadece aynı ağa bağlı olan hasta yakınları ve sağlık çalışanları hastanın verilerine erişebilme imkânı sunmaktadır.

Bulut Tabanlı Aktarım: ESP32 tarafından alınan veriler, öncelikle Node.js tabanlı bir arka uç sunucuya HTTP protokolü ile iletilmektedir. Node.js sunucusu, verileri işleyerek Firebase Gerçek Zamanlı Veri Tabanı üzerine aktarmaktadır. Bu sayede kullanıcılar, fiziksel olarak cihazdan uzakta bulunsalar dahi internet bağlantısı olan herhangi bir cihaz ile hastanın yaşamsal verilerine erişebilmektedir.

3.3. Kullanıcı Arayüzü

Sistemdeki her bir hayati veri için kullanıcı dostu ve görsel açıdan zengin bir veri izleme arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüzde oda sıcaklığı, nem, kalp atış hızı, kan oksijen doygunluğu (SpO₂) ve vücut sıcaklığı gibi yaşamsal parametreler, gerçek zamanlı olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Sensörlerden gelen veriler, web sayfasındaki ilgili alanlara dinamik olarak

aktarılır ve kolayca takip edilebilir.

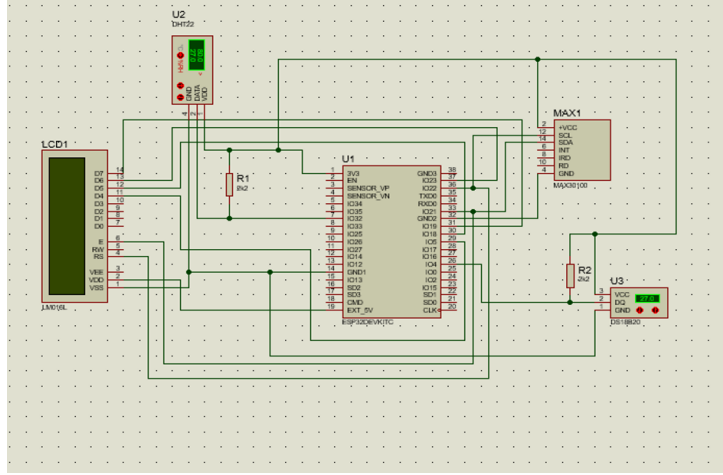


Şekil 2. Sağlık İzleme Sistemi ve Arayüz Uyarı Programı

Arayüzde, hayati veriler belirlenen normal sınırların dışına çıktığında, kullanıcıyı uyarmak için görsel ve işitsel uyarılar etkinleştirilmiştir. Bu kapsamda, verilerin anormal olduğu durumlarda Şekil 2'deki gibi veri kutuları renk değiştirir ve yanıp sönen bir animasyonla dikkat çeker. Ayrıca, uyarı durumları modal pencere ile kullanıcının karşısına çıkarılır ve alarm sesi tetiklenir. Bu sayede sağlık durumundaki kritik değişiklikler anlık olarak fark edilerek hızlı müdahale imkânı sağlanmaktadır. Arayüz, farklı cihaz ekranlarına uyumlu tasarlanmış ve erişilebilirlik standartlarına uygun şekilde geliştirilmiştir.

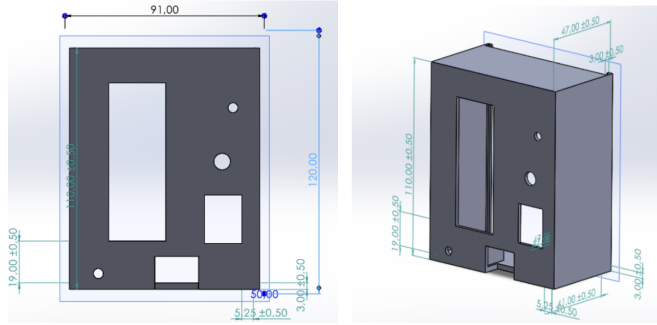
3.4. Donanım Tasarımı ve Prototip Üretimi

Elektronik devre tasarımı ve mekanik yapısının oluşturulmasında Proteus ve SolidWorks yazılımlarından yararlanılmıştır. Devrenin PCB (Baskı Devre Kartı) formuna entegre edilebilmesi için elektronik devre tasarımı, simülasyonu ve baskı devre üretimi amacıyla kullanılan Proteus programı kullanılmıştır. Devrenin bilgisayar ortamında simülasyonu gerçekleştirilerek bağlantıların doğruluğu Şekil 3'te görüldüğü gibi test edilmiştir. Tasarlanan sisteme ait baskı devre Proteus Ares programı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu sayede sistem daha kompakt, dayanıklı ve uzun ömürlü bir yapıya kavuşturulmuştur.



Şekil 3. Proteus Programında Devrenin Şematik Çizimi

Tasarımı yapılan bu devre kartının daha kullanışlı ve korunaklı olması adına Solidworks uygulamasından yararlanılarak Şekil 4’te görülen projenin dış kutu tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen bu dış kutu, bileşenlerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesini, sistemin kullanıcı dostu bir yapıda olmasını ve projenin hem yapısal bütünlüğü hem de kullanım kolaylığını sağlamıştır.



Şekil 4. Solidworks Programından Prototipin Dış Kasa Tasarımı

Ayrıca, dış kutunun ergonomik yapısı sayesinde Şekil 5’te görüldüğü gibi cihazın taşınabilirliği artırılmış ve kullanıcıların cihazı günlük hayatta Şekil 6’da görüldüğü gibi rahatlıkla kullanabilmeleri hedeflenmiştir. Tasarım sürecinde, havalandırma delikleri uzun kablo çıkış noktaları gibi fonksiyonel detaylar da göz önünde bulundurularak, cihazın uzun süreli ve güvenli çalışması desteklenmiştir. Böylece hem mekanik dayanıklılık hem de estetik açıdan tatmin edici bir çözüm elde edilmiştir.



Şekil 5. Geliştirilen Cihazın Prototip Görüntüsü



Şekil 6. Cihazın Pilot Uygulaması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hastaların temel sağlık parametrelerini (kalp atış hızı, SpO₂, vücut sıcaklığı, oda sıcaklığı ve nem) anlık olarak ölçebilen, LCD ekran üzerinden gösterim sağlayan Firebase sayesinde uzaktan erişim ve web sitesi üzerinden izleme olanağı sunan bir sistem geliştirilmiştir. Sistem özellikle yaşlı bireyler, Covid-19, kronik hastalar ve evde bakım gören

hastalar için sağlık durumlarının uzaktan izlenmesini mümkün kılarak sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta ve sağlık personelinin yükünü hafifletmektedir. SolidWorks ile tasarlanan devrenin mekanik dış kasası küçük ve taşınabilir yapıda olduğundan, cihaz kolaylıkla her yere taşınabilmektedir. Bu sayede sağlık çalışanları hastaya fiziksel olarak ulaşmasına gerek kalmadan anlık olarak uzaktan takip edebilmekte ve gerekli durumlarda hızlı müdahalede bulunabilmektedir. Bu durum özellikle Covid-19 gibi bulaşıcı hastalıkların yayılma riskini azaltmanın yanı sıra, hastane yoğunluğunu da düşürerek sağlık hizmetlerinin daha güvenli ve hızlı bir şekilde sunulmasını sağlamaktadır.

Geliştirilen sistem, piyasada bulunan akıllı kol saatleri ve ev tipi dijital sağlık izleme çözümlerine benzer özellikler taşısa da sunduğu kapsam ve kullanım amacına göre daha avantajlıdır. Örneğin, akıllı kol saatleri genellikle kalp atış hızı ve adım sayısı gibi sınırlı parametreleri takip ederken, ev tipi dijital cihazlar ise çoğunlukla tek bir parametreyi (tansiyon aleti, termometre, nabız oksimetre) ölçmekte ve verileri sadece cihaz üzerinde göstermektedir. Akıllı saatlerde verileri anlık olarak izlenmesi sağlansa da bu verilerin uzaktan erişimi bulunmamaktadır.

Geliştirilen sistem ise tek bir cihazdan birden fazla parametreyi (nabız, SpO2, vücut ısısı, ortam sıcaklığı ve nem) aynı anda ölçme imkânı sunmakta ve ölçülen verilerin Firebase tabanlı bulut sistemi aracılığıyla anlık olarak internet üzerinden aktarılmasını sağlamaktadır. Bu sayede hem hasta hem de hasta yakınları ve doktorlar farklı coğrafi konumlarda olsalar bile sağlık verilerine eş zamanlı erişebilmekte, hastanın durumunu sürekli takip edilebilmekte ve gerektiğinde hızlı müdahalede bulunabilmektedir. Akıllı kol saatleri ve ev tipi cihazların sınırlı parametre takibi ve uzaktan erişim eksikliği, özellikle kronik hastalıkların takibinde ve bulaşıcı hastalıkların yönetiminde ciddi dezavantajlar oluşturmaktadır. Geliştirilen sistem ise çoklu sensör entegrasyonu sayesinde kapsamlı veri toplamakta ve uzaktan sağlık hizmetleri uygulamalarıyla entegre çalışarak sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmaktadır. Bu özellikler hem hasta güvenliğini hem de sağlık personelinin iş yükünü azaltmakta; aynı zamanda hastane kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

Bu sisteme ilave sensörler ve sistemler eklenerek hastaların sağlık durumlarının daha kapsamlı bir şekilde izlenmesini sağlayan bir sistem oluşturulabilir. Örnek olarak GPS takip sistemi entegre edilerek, hastanın değerlerinde anormal bir düşüş tespit edildiğinde konumunun tespit edilerek sağlık çalışanlarına ve yakınlarına bildirim gönderilebilir. Ayrıca toplanan veriler analiz edilerek makine öğrenmesi kullanılarak hastanın olası sağlık risklerinin analizi çıkarılabilir. İleriki aşamalarda ulusal sağlık kayıt sistemleri (E-Nabız) ile entegrasyonu

sağlanarak, hasta verilerinin merkezi bir platformda toplanması ve sağlık çalışanları tarafından daha hızlı ve etkili bir şekilde değerlendirilmesi mümkün hale gelebilir. Bu sayede sistem, özellikle kaynakları sınırlı ya da sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde uygulanabilecek uygun maliyetli ve işlevsel bir sağlık izleme çözümü olarak önemli bir katkı sağlayabilir.

Bunun yanı sıra, cihazın tasarımı üzerinde yapılacak geliştirmelerle, ilerleyen süreçte daha küçük boyutlu ve daha taşınabilir bir hale getirilmesi planlanmaktadır. Böylece cihazın kullanım kolaylığı artacak ve hastaların günlük yaşamına daha rahat entegre olabilecektir. Bu sayede sistem, özellikle kaynakları sınırlı ya da sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde uygulanabilecek uygun maliyetli ve işlevsel bir sağlık izleme çözümü olarak önemli bir katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

1. Öcal H., Doğru İ. A. ve Barışçı N., (2019). Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti, *Politeknik Dergisi*, 22(3), 695-714.
2. Arslan, F., & Karataş, T. (2022). Kronik hastalıklar ve yaşlı bireyler. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(2), 117–125.
3. GBD 2013 Mortality and Causes of Death Collaborators. (2015). Global, regional, and national age-sex specific all cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, 385(9963), 117-171
4. Kara F., Keskinli B., Ekinci B., Altunay ., Sarıoğlu G., Navruz A. (2021). *Bulaşıcı olmayan hastalıklar ve risk faktrleri kohort alışması*, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı.
5. ner, S., Balcılar, M., & Yalın, M. (2017). *Türkiye Hanehalkı Sağlık Araştırması: Bulaşıcı Olmayan Hastalıkların Risk Faktrleri Prevalansı*. Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, T.C. Sağlık Bakanlığı.
6. Bashshur, R., Shannon, G., Krupinski, E., & Grigsby, J. (2011). The empirical foundations of telemedicine interventions for chronic disease management. *Telemedicine and e-Health*, 17(10), 769–800.
7. Dinesen, B., Nonnecke, B., Lindeman, D., Toft, E., Kidholm, K., Jethwani, K., Young, H. M., Spindler, H., Oestergaard, C. U., Southard, J. A., Gutierrez, M., Anderson, N., Albert, N. M., Han, J. J., Nesbitt, T., & Taylor, C. (2016). Personalized telehealth in the future: A global research agenda. *Journal of Medical Internet Research*, 18(3), e53.

8. Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708.
9. Aziz, M. S., & Hasan, M. (2015). Internet of Things (IoT) in healthcare: Applications, benefits, and challenges. *International Journal of Computer Applications*, 116(19), 10-16.
10. Singh, R., & Kaur, S. (2021). Health monitoring system using ESP32. *Journal of Physics: Conference Series*, 1979(1), 012007.
11. Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of Things (IoT): Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, applications, and future challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 6122–6126.
12. World Health Organization. (2020). *Noncommunicable diseases country profiles 2020*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240012578>
13. Cicioğlu, M., & Çalhan, A. (2021). Bulut destekli medikal nesnelerin interneti tabanlı uzaktan sağlık izleme sistemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1083–1096.
14. Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and implementation of ESP32-based IoT devices. *Sensors*, 23(15), 6739.
15. Maxim Integrated. (2014). *MAX30100 pulse oximeter and heart-rate sensor IC for wearable health*. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30100.pdf>
16. Maxim Integrated. (2014). DS18B20 Digital Thermometer. <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/DS18B20.html>
17. Waveshare. (t.y.). *DHT22 temperature-humidity sensor*. Waveshare Wiki. Retrieved August 2025, from https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor
18. Wikipedia contributors. (2025, August 14). Liquid-crystal display. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display
19. Firebase Realtime Database. <https://firebase.google.com/docs/database>
20. Firebase Veri Şifreleme ve Gizlilik. <https://firebase.google.com/support/privacy>
21. Add Firebase to Your JavaScript Project. <https://firebase.google.com/docs/web/setup>
22. DFRobot Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor. https://tr.rsdelivers.com/fi/product/dfrobot/dfr0198/dfrobot-waterproof-ds18b20-digital-temperaturefor/2049893?srsltid=AfmBOoq2AK0bOcMmzypZZ0zVfkKBseGc_3sdQhhOBUr0_DoJQDwYcg9R
23. DHT22 Sıcaklık ve Nem Sensörü Modülü AM2302. <https://www.robotzade.com/urun/dht22-sicaklik-ve-nem-sensoru-modulu->

[am2302?srsltid=AfmBOopP1F0po98s3BpXsjGldCAilDAvNXcGsWUNoR003QrcP9LM0KDg](https://www.electrobee.com/es-25958-3pcs-MAX30100-Heart-Rate-Sensor-Module-Heartbeat-Sensor-Oximetry-Pulse-Oximeter-Ultra-Low-Power-Consumption-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards)

24. MAX30100 Heart Rate Sensor Module Heartbeat Sensor Oximetry Pulse Oximeter Ultra Low Power Consumption for Arduino. <https://www.electrobee.com/es-25958-3pcs-MAX30100-Heart-Rate-Sensor-Module-Heartbeat-Sensor-Oximetry-Pulse-Oximeter-Ultra-Low-Power-Consumption-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards>
25. ESP32 WROOM-32 Geliştirme Kartı. <https://www.amazon.com.tr/dp/B084KWNMM4>
26. Wifi Logosu, Ynlendirici, Modem, Kablosuz Ynlendirici, DSL Modem, Diyagram, Bilgisayar Yazılımı, Kablosuz Ağ PNG cretsiz <https://www.klipartz.com/tr/sticker-png-bropi/download>
27. Firebase Nedir, Ne İşe Yarar, Nasıl Kullanılır? <https://blog.koddit.com/yazilim/firebase-nedir-ne-ise-yarar-nasil-kullanilir/>
28. Computer Monitor Health. <https://www.vecteezy.com/vector-art/4229992-computer-monitor-health>