

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI MOBİL HASTA TAKİP SİSTEMİ

Samet YUCA

Danışman

Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT



MANİSA-2024

SANİT
YUCA

NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI MOBİL HASTA TAKİP SİSTEMİ

2024

Tez Sırt Örneği

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Samet YUCA



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.2. Literatür Özeti	2
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Mobil Teknolojiler	6
2.2. Mobil İşletim Sistemleri.....	6
2.2.1. Android İşletim Sistemi	6
2.2.2. iOS İşletim Sistemi	7
2.3. Mobil Sağlık.....	7
2.4. Nesnelerin İnterneti	8
2.4.1. Nesnelerin İnterneti İletişim Protokolleri.....	11
2.4.2. Nesnelerin İnternetinde Alan Ağ Çeşitleri.....	13
2.4.3. Kablosuz Ağ Protokolleri.....	14
2.4.3.1. Radyo Frekansıyla Tanımlama Teknolojisi (RFID)	15
2.4.3.2. Yakın Alan İletişimi (NFC)	15
2.4.3.3. Bluetooth.....	15
2.4.3.4. ZigBee	16
2.4.3.5. Z-Wave.....	17
2.4.3.6. Wi-Fi (IEEE 802.11).....	17
2.4.3.7. Hücresel Ağlar	18
2.4.4. Nesnelerin İnterneti Mimarileri.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	21
3.1. Donanım.....	22
3.1.1. Raspberry Pi Tek Kart Bilgisayar	23
3.1.2. Sensörler ve Aktüatörler	25
3.1.2.1. DS18B20 Vücut Sıcaklık Sensörü	26
3.1.2.2. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü	27

3.1.2.3. ADS1115 A/D Dönüştürücü	27
3.1.2.4. AD8232 Kalp Görüntüleme EKG Sensörü	28
3.1.2.5. MAX30102 Nabız ve Kandaki Oksijen Sensörü	31
3.3. Yazılımlar.....	32
3.3.1. Python Programlama Dili.....	32
3.3.2. Swift Programlama Dili	32
3.4. Bulut Bilişim	34
4. IoT TABANLI MOBİL HASTA TAKİP SİSTEMİ.....	38
4.1. Sensör Verilerinin Toplanması ve Firebase Entegrasyonu	39
4.1.1 Nesnelerin İnterneti (IoT)	39
4.1.2. Firebase Bulut Bilişim.....	39
4.2. iOS Mobil Uygulamanın Geliştirilmesi	40
4.2.1. Kullanıcı Arayüzü	41
4.2.2. Gerçek Zamanlı Veri Gösterimi.....	42
4.2.3. EKG Verilerinin Gösterimi	42
4.3. Uygulamanın Gerçekleştirilmesi.....	42
4.3.1. Verilerin Toplanması, Kaydedilmesi ve Gösterilmesi.....	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BLE	Bluetooth Low Energy
GPIO	General – Purpose Input/Output
EKG	Electrocardiogram
EMG	Electromiyografi
HBYS	Hastahane Bilgi Yönetim Sistemi
HL7	High Level Seven
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
JSON	Javascript Object Notation
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control Address
NFC	Near Field Communication
OS	Operating System
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personal Area Network
RFID	Radio Frequency Identification
SBC	Single Board Computer
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WAN	Wide Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. IoT Teknolojisi Genel Yapısı [25]	9
Şekil 2.2. IoT'nin Nesnelere, İnsanlar ve İnternet İle Olan İlişkisi. [28]	10
Şekil 2.3. Wi-Fi Teknolojisinin Varolan Tüm Versiyonları [33]	18
Şekil 2.4. 1G'den 6G'ye Hücreli İletişimin Gelişimi [34].....	19
Şekil 3.1. Tasarlanan Sistemin Donanım ve Yazılım Şeması	21
Şekil 3.2. Tasarlanan Sensör Devre Kartı.	23
Şekil 3.3. Raspberry Pi 3 B+ Model Tek Kart Bilgisayar [38].....	24
Şekil 3.4. Raspberry Pi Tek Kart Bilgisayarının Pin Yapısı [38]	25
Şekil 3.5. Sensörlerin Temel Çalışma Prensipleri [40]	25
Şekil 3.6. DS18B20 Vücut Sıcaklık Sensörü ve Pin Yapısı [41].....	26
Şekil 3.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü [42]	27
Şekil 3.8. ADS1115 Analog-Dijital Dönüştürücü Modül [44]	28
Şekil 3.9. Kalbin İç Yapısında Bulunan Kısımlar ve İsimleri [12].....	29
Şekil 3.10. Elektriksel Sinyallerin Oluşma Evreleri [12].....	29
Şekil 3.11. EKG Parametreleri ve Etiket Değerleri. [12].....	30
Şekil 3.12. AD8232 Kalp Görüntüleme EKG Modülü [46]	31
Şekil 3.13. Max30102 Nabız ve Kandaki Oksijen Görüntüleme Modülü [47]	31
Şekil 3.14. Swift ve SwiftUi Programlama Dillerinin Sembolleri [49]	34
Şekil 3.15. Xcode IDE Tümüleşik Geliştirme Ortamı Sembolü [50]	34
Şekil 3.16. Firebase Bulut Bilişim Servisi [51]	35
Şekil 3.17. JSON Veri Nesnesi [52]	36
Şekil 4.1. IoT Tabanlı Mobil Hasta Takip Sisteminin Blok Diagramı	38
Şekil 4.2. Mobil Uygulama Sayfalarının Akış Diagramı	41
Şekil 4.3. Raspberry Pi Imager Programı [38].....	46
Şekil 4.4. Realtime Veritabanı Arayüzü ve Kayıtlı Verilerin Gösterilmesi. [52]	48
Şekil 4.5. Cloud Firestore Veritabanının Arayüzü ve Verilerin Gösterilmesi [52] ...	49
Şekil 4.6. Sağlık Personelinin Sisteme Kayıt ve Giriş Ekranı Arayüzü	50
Şekil 4.7. Bir Hastanın Sağlık Verilerinin Gösterildiği Sayfa	51
Şekil 4.8. EKG Grafiği Oluşturma Seçenekleri	52
Şekil 4.9. Kaydedilmiş EKG Veri Grafiği	53
Şekil 4.10. Gerçek Zamanlı EKG Veri Grafiği.....	53

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Literatür Çalışmasında Kullanılan Materyallerin Özeti.....	4
Tablo 2.1. Mobil Cihazların Gelişim Dönemleri [16].....	6
Tablo 2.2. TCP Protokolünü Kullanan IoT Ağ Yapısı [24].....	13
Tablo 2.3. Her İki Teknolojilerinin Kıyaslanması [31].....	16
Tablo 3.1. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü Teknik Özellikleri [42].....	27
Tablo 4.1. Veritabanının Kurulum Aşamaları [52].....	42



TEŞEKKÜR

Çalıőmamda ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT'e, bana manevi olarak her türlü desteği veren sevgili eőime ve çalışma dönemim içerisinde dünyaya gözlerini açarak hayatımıza mutluluk katan biricik oğlum Yiğit'e teşekkür ederim.

Samet YUCA
Manisa, 2024



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Nesnelerin İnterneti Tabanlı Mobil Hasta Takip Sistemi

Samet YUCA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:

Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT

Bu çalışmada, Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bir mobil hasta takip sistemi geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı hastaların sağlık verilerinin mekandan ve zamandan bağımsız olarak gerçek zamanlı olarak takip edilmesidir. Çalışma verilerin elde edilmesi, bulut bilişime kaydedilmesi ve mobil uygulamadan verilerin takip edilmesi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Vücut sıcaklığı, nabız, kandaki oksijen düzeyi, ortam sıcaklığı, nemi ve EKG gibi biyomedikal ve çevresel verileri ölçmek için sensör devre kartı tasarlanmıştır. Devre kartı, Raspberry Pi 3 B+ tek kart bilgisayara bağlanarak IoT tabanlı bir sistem haline getirilmiştir. Raspberry kartı içerisinde yazılan bir python betiği ile veriler Firebase gerçek zamanlı veritabanına anlık olarak kaydedilmektedir.

iOS tabanlı mobil uygulama, swift programlama dilinin UIKit çerçevesi ve EKG verilerinin grafikselleştirilmesi amacıyla SwiftUI kullanılarak geliştirilmiştir. EKG verilerinin buluttan çekilmesi ile hem gerçek zamanlı olarak hem de kayıtlı EKG verilerinden hasta kalbinin durumu takip edilmektedir. Böylece mobil bir cihazdan hastaların kalbi ile ilgili sağlık verilerinin gerçek zamanlı olarak takip edilmesine olanak tanımıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, iOS, Python, Raspberry Pi, Firebase, m-Sağlık, Hasta Takibi.

2024, 63 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Internet of Things Based Mobile Patient Tracking System

Samet YUCA

Manisa Celal Bayar University

Graduate School of Education

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor:

Assoc. Prof. Dr. Yucel KOCYIGIT

In this study, an Internet of Things (IoT) based mobile patient tracking system is developed. The aim of the study is to track patients' health data in real time, independent of space and time. The study consists of three components: data acquisition, data storage in cloud computing and data tracking from the mobile application. A sensor circuit board was designed to measure biomedical and environmental data such as body temperature, pulse rate, blood oxygen level, ambient temperature, humidity and ECG. The circuit board is connected to a Raspberry Pi 3 B+ single board computer and turned into an IoT-based system. With a python script written in the Raspberry board, the data is instantly recorded to the Firebase real-time database. The iOS mobile application was developed using the UIKit framework of the Swift programming language and SwiftUI for graphicalization of ECG data, allowing users to monitor their health data in real time.

The iOS-based mobile application was developed using the UIKit framework of the swift programming language and SwiftUI for graphical representation of ECG data. By pulling ECG data from the cloud, the status of the patient's heart is monitored both real-time and from stored ECG data. This allows real-time monitoring of patient's heart-related health data from a mobile device.

Keywords: Internet of Things, iOS, Python, Raspberry Pi, Firebase, m-Health, Patient Monitoring.

2024, 63 pages

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte, sağlık alanında da yenilikçi çözümler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve mobil teknolojilerin, sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi ve hastaların uzaktan takibi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu tezde, IoT tabanlı bir mobil hasta takip sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çalışmamız, özellikle biyomedikal verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilmesi, tutulması, izlenmesi ve analiz edilmesi üzerine odaklanmıştır.

Bu kapsamda geliştirilen sistem üç ana bileşenden oluşmaktadır. İlk bileşen, MAX30102 nabız ve kandaki oksijen, DS18B20 vücut sıcaklık, DHT11 ortam sıcaklık ve nem sensörleri ile AD8232 EKG ölçüm modülünü içeren bir devre kartıdır. Ek olarak Raspberry Pi kartında analog okuma olmadığından dolayı ADS1115 analog-dijital dönüştürücü de kullanılmıştır. Bu devre kartı, Raspberry Pi tek kart bilgisayar platformuna entegre edilerek, biyomedikal, ortam sıcaklık ve nem verilerinin toplanmasını sağlamaktadır. İkinci bileşen olarak, Raspberry Pi üzerinde çalışan bir Python betiği geliştirilmiş ve bu betik aracılığıyla sensörlerden elde edilen veriler Firebase Realtime Database'e bir saniyede bir kaydedilmektedir.

Üçüncü ve son bileşen ise iOS tabanlı bir mobil uygulamadır. Bu uygulama, uzaktan hasta takibini yapacak olan kullanıcının sisteme kayıt olmasını, giriş yapmasını ve anasayfa üzerinden gerçek zamanlı verileri takip edebilmesini sağlamaktadır. Kullanıcı verileri Firebase'in Cloud Firestore veritabanında depolanmaktadır. Mobil uygulamanın anasayfasında, Firebase'in Realtime Database'den gerçek zamanlı olarak sürekli olarak en güncel veri çekilerek kullanıcılara sunulmaktadır. Bu yapı, hastaların biyomedikal verilerinin uzaktan, etkin ve güvenli bir şekilde izlenmesini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, bu tezde sunulan sistem, sağlık hizmetlerinin dijital dönüşümüne katkıda bulunarak, hasta takibinde yenilikçi ve etkili bir çözüm sunmaktadır. Çalışmamızın, sağlık sektöründe IoT tabanlı mobil uygulamaların geliştirilmesine yönelik örnek bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

1.2. Literatür Özeti

Yapılan literatür çalışmasında mobil hasta takip sistemleri alanında pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan donanım ve yazılımların bir çok ortak yönü olduğu gibi farklı yönleri de bulunmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalardan bazılarında kısaca aşağıda bahsedilmiştir. Literatür taramasında incelenen çalışmaların donanım ve yazılım özet tablosu tablo 1.1’de verilmiştir.

Dilek S., “Nesnelerin interneti tabanlı uzaktan sağlık izleme uygulaması” adlı çalışmada uzaktan hasta takibi sistemi geliştirmiştir. Hastanın solunum, vücut sıcaklığı, kan basıncı, nabız ve vücut pozisyonu verileri alınmıştır. Gömülü sistem Arduino tabanlıdır. Bulut teknolojisi olarak ThinkSpeak teknolojisi kullanılmıştır. Ayrıca veri iletimi için kablosuz bağlantı (Wi-Fi) üzerinden sağlanmıştır [1].

Demirtaş M. ve ark., “Çevrimiçi Çalışabilen Çoklu Ortama Uygun Hasta İzleme Sistemi” adlı çalışmada yine Wi-Fi kablosuz ağ bağlantısını kullanarak giyilebilir bir sistem tasarlamışlardır. Hastalardan EKG, nabız, sıcaklık ve hareket verileri elde etmişlerdir. Atmega328 mikrodenetleyisini kullanarak veritabanı yönetim sistemi olan PostgreSQL veritabanına verileri iletmışlerdir ve çoklu ortamlardan hasta verileri takibini yapmışlardır [2].

Bilgin F. N., “Giyilebilir Teknolojiler Tabanlı Mobil Hasta Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” adlı çalışmada birçok çeşit biyomedikal sensörler kullanılarak elde edilen veriler veritabanı yönetim sistemine gönderilmiştir. Web tabanlı uygulamalar kullanılarak veritabanından veriler çekilmiştir [3].

Taşlı S. ve ark., “Uzaktan Hasta Takibi İçin Mikroservis Mimarisi Kullanan Bir Uç Sistem Tasarımı” adlı çalışmalarında aile hekimi gözetimindeki kritik duruma sahip hastaların uzaktan takip edilebilmesi için bulut tabanlı bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemde geliştirme kartı olarak tek kart bilgisayar tercih etmişlerdir. Sistemin bulut bileşeninde Amazon Web Servisi (AWS) yer almaktadır. [4].

Yılmaz A., “Kablosuz Haberleşme Teknolojisi İle Uzaktan Hasta Takip Sistemi” adlı çalışmasında Android tabanlı bir mobil hasta takip sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, bluetooth aracılığıyla hastanın vücut sıcaklığı verilerini

gerçek zamanlı olarak hasta yakınına ya da ilgili sağlık personeline iletmek şeklindedir [5].

Buçan H., “Emergency Service Patient Tracking System” adlı çalışması ile acil servislerde görev yapan doktor ve hemşirelere hastaların acil durum bilgilerini ulaştıran bir sistem tasarlamıştır. Sistem hem masaüstü uygulama hem de dinamik bir web arayüzüne sahiptir. Hastaların verilerinin tutulması amacıyla Microsoft SQL veritabanı yönetim sistemi kullanmıştır [6].

Ural S. E., “Diyabet Hastaları İçin Anroid Tabanlı Bir Mobil Uygulamanın Geliştirilmesi” adlı çalışmasında diyabet hastalarının günlük yaşamda hastalıklarını kontrol edebilecekleri bir mobil uygulama geliştirmiştir. Bu çalışmadaki uygulama Android tabanlıdır ve veritabanı olarak Firebase bulut platformu kullanmıştır [7].

Boza A. N., “Sağlık Turizmi Kapsamında Olan Turistlerin Seyahatlerinde Hastalık/Rehabilitasyon Hizmetlerinin Web ve Mobil Uygulamalar İle Tabiki: Diyaliz Hasta Takip Sistemi”adlı çalışmasında kronik böbrek yetmezliği olan kişiler için sağlık turizmine erişebilecekleri web ve mobil tabanlı bir uygulama geliştirmiştir. Bu mobil uygulama cross platformlardan biri olan flutter platformunu kullanılarak geliştirmiştir [8].

Cura T., “Sağlık Sektörü İçin Düşük Maliyetli Bir Mobil Hasta Takip Sistemi Önerisi” adlı çalışmasında orta ölçekli hastaneler için Android tabanlı bir mobil hasta takip sistemi geliştirmiştir [9].

Kh'tour M., “Android Tabanlı Hastane Uygulaması” adlı çalışmasında hastaların hastaneye gitmeden randevu alma, analiz sonuçları ve raporlarına erişme imkanı veren Android tabanlı bir mobil uygulama geliştirmiştir [10].

Aktaş F., ve ark. “Real-Time Infant Health Monitoring System For Hard of Hearing Parents By Using Android-Based Mobil Devices” adlı çalışmasında hastanın vücut sıcaklığı, nabız, yatak ıslatma, bebek ağlaması ve terleme durumunu takip etmişlerdir. Herhangi bir alarm durumunun algılanması halinde bluetooth ile Android tabanlı mobil cihaza bu durumu iletmışlerdir [11].

Özkaraca, O. “Giyilebilir Bir EKG Sisteminde Uzaktan Sinyalin Algılanması ve İşlenmesi” adlı çalışmasında giyilebilir bir EKG cihazı tasarımı gerçekleştirmiştir.

EKG cihazından elde edilen veriler Android tabanlı cihaz ile uzak sunucuya göndermiştir. Dolayısıyla doktor tarafından uzaktan EKG takibi yapılmasını hedeflemiştir [12].

Şanlı, M. “Mobil Hasta Takip Sistemi” adlı çalışmasında hasta üzerindeki sensörlerden alınan verileri kayıt eden, değerlendiren ve acil durumlarda hastanın bulunduğu konumu ve hastanın sağlık bulgularını gerekli birimlere aktaran bir sistem tasarlamıştır [13].

Atmaca, O., F., İ. “Yakın Alan İletişimi Tabanlı Mobil Hasta Takip Sistemi Tasarımı” adlı çalışmasında hastadan EKG, nabız, tansiyon ve şeker gibi biyomedikal verileri elde eden NFC tabanlı mobil hasta takip sistemi geliştirmiştir. Android tabanlı mobil uygulama ile de doktorun uzaktan bu verileri takip etmesini sağlamıştır [14].

Yapılan literatür taramasındaki tüm çalışmaların materyal özet tablosu tablo 1.1 ‘de verilmiştir

Tablo 1.1. Literatür Çalışmasında Kullanılan Materyallerin Özeti.

R.	Geliştirme Kartı	Mobil İ.S.	Bulut veya VTYS	Geliştirme Kartı Yazılımı	Sensör	Kablosuz
1	Arduino Mega	-	ThinkSpeak	C/C++	Solunum, Vücut Sıcaklığı, Kan Basıncı, Nabız, Pozisyon	Wi-Fi
2	Atmega328	-	PostgreSQL	-	EKG, Nabız, Sıcaklık, Hareket	Wi-Fi
3	Arduino Nano	-	Microsoft SQL	C/C++	Vücut Sıcaklığı, Kan Basıncı, Nabız, Kandaki Oksijen, Solunum Hızı, Galvanik Deri Tepki, Pozisyon	Wi-Fi
4	Raspberry Pi	-	AWS	Python		-
5	PIC18F2550	Android	-	CCS C Derleyicisi	DS18B20	Bluetooth
6	Arduino Nano	-	Microsoft SQL	C/C++	-	RFID, iBeacon
7	-	Android	Firebase	-	-	-
8	-	Android, iOS	Microsoft SQL	-	-	-

R.	Geliştirme Kartı	Mobil İ.S.	Bulut veya VTYS	Geliştirme Kartı Yazılımı	Sensör	Kablosuz
9	-	Android	MySQL	-	-	Wi-Fi
10	-	Android	MySQL	-	-	-
11	Arduino Leonardo	Android	-	C/C++	Vücut Sıcaklığı, Nem, Nabız, Ses Algılama	Bluetooth
12	STM32F100C4T6B	Android	DropBox	-	EKG	Wi-Fi, GSM, Bluetooth
13	18F2620 PIC	-	-	-	DS18B20 Sıcaklık, ADIS16201 İvme	GPS/ RF
14	Arduino Uno	Android	MySQL	C/C++	Kandaki Oksijen, Vücut Sıcaklığı, Şeker Ölçüm	NFC

Mobil ya da uzaktan hasta takip sistemleri hakkında yapılan literatür çalışmasında genel olarak Android mobil işletim sistemi tabanlı ya da web tabanlı uygulamaların yapıldığı görülmüştür. Fakat iOS mobil işletim sistemi tabanlı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. iOS tabanlı mobil cihazların kullanımı çok yaygın olmasına rağmen bu alanda yapılan akademik çalışmaların pek olmadığı ortaya çıkmıştır.

Geliştirme kartlarından biri olan Raspberry Pi tek kart bilgisayarın, Nesnelerin İnterneti tabanlı sistemlerde verilerin elde edilmesi, analiz edilmesi ve gönderilmesi için kullanımının nadir olduğu görülmüştür.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mobil Teknolojiler

Son otuz yıldan günümüze kadar iletişim günlük yaşamımızı derinden değiştirmiş ve toplumların ilerlemesine ve gelişmesine büyük katkılar sunmuştur. Mobil teknoloji alt yapısı, 1G analog ses sistemi teknolojisinden internet altyapısını kullanan 4G sayısal ses, veri ve görüntü iletim sistemine evrilmiştir. 4G sisteminden sonraki gelişme olan 5G sistemi daha yüksek mobil kullanıcı yoğunluğu, ultra güvenlik, daha doğal makine haberleşmesine imkan vermektedir. Ayrıca 5G teknolojisi daha düşük enerji tüketimi ve gecikme sağladığından dolayı nesnelerin interneti konusunda avantajlar sunmaktadır [15].

Mobil teknolojiler akıllı telefonlar, akıllı saatler ve akıllı bileklikler gibi taşınabilir teknolojilerin tümünü ifade etmektedir. Bu teknolojilerde tablo 2.1’de gösterildiği gibi günümüze kadar pek çok dönemlerden geçmiştir ve genel olarak Android ya da iOS tabanlı olmak üzere iki platform günümüzde kullanılmaktadır [16].

Tablo 2.1. Mobil Cihazların Gelişim Dönemleri [16]

Dönem	Zaman	Özellikler
Telsiz Telefonlar	1988-1988	Telefonlara çok kısıtlı veri hizmeti
Cep Telefonları	1998-2002	WML, MMS/SMS, küçük ekranlar, v.b.
Akıllı Telefonlar	2002-günümüz	Java-ME, Windows Mobil, Palm OS, RIM
Dokunmatik Telefonlar	2009-günümüz	iPhone, Android v.b.

2.2. Mobil İşletim Sistemleri

Akıllı telefon ve tablet gibi taşınabilir cihazlar için kullanılan işletim sistemlerine mobil işletim sistemleri denir. Günümüzde Android ve iOS işletim sistemleri olarak iki çeşit işletim sistemi kullanılmaktadır.

2.2.1. Android İşletim Sistemi

Android işletim sistemi 2003 yılında Andy Rubin, Rica Miner, Nice Sears ve Chris White tarafından kurulmuştur. Fakat 2005 yılında Google firması tarafından

satın alınmıştır. Açık kaynak kod yapısına sahip olduğundan dolayı herkes tarafından kodları erişilebilir, indirilebilir ve değiştirilebilir. Günümüze kadar 24 farklı sürümü yayınlanmıştır. Uygulama yüklemek için Google Play'e ek olarak Samsung Galaxy App Store ve Xiaomi'nin MiMarket uygulama mağazaları bulunmaktadır. Android işletim sistemi için uygulamalar Java ve Kotlin programlama dilleri kullanılmaktadır. Her iki dilde resmi olarak Google tarafından desteklenmektedir [17].

2.2.2. iOS İşletim Sistemi

Apple iOS platform, OS X'i çalıştıran Apple Mac ve Xcode geliştirme ortamı üzerinde en iyi geliştirme ortamı ile özel bir modelle temellendirilmiştir. Apple geliştiricilere yardımcı olmak için geniş bir web site dökümanı sunmaktadır. Ayrıca iOS temelli cihazlar için iyi bir simulator sağlamaktadır. Ek olarak uygulama geliştirmek için başlangıçta Objective-c desteklenirken bu dilin bazı zorluklarından dolayı 2014 yılında Swift programlama dilini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde her iki programlama dili ile de mobil uygulama geliştirilmektedir. Gerçek bir cihaz konuşlandırılacak uygulamaların oluşturulması amacıyla cihaz ve uygulama için anahtarlar (keys) oluşturmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için belirli cihazlar için anahtarlar geliştirmek amacıyla Apple'a erişmek gerekmektedir [16] [18].

iOS, işletim sistemi olarak açık kaynak değildir. Dolayısıyla dışarıdan müdahale ile sonradan kodlarda oynama yapılamaz. Ayrıca Apple güvenliği ön planda tutarak uygulama mağazasına yüklenen her uygulamayı sıkı bir şekilde denetlemektedir. Böylelikle zararlı yazılımların kullanıcıların güvenliğini tehdit etmesinin önüne geçmektedir [18].

iOS platformu iPhone akıllı telefonlar ile birlikte 2008 yılında yayınlandı. Bu platformda gerçek cihazlara uygulama geliştirebilmek için öncelikle bir Apple Mac bilgisayarına sahip olmanız ve Apple ile bir anlaşma yapmak zorundayız. İşletim sistemi (OS) platformu 4 katman üzerinde çalışmaktadır [16].

2.3. Mobil Sağlık

Sağlık hizmetleri bir çok hizmet alanında olduğu gibi yüksek teknoloji kullanmaya adapte olmakta ve hızlı bir şekilde dijitalleşmektedir. Örneğin, uzun

yıllardır kâğıt dosyalarda saklanan hasta bilgileri artık dijital platformlara taşınarak 7/24 erişilebilir ve istenilen yerden ulaşılabilir durumdadır. Özellikle 2010'lu yıllardan sonra sağlık hizmetlerinde akıllı sağlık ile ilgili uygulamalar giderek artmaktadır. Akıllı sağlık alanında kullanılan IoT, büyük veri, mobil, giyilebilir ve robotik sağlık gibi teknolojiler akıllı sağlık ekosistemini oluşturmaktadır [19].

Akıllı sağlık ekosistemin önemli bir parçası olan mobil sağlık(m-sağlık), Dünya Sağlık Örgütüne göre akıllı telefon, kablosuz araçlar ve mobil dijital hasta izleme cihazları kullanılarak sağlık hizmetlerinin verilmesidir.[19] Bir başka tanıma göre m-Sağlık, "sağlık hizmetlerinde bilişim ve iletişim teknolojilerinin kullanılarak hastalıkların önlenmesi, teşhis ve tedavi edilmesi, izlenmesi ve sağlığın yönetilmesi" [20].

Mobil cihazların geniş depolama alanı ve çeşitli donanımlara sahip olmaları, Wi-Fi, bluetooth ve hücresel ağlar gibi çeşitli kablosuz iletişimi sağlayabilmeleri ve işlem güçlerinin yüksek olmasından dolayı sağlık alanında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca bireylerin interneti kullanma alışkanlığının kişisel bilgisayarlardan akıllı telefonlara doğru evrilmesi de mobil cihazların sağlık alanında tercihini etkilemektedir [21].

2.4. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti kavramını ilk ortaya atan Kevin Ashton bu kavramı "Nesnelerin interneti, tıpkı internetin gerçekleştirdiği gibi dünyayı değiştirme potansiyeline sahiptir. Belki de daha fazla." şeklinde ifade etmiştir. İnsanoğlunun mümkün olduğunca en az müdahalesiyle gerçek dünya ile sanal dünya arasındaki bölümün, veri iletip alabilen algılayıcılar (ısı, ışık, hareket, konum vb.) ile bütünleşmesidir. Bu bütünleşmeyi sağlayan nesnelerin internet ağına bağlanarak diğer nesnelere ve insanlarla iletişim kurması sağlanmaktadır. Böylelikle günümüzde bilgi üretimi sadece insanoğlu tarafından değil nesnelere tarafından da üretilip kullanılmaktadır [22].

Nesnelerin internetinin kabul gören genel tanımı şöyledir; "fiziksel ve sanal nesnelerin fiziksel özelliklerine, sanal kişiliklerin tanımına sahip olan, akıllı arayüzleri kullanan ve bilgi ağına kesintisiz bir şekilde entegre olan, standart ve

birlikte çalışabilir iletişim protokolleri tabanlı kendi konfigürasyon yeteneklerine sahip dinamik bir küresel ağ altyapısıdır.” Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından 2005 yılında IoT kavramının resmi tanımlaması ise şu şekilde yapılmıştır. ”Her yerden, her zaman ve her şey için bağlanabilirlik.” [23].

Diğer bir ifade ile Nesnelerin İnterneti (IoT); nesnelerin/cihazların fiziksel ortamlardan gerçek zamanlı olarak elde ettiği verileri dijitalleştirerek işlemesi, depolaması ve çeşitli iletişim protokollerini kullanarak diğer nesnelere ve insanlarla paylaşmasıdır.

IoT cihazları 4 ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar; cihazın beyni olarak ifade edilen ana kontrol ünitesi (Master Controller Unit), çevreden veri toplayan sensörler, veri iletimi ve haberleşmeyi sağlayan iletişim modülleri ve cihazlara enerji sağlayan güç kaynaklarıdır. Bu bileşenlerin bir araya gelmesi ile IoT cihazları çevrimiçi çalışarak veri alışverişini sağlayabilmektedir [24].

IoT, algılayıcılar ve diğer bileşenleri ile birlikte günümüz akıllı sistemlerde önemli bir teknolojidir. IoT, her nesnenin, mekandan bağımsız olarak veri toplama ve paylaşma sağlayarak bilgiye erişimi ve kullanılabilirlik sunmaktadır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bu erişimin herkes için, her içerik için, her yerde, her cihaz ve ağda olması IoT yapısını ifade etmektedir.

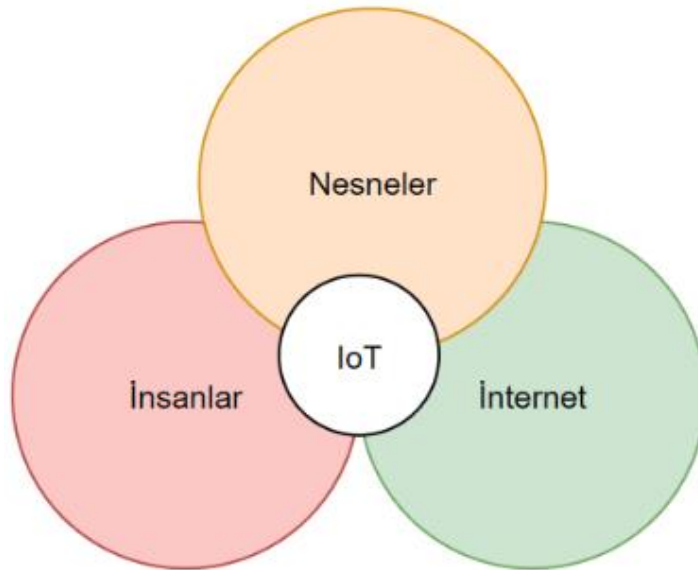


Şekil 2.1. IoT Teknolojisi Genel Yapısı [25]

IoT teknolojisinin esas karakterini oluşturan ifade internettir. İlk kez 1969 yılında, Amerikan Savunma Bakanlığı 4 farklı yerdeki bilgisayarları birbirine bağlamıştır ve bu bağlantı ile ARPANET adı verilen ağ teknolojisi meydana gelerek internetin temelleri atılmıştır. Sonraki gelişmeler ile üniversiteler, AR-Ge merkezlerinin dahil olmasıyla günümüzdeki küresel çaptaki ağ meydana gelmiştir. Bu uluslararası ağ (International Network) kelimelerin kısaltılması ile Inter-Net kavramı türetilmiştir [26].

IoT, ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atılmıştır. Bu kavram, RFID teknolojisinin Procter & Gamble şirketine sağladığı imkanlarla alakalı bir sunumda bahsedilmiştir. Fakat bu kavram ortaya atılmadan çok önce nesnelerin interneti dünyasının bilinen ilk uygulaması 1991 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, Cambridge Üniversitesi'ndeki bir kahve makinesinin görüntülerinin ağ bağlantısı yoluyla görüntülenmesidir [27].

Nesnelerin interneti, internetin hayatımızda yaygınlaşmasıyla beraber ortaya çıkan bir kavramdır. Temelde internet; insanların bilgiye erişimi ve birbiriyle iletişim amacıyla kullanılmaktadır. Fakat nesnelerin internete erişmesiyle beraber iletişimin boyutu değişmiştir. Kablolu ve kablosuz iletişim araçlarının nesnelere entegre edilmesiyle beraber nesne-nesne, nesne-insan iletişimi ortaya çıkmıştır. Nesnelerin interneti; insan, nesne ve internet kavramlarının ilişkisini şekil 2.2'de gösterildiği gibi tanımlayabiliriz.



Şekil 2.2. IoT'nin Nesneler, İnsanlar ve İnternet İle Olan İlişkisi. [28]

Nesnelerin interneti teknolojisini yaygınlaşmasıyla beraber şebekeye bağlı cihazların ve birbirine bağlı nesnelerin sayısında düzenli bir artış olacağı ön görülmektedir. Bu artışlarla beraber ileride milyarlarca cihazın internete erişimi sağlanmış olacaktır. Nesnelerin internetinde öngörülen bu büyümeyi sağlayabilmek için tüm iletişim altyapılarının çok ciddi oranda yükseltilmesi ve dönüştürülmesi gerekmektedir [15].

IoT teknolojisi gezegenimizi kökten değiştirebilecek kapasiteye sahiptir. Bu kapasite, yapılan altyapı çalışmaları ve nitelikli personel yetiştirilmesi ile ortaya çıkacaktır. Yapılan altyapı iyileştirilmesi ve nitelikli ekiplerle beraber tüm alanlarda nesnelerin interneti kullanımını artacaktır.

IoT, kendi ekosistemi içerisinde çeşitli cihazlar, algılayıcılar ve yazılımlar (mobil, bulut vb.) gibi birçok bileşenleri bir araya getirmektedir. Birçok bileşenden meydana gelen bu ekosistemde; nesneler gerçek zamanlı olarak verileri toplamakta, analiz etmekte ve paylaşabilmektedir. Dolayısıyla IoT sistemlerinin potansiyeli çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Örneğin; ev, şehir, modern tarım/hayvancılık, sağlık, otomasyon, lojistik, uzay araştırmaları, eğitim ve spor gibi daha birçok alanda uygulamalar geliştirilmesi potansiyeline sahiptir.

IoT, internetin somut yapılar ile bütünleşmesi ve nesnelerin buldukları yerden diğer bağlı oldukları nesnelere verilerini aktarabilmesini sağlayan bir teknolojidir. Nesnelerin interneti teknolojisinde bulunan nesnelerin hem iletişimini sağlayan hem de verilerini toplayan kısım sensör ağlarından meydana gelmektedir. Sensör ağları, kablosuz olarak veri alışverişinde bulunan ve bu verilerin belirli bir noktadan izlenmesini sağlayan ağlardır [29].

2.4.1. Nesnelerin İnterneti İletişim Protokolleri

İletişim protokolleri, IoT nesnelerinin arasında veri alışverişini ve cihazların birbiriyle iletişim kurmasını sağlayan ortak dil olarak ifade edilmektedir. Bu ortak dil, birden fazla cihazın güvenilir ve kesintisiz haberleşmesini sağlayan bir dizi kurallara sahiptir. IoT teknolojisinde bir çok iletişim protokolleri kullanılmaktadır. Tercih edilecek iletişim protokolleri yapılmak istenen sistem düşünülerek sağlayacağı avantajlar ve dezavantajlar (veri hızları ve kapasitesi, iletim mesafesi, enerji tasarrufu) göz önüne alınarak karar verilmektedir [24].

Ağ sistemlerinde verilerin iletimi ve alımın da katmanlı bir yapı vardır. Her bir katmanın gerçekleştirdiği belirli görevler bulunmaktadır. Bu görevlerin hangi katmanda gerçekleştirileceği net şekilde belirlenmiştir. Her katman kendisinden önceki ve kendisinden sonraki katmanın sunmuş olduğu hizmete göre hareket etmektedir. Yani katman yapısı veri alış/veriş durumuna göre yukardan aşağı ya da aşağıdan yukarı olacak şekilde çift yönlü çalışmaktadır.

Ağ sistemleri içerisinde bulunan uç cihazlar ve ağ cihazlarının birbirine bağlanması ile iletişimin kesintisiz ve güvenli şekilde sağlanması gerekmektedir. Bunun için tüm cihazların aynı iletişim dilini kullanmaları gerekmektedir. Kısaca cihazlar arasındaki iletişimde 3 ana yapı bulunmaktadır. Bunlar; mesajı gönderen kaynak, mesajı alan alıcı ve mesajın iletiildiği kanaldır. Bu üç ayaktan oluşan yapı arasındaki iletişimin sürekli ve güvenli olarak yapılabilmesi için ortak bir iletişim protokolü kullanılmaktadır. İletişim protokolleri, ortak kurallardan oluşan bir dizi işlem adımlarından oluşmaktadır. Literatürde OSI referans modeli ve TCP/IP olmak üzere iki çeşit iletişim protokolü bulunmaktadır.

OSI referans modeli ve TCP/IP protokolünün her ikisinde genel olarak benzer yapılarıdır. Kısaca OSI referans modeli 7 katmandan oluşurken TCP/IP modeli 5 katmanlı bir yapıdan meydana gelmektedir. Bazı kaynaklarda MAC katmanı fiziksel katman içerisinde işlem yapmasından dolayı ikisini tek bir katman olarak almalarından dolayı TCP/IP mimarisi 4 katmana ayırmışlardır. Her iki ağ protokolünde de ortak katmanlar bulunmakla beraber OSI referans modeli TCP/IP protokolünden daha detaylı katman modeline sahiptir. Fakat TCP/IP protokolü OSI referans modelinden daha popüler hale geldi ve günümüzde tercih edilen ağ protokolüdür [26].

IoT teknolojisi de yine ağ protokolü olarak TCP/IP protokolünü kullanmaktadır. TCP/IP protokolünü piramit gibi düşünecek olursak sırasıyla alt katmandan en üst katmana göre sıralama şu şekildedir; fiziksel katman, MAC katmanı, ağ katmanı, iletim katmanı, uygulama katmanıdır. TCP protokolünü kullanan IoT ağ yapısı tablo 2.2’de verilmiştir [24].

Tablo 2.2. TCP Protokolünü Kullanan IoT Ağ Yapısı [24]

Uygulama Katmanı	OneM2M, HTTPS, CoAP, MQTT, AMQP, XMPP, DDS, NTP, EFF
İletim Katmanı	TCP, UDP, DTLS
Ağ Katmanı / IP	IPv4, IPv6, RPL, 6LoWPAN
MAC Katmanı	Bluetooth, RFID, NFC, ZigBee, Z-Wave, LoRaWaN, Sigfox, Hücresel (2G, 3G, 4G, 5G), IEEE802.11 Wi-Fi
Fiziksel Katman	

2.4.2. Nesnelerin İnternetinde Alan Ağ Çeşitleri

- a) **Kişisel Alan Ağları (PAN):** Kişisel alan ağları genel kullanımı kablosuz ağ tabanlı olarak kullanılırlar. Yaygın kullanımı kablosuz yapılar olmasından dolayı kablosuz kişisel alan ağları ifadesi daha doğrudur. Bu ağlar küçük çaplı, düşük güç tüketimi ve dar bir kapsama alanı içerisindeki ağlardır. Bu ağlarda Bluetooth, ZigBee, Z-Wave v.b. kablosuz iletişim çeşitleri yaygın kullanılmaktadır [24].
- b) **Yerel Alan Ağları (LAN):** Yerel ağların büyüklükleri herhangi bir kurum, bina, banka, fabrika, okul ve kampüs alanı ile sınırlı olan alan ağlardır. Bu alan ağları, kullanıcı bilgisayarları, yazıcılar, tarayıcılar, IoT cihazları gibi cihazlardan meydana gelmektedir. Günümüzde en çok kullanılan ağlardan biri olan SOHO (Small Office Home Office) ağlarıdır. Bu ağlarda en yaygın kullanılan ağ media cihazları anahtarlardır (switch). Lan bileşenlerinin temel cihazları şunlardır; uç cihazlar (bilgisayar, yazıcı, IoT, tablet), medialar ve yönlendiricilerdir [26].
- c) **Geniş Alan Ağları (WAN):** WAN, geniş bir alanı yayılmış birden fazla LAN ağının birleşmesinden oluşmaktadır. WAN ağlarında esas karakteri farklı yerel ağlar arasındaki veri paketlerinin yönlendirilmesidir. Geniş alan ağlarında önemli bir noktası da yönlendirmede IP address yapısının kullanılmasıdır. Yönlendirici ağ cihazları ve uzak mesafe bağlantıyı sağlayan ağ kabloları ile büyük çapta verilerin iletimi yapılmaktadır [26].

2.4.3. Kablosuz Ağ Protokolleri

IoT uygulamalarında ihtiyaca uygun bir çok protokoller kullanılmaktadır. Bu protokoller TCP protokol katman yapısının fiziksel katmanın bulunmaktadır. Fiziksel katman iletişim protokolleri verilerin iletişim kanalı üzerinde fiziksel olarak taşınmasını sağlamaktadırlar [24]. Nesnelerin internetinde kullanılan iletişim protokolleri kablolu ve kablosuz ağlardan oluşmaktadır. Fakat nesnelerin, direk olarak kablo yoluyla diğer bir nesneye bağlı olması kullanılabilirliği kısıtlamakta ayrıca nesnelerin arasında veri alış verişini de kısıtlamaktadırlar. Dolayısıyla nesnelerin internetinde kullanılan ağ altyapısı önemli ölçüde kablosuz ağ altyapısını kullanmaktadır.

IoT uygulamalarında kablosuz ağların belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin bazılarını şöyle özetleyebiliriz; IoT cihazlarında kullanılan kablosuz ağların kurulum ve kullanım maliyetlerinin mümkün oldukça düşük tutulması kullanımını daha fazla yaygınlaştıracaktır. Bir diğer önemli özellik düşük bir enerji tüketimine sahip olması istenmektedir. Çünkü IoT cihazları batarya teknolojisi ile çalışan ve genellikle uzun süre aktif olarak faal olarak çalışmaktadırlar. Kablosuz ağlarda istenen özelliklerden diğeri ise geniş kapsama alanıdır. IoT cihazlar yerleştirildiği alan içerisinde mümkün olduğunca daha geniş bir alana sinyal kaybı yaşamadan yayın yapabilmelidir. Dolayısıyla geniş bir kapsama alanı içerisinde daha fazla nesne ile haberleşebilir ve ortamdaki daha fazla veri toplayabilir. IoT cihazların sahip olduğu kişisel ya da kurumsal veriler, hem diğer nesneler ile veri paylaşabilmeleri hem de verileri buluta gönderebilmelerinden dolayı veri güvenliği zaruridir. IoT sisteminin içerisinde oluşabilecek güvenlik açıklarından dolayı kişisel ya da kurumsal veriler kötü amaçlı kişilerin ellerine geçebilmektedir. Bu yüzden her bir veri paylaşımı güvenlik protokolleri dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir.

Nesnelerin interneti büyük ölçüde gerçek zamanlı veriler üzerinde çalışmaktadır. Gerçek zamanlı verilerin paylaşılması ya da buluta gönderilmesi mümkün olduğunca düşük gecikme sürelerinde gerçekleşmelidir. Örneğin tıbbi müdahalelerin olduğu IoT tabanlı uygulamalardaki gecikmeler hastaların hayatına mal olabilmekte veya endüstriyel uygulamalardaki üretim hattındaki gecikmeler maddi kayıplara yol açabilmektedir. Bu yüzden düşük gecikme süresine sahip

kablosuz ağların kullanımı önem arz etmektedir. IoT uygulamalarındaki ağ haberleşmesinde minimum trafik harcanması bir diğer önemli özelliktir. Bu sayede enerji verimliliği, kapasite verimliliği, düşük gecikme ve düşük maliyetler ile ağ haberleşmesi sağlanmış olmaktadır. Tüm bu bahsedilen özelliklere ek olarak kullanılan kablosuz ağın kolay kurulum ve yönetilebiliyor olması gerekmektedir. IoT uygulamalarında kullanılacak kablosuz ağ protokolü seçimi tüm bu özellikler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

2.4.3.1. Radyo Frekansıyla Tanımlama Teknolojisi (RFID)

RFID, belirli bir adres ile kimliklendirme uygulandığı nesnenin, radyo frekansı elektromanyetik alanları kullanarak veri alış verişi yapmasıdır [2]. Etiket, okuyucu ve anten olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Bu kısımdan ilki olan RFID etiketinin içerisinde veriyi tuttuğu mikroentegre devresi bulunmaktadır. RFID okuyucu kısım ise RFID anten sayesinde etikete veri sinyali gönderir ve gelen veriyi dinler [24].

2.4.3.2. Yakın Alan İletişimi (NFC)

NFC, iki cihaz arasındaki temassız iletişim için bir yöntemdir. ISO/IEC 18092 standardizasyonuna sahiptir. Temel yapısı RFID teknolojisine dayanmaktadır. İki cihaz arasındaki mesafe en fazla 10 cm uzaklık olacak şekilde sınırlandırılmıştır. NFC, bir dokunuş ile işlem yapmayı, sayısal içerik takasını, elektronik cihazlara bağlantıyı daha kolay ve konforlu hale getirmeyi amaçlamaktadır. NFC'nin gelecekte standart akıllı kartlardan daha fazla kullanıma sahip olunacağı düşünülmektedir [30].

NFC, RFID teknolojisiyle benzer yönlere sahip yakın alan iletişimini kullanan ve lisans gerektirmeyen bir teknolojidir. NFC 13,56 MHz radyo frekansına sahiptir. Veri hızları ise 106, 212, ve 424 Kbit/s'dir. Ayrıca kullanım durumuna ve ortama bağlı olarak veri hızında değişimler meydana gelmesinden dolayı değişken bir veri hızı vardır [10]. Birbirine yakın tutulan iki IoT nesnesinin arasında güvenli bir veri iletimi sağlamasından dolayı IoT teknolojilerinde kullanımı artmaktadır [28].

2.4.3.3. Bluetooth

Bluetooth kablosuz haberleşme teknolojisi ilk olarak 1994 yılında Ericsson firması tarafından temelli atılmıştır. Daha sonra Intel, Nokia, Toshiba, IBM ve

Ericsson firmalarının kurduğu Bluetooth Özel ilgi Grubu (Bluetooth Special Interest Group-BSIG) tarafından yaygın bluetooth teknolojisi ortaya çıkmıştır. Bluetooth teknolojisi IEEE 802.15.1 standartına sahiptir ve IP tabanlı bir ağ cihazı değildir. Açık kaynak bir haberleşme protokolüne sahiptir. İçerisinde bir işlemci entegresi ve bir anten bulunmaktadır. Bluetooth haberleşme protokolü mobil cihazlar ile kusursuz bir uyum içerisinde çalışmaktadır. Bundan dolayı günümüzde hemen hemen tüm mobil cihazların içerisinde gömülü olarak bulunmaktadır. Diğer önemli bir özelliği küçük boyutlar da olması, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetidir [24].

Günümüzde bluetooth protokolünün en günceli Bluetooth v4.0 versiyonu olarak üretilmiştir. Bu versiyon, BLE olarak adlandırılmıştır. BLE, sahip olduğu özellikler ile klasik Bluetooth teknolojisinden daha akıllı hale gelmiştir. BLE, klasik bluetooth teknolojisine göre radikal yenilikler getirmiştir. Bu yeniliklerden en önemlisi çok daha düşük enerjiler ile uzun çalışma süresine sahip olmasıdır. Klasik Bluetooth sürekli yayın yapmakta iken BLE uçtan uca cihazlar ile gerekli anlar da ya da dönemsel olarak eşleşerek haberleşebilirler. BLE'nin diğer önemli bir özelliği ise birden fazla cihaz ile eşleşerek veri alış verişi yapabilmesidir. Tablo 2.3'de gösterildiği gibi klasik Bluetooth protokolü ile BLE protokolü karşılaştırılması yapılmıştır [31].

Tablo 2.3. Her İki Teknolojilerinin Kıyaslanması [31]

Kablosuz İletişim	Veri Hızı	Sistem Frekansı	İletişim Mesafesi	Ortalama Ağ Ömrü
BLE	1 Mbit/s	2.4 GHz	1-50 m	1-2 yıl
Bluetooth	1-24 Mbit/s	2.4 GHz	10-100 m	Gün - Ay

2.4.3.4. ZigBee

Örgünlü ağ yapısı, ZigBee teknolojisini diğer kablosuz ağ cihazlarından ayıran en önemli özelliktir. Bu ağın çalışma yapısı şöyledir; arılar, mesaj vermek istediklerinde Zik Zak adı verilen hareketler ile bir mesaj oluşturmaktadırlar. Diğer arılar bu mesajı alarak yine aynı hareketler ile kovana ulaşmaya kadar bu mesajı tekrarlamaktadırlar. Dolayısıyla arılar üzerinden mesaj, hedefe ulaşmaya kadar ilerlemektedir. ZigBee isimlendirmesi de arıların bu mesajlaşma hareketinden ve bal arısı manasına gelen ismin birleşiminden meydana gelmiştir. ZigBee teknolojisinin

ana felsefesi minimum güç tüketimi ile uzun süreli hizmet sağlamak üzerine yapılandırılmıştır. Bu sebepten ötürü kullanıcılarına düşük hız, kısa mesafe, düşük bir maliyet sunmaktadır. Düşük güç tüketimini uyku modunda çalışarak gerçekleştirmektedir [31].

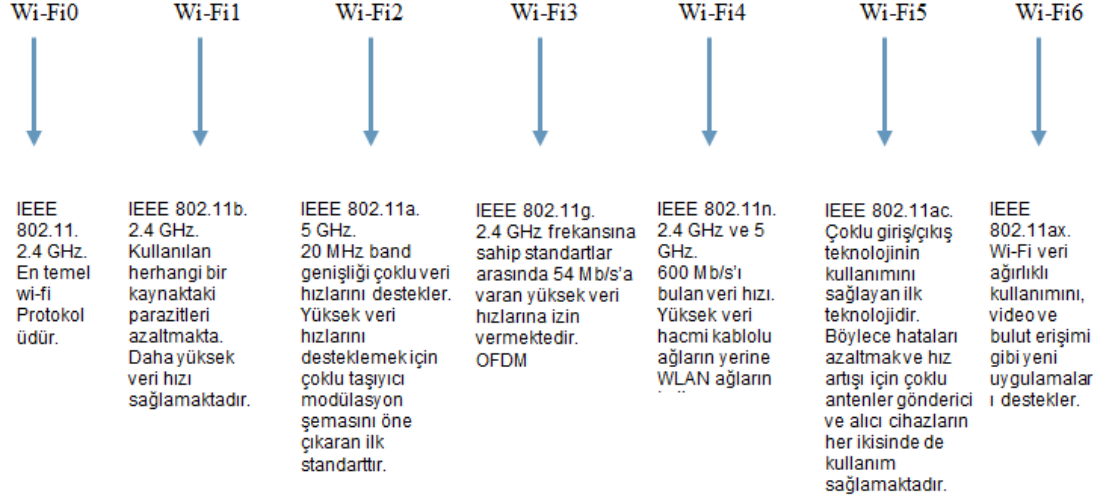
2.4.3.5. Z-Wave

Z-wave teknolojisi oldukça basit bir yapıya sahiptir. Kullanım alanı genelde akıllı ev teknolojileri alanında tercih edilmektedir. Z-wave teknolojisi ışık, anahtar, ve termostatlar gibi akıllı ev ürünlerinin birbiriyle veri alış verişi yapmalarına imkan tanımaktadır. Akıllı ev teknolojilerinde ne kadar çok Z-wave ürünü kullanılırsa ağ bağlantısı da o kadar çok güçlenmektedir. Çünkü her bir Z-wave ürünü aynı zamanda sinyal güçlendirici (repeater) olarak çalışmaktadır [32].

2.4.3.6. Wi-Fi (IEEE 802.11)

Wi-Fi yani kablosuz alan ağı, IEEE 802.11 standartına sahip olarak 1997 yılında kurulmuştur. Dijital cihazların belirli bir alan içerisinde radyo frekanslarıyla iletişimini sağlamaktadır. Wi-Fi erken dönemlerinde lisanssız 2.4GHz radyo spektrumunu kullanarak 2 Mb/s'e kadar kablosuz veri iletimine olanak sağlamaktaydı. Günümüzde Wi-Fi protokolü 2.4 GHz ve 5 Ghz radyo frekanslarında çalışmakta ve 9.6 Gb/s'e kadar veri iletebilmektedir. Wi-Fi 802.11 protokolü b/a/g/n/ac/ah gibi eşitli versiyonları bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil 2.3'de versiyon özellikleri bazı detayları verilmiştir [33].

Günümüzde kullanılan en güncel versiyon olan IEEE 802.11ax (Wi-Fi6) 2021 yılında yayımlanmıştır. Bu versiyona sahip Wi-Fi teknolojisi artık her yıl milyarlarca cihazda dağıtımını gerçekleştirmektedir. Wi-Fi6 teorik olarak 9.6 Gb/s veri hızı sağlamasına rağmen öncelikle bu hızlara ulaşabilmek tek başına Wi-Fi hızının güçlendirilmesi ile ilgili değildir. Gerçek şu ki Wi-Fi kullanımının o kadar çok yaygınlaşması ile beraber ağ trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde ağ performansı da bozulmaktadır. Örneğin stadyumlar, kampüsler, konser salonları, metrolar hatta evlerimizde yönlendiriciler artan sayıda dijital cihazlar ile aynı anda iletişim kurması gerekmektedir [33].



Şekil 2.3. Wi-Fi Teknolojisinin Varolan Tüm Versiyonları [33]







Hali hazırda kullanılan versiyonlar haricinde IEEE standartları derneğinin belirttiği fakat henüz kullanıma sunulmayan son versiyon IEEE P802.11be (Wi-Fi7)'dir. Bu versiyon hala geliştirme aşamasında olduğundan dolayı tahminen 2024 yılında tamamlanacağı ifade edilmiştir. Bu versiyonla beraber veri hızının 4 katına yani 40 Gb/s, bant genişliğinin ise iki katına yani 320 Mhz olacağı belirtilmiştir [33].

IEEE 802.11 çalışma grubu, bir sonraki adımlar da wi-fi cihazlarının pilsiz olarak ortamdaki enerji sağlayarak çalışan IoT ağları için geliştirmeler yapmaktadırlar. Ek olarak artırılmış/sanal gerçeklik (AR/VR) ve metaverse gibi gerçek zamanlı olarak yüksek veri hacmine ihtiyaç duyan teknolojiler için daha yüksek hızlar, daha az parazit ve daha güvenilir bir kablosuz ağ bağlantısı sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca günümüzde popülerliği git gide artan yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler ile temellendirilen Wi-Fi standartları geliştirilmeye çalışılmaktadır [33].

2.4.3.7. Hücresel Ağlar

Hücresel (cellular) ağlar radyo dalgalarını kullanarak temelde iletişim amaçlı kullanılan teknolojilerdir. Genellikle cep telefonları ve tablet gibi taşınabilir cihazlar tarafından kullanılır. 1G versiyonu ile analog sinyallerin iletimi ile başlamak 2G versiyonu ile dijital sinyal iletimine geçmiştir. Dijital sinyal iletimi ile beraber ses

iletiminin yanında kısa mesaj (sms) hizmeti de sağlamıştır. 2000 yılından sonraki gelişmeler ile beraber video, web ve e-posta hizmetleri de kullanılmıştır. Yapılan gelişmeler ile beraber kapsama alanının artırılması ve veri hızındaki yenilikler ile beraber hücresel ağlar kablosuz ağlar arasında önemli bir kullanım miktarına ulaşmıştır. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi hücresel ağların 1G versiyonundan 6G versiyonuna kadar olan gelişim detayları gösterilmektedir [34].

1G	2G	3G	4G	5G	6G
					
2.4 Kbps Sesli arama Analog sinyaller	64 Kbps SMS Dijital sinyaller Daha büyük hizmet	2 Mbps Internet Web uygulamaları Akıllı telefonlar	100-1000 Mbps Yüksek Veri Hızı Mobil uygulamalar Uygulamaların İnterneti	1-10 Gbps Internet of Things Büyük Geniş Bant Akıllı şehir VR / AR	10 Gbps'den daha fazla Yeni Spektrum Enerji verimliliği Yapay zeka Blok zinciri
1980'ler	1990'lar	2000'ler	2010'lar	2020'ler	2030'lar

Şekil 2.4. 1G'den 6G'e Hücresel İletişimin Gelişimi [34]

2.4.4. Nesnelerin İnterneti Mimarileri

Son yıllarda sensörler, mikrodenetleyici kartlar, kablosuz ağlar ve yazılım teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerden dolayı bu cihazların sayısında ciddi bir artış yaşanmıştır. Bu artışla beraber IoT uygulamalarında ihtiyaç duyduğumuz materyallerin seçimi de zorlaşmaktadır. Doğru materyallerin seçimi ile yapılmak istenen IoT uygulaması en yüksek verimlilikte başarıya ulaşmaktadır.

IoT sistemleri birbirinden farklı nesnelere ve ağ protokolleri ile gerçekleştirilebiliyor olmasından dolayı heterojen bir yapıya sahip sistemlerdir. Bu sistemlerin hem donanım kurulumu hem de yazılım kurulumu karmaşık bir sistemdir. Ayrıca farklı cihazların iletişim, entegrasyonu, ölçeklenebilirliği ve güvenilir şekilde çalışması başlı başına sorundur. Bu sebeplerden dolayı IoT sistemleri için ortak bir mimariye ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bulunan bazı mimariler bulunmaktadır. Fakat çeşitli teknolojilerde kullanılmak için geliştirmeler yapıldığı standart olarak önerilen tek bir mimari yoktur. Yani mimari seçimi, yapılmak istenen uygulamalara

dönük olarak işlev, maliyet ve verimlilik gibi özellikler göz önünde bulundurularak yapılması tavsiye edilmektedir [35].

IoT mimarisini oluşturan belli başlı aşamalar bulunmaktadır. Öncelikle ihtiyaç duyulan verileri elde eden algılayıcılar ve aldıkları elektriksel sinyali eyleme dönüştüren sensörler ve aktüatörler aşaması. Sonrasında nesnelere arasında iletişimi sağlayan ve veri alışverişini sağlayan ağ aşaması bulunmaktadır. Üçüncü olarak da hazırlanan verilere makine öğrenmesi, görselleştirme ve veri merkezine gönderilmeden önce gerçekleştirilecek işlemlerin yapıldığı uç BT (bilgi teknolojileri) aşaması bulunmaktadır. Son kısımda ise verilerin analiz edildiği ve depolandığı veri merkezi ve bulut aşaması yer almaktadır [35].

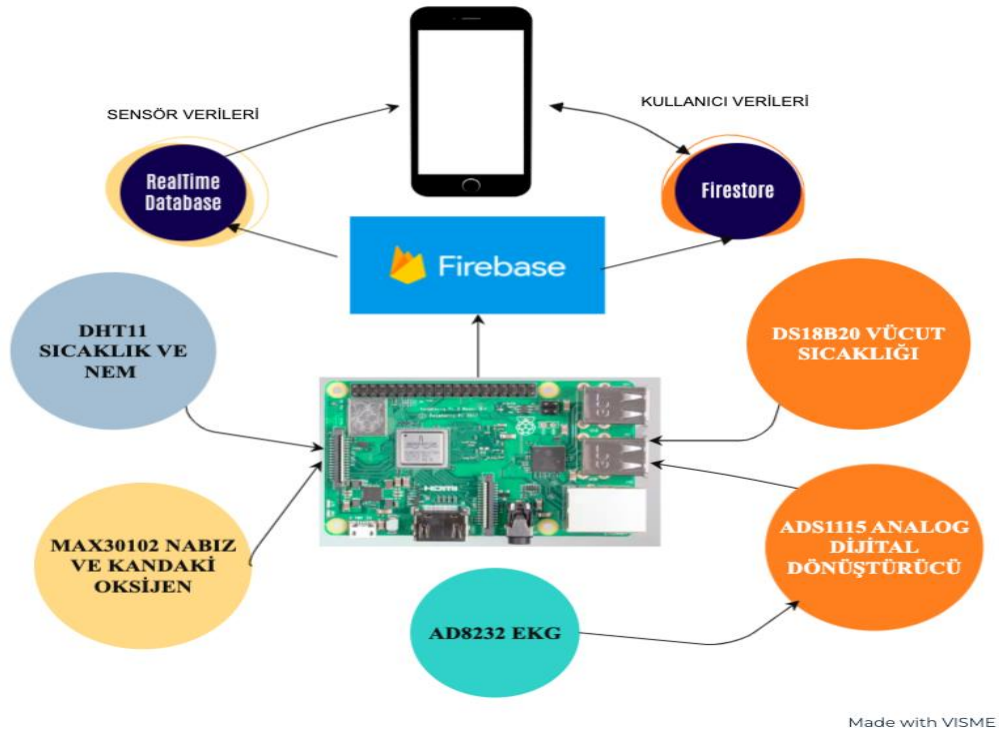
Yukarıda ifade edilen nesnelere interneti mimari aşamalarını barındıran en temel mimari olarak genel mimari yer almaktadır. Literatürde yer alan mimarileri şöyle özetleyebiliriz: [35, 36]

1. **Genel mimari:** Algılama katmanı, ağ katmanı, veri işleme katmanı ve uygulama katmanı olarak dört katmandan oluşmaktadır.
2. **İki katmanlı mimari:** Algılama katmanı ve uygulama katmanı olarak iki katmandan oluşmaktadır.
3. **Üç katmanlı mimari:** Uygulama katmanı, ağ katmanı ve algılama katmanlarından oluşmaktadır.
4. **Dört katmanlı mimari:** Algılama katmanı, ağ katmanı, servis katmanı, uygulama katmanlarından oluşmaktadır.
5. **Beş katmanlı mimari:** Algılama katmanı, taşıma katmanı, işleme katmanı, faaliyet katmanı ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır.
6. **Altı katmanlı mimari:** Fiziksel katman, izleme katmanı, ön işleme katmanı, depolama katmanı, güvenlik katmanı ve taşıma katmanlarından oluşmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Uzaktan sağlık izleme sistemlerinin bir parçası olan mobil sağlık, çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Öncelikle hastaların belirlenmesi ve bu hastalardan sağlık verilerinin elde edilmesidir. Elde edilen verilerin uzak sunuculara gönderilmesi için nesnelerin interneti tabanlı olması gerekmektedir. IoT yoluyla verilerin en az gecikme ve veri kaybı olmadan bulut tabanlı veritabanlarına iletilmelidir. Veritabanı kullanımı, sağlık verilerinin analiz edilmesi ve depolanması kritik öneme sahiptir. Bulut bilişimin servis sağlayıcısı güvenlik, performans, hız ve maliyet açısından gereksinimleri karşılayabilmelidir.

IoT uygulamalarında kullanılacak donanım ve yazılımlar, uygulamanın özelliğine, karmaşık, maliyet, güç tüketimi, uygulanabilirlik, kurulum ve sektöre göre değişmektedir. Donanım ve yazılım tercihi bu detaylar göz önünü alınarak yapılmalıdır. Şekil 3.1’de Bu çalışmada kullanılan donanım ve genel şeması verilmiştir.



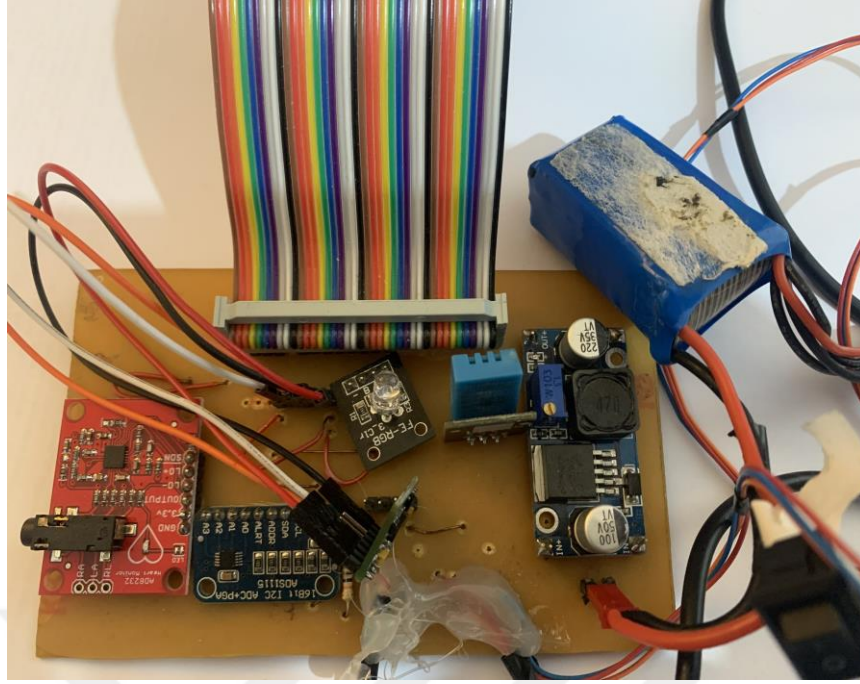
Şekil 3.1. Tasarlanan Sistemin Donanım ve Yazılım Şeması

3.1. Donanım

IoT uygulamalarında donanım önemli bir yapı taşıdır. IoT uygulamalarında donanım iki ana yapıdan oluşmaktadır. Öncelikle elde edilen verilerin işlenmesi, yerelde ya da bulutta depolanmasının sağlanması ve tüm uygulamadan sorumlu bir merkezi işlem birimi bulunmaktadır. İkinci kısım olarak da verilerin elde edilmesi ve verilen komutlara göre eylemleri gerçekleştirecek olan sensörler ve aktüatörlerdir.

Bu çalışmada, biyomedikal sinyalleri toplamak amacıyla sağlık sektöründe kullanılan sensörler tercih edilmiştir. Öncelikle ortam sıcaklığını ve nemini takip edebilmek için DHT11 sıcaklık ve nem sensörü tercih edilmiştir. Hastanın vücut sıcaklığı için DS18B20 suya dayanıklı vücut sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Nabız ve kandaki oksijen miktarının ölçümü için MAX30102 sensörü tercih edilmiştir. EKG verilerinin elde edilmesi amacıyla AD8232 kalp görüntüleme EKG sensörü kullanılmıştır. Ayrıca AD8232 sensörü analog ölçüm yapmaktadır. Fakat Raspberry pi 3 B+ kartında analog giriş bulunmamasından dolayı analog-dijital dönüştürücü kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı ADS1115 analog-dijital dönüştürücüsü kullanılmıştır.

Tüm sensörleri bir ortak bir devre kartında birleştirmek amacıyla sensör devre kartı tasarlanmıştır. Bu devre kartının öncelikle açık devre çizimi fritzing programında gerçekleştirilmiştir. Sonrasında sensör devre kartı için baskı devre şeması proteus programında çizilmiştir. Bu baskı devre çizimi yazıcıyla kuşe kağıdı üzerine basılmıştır. Elde edilen çıktının bakır levhaya aktarılması için sıcak ütünün bastırılması yöntemi kullanılmıştır. Bakır levhanın üzerine devre çiziminin aktarılmasından sonra bu levha hidrojen peroksit ve tuz ruhu karışımı içerisine atılmıştır. Sonrasında devre kartının belirlenen kısımları 1mm matkap ucuyla delinmiş ve sensörler yerlerine yerleştirilerek lehimleme işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak hızlı, düşük maliyetli bir sensör devre kartı elde edilmiştir. Şekil 3.2’de donanım birimleri için tasarlanan sensör devre kartının gerçekleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tasarlanan Sensör Devre Kartı.

Sensörlerden oluşan devre kartı prototipi Raspberry Pi tek kart bilgisayarının pinlerine bağlanmıştır. Tüm veriler, belli zaman aralıklarında anlık olarak tek kart bilgisayarda elde edilerek bulut bilişim platformuna gönderilmektedir. Ekler bölümünde devre kartının açık devre şeması ve baskı devre çizimleri bulunmaktadır.

3.1.1. Raspberry Pi Tek Kart Bilgisayar

Günümüzde teknolojinin sağlık, eğitim, sanayi, tarım ve hayvancılık gibi tüm alanlarda kullanımının giderek artması ile beraber büyük miktarlarda veri yığını ortaya çıkmıştır. Bu verilerin aktarılması ve işlenmesi için yüksek hız ve performans gerektiren programların çalıştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu programların ihtiyaç duyduğu kapasiteyi sağlayacak donanımlar üretilmektedir. Yüksek performanslı IoT kartlarından biri de tek kart bilgisayarlardır (SBC).

Bu çalışmada, geliştirme kartı kullanılarak verilerin toplanması ve bulut sistemine gönderilmesi için Raspberry Pi 3 model B+ tek kart bilgisayarı tercih edilmiştir. Raspberry Pi tek kart bilgisayarının seçilmesinin en önemli sebebi ARM mikroişlemci tabanlı olmasıdır. ARM mimarisinin düşük maliyet, yüksek kapasite, geniş hafıza, birçok giriş-çıkış bağlantısı, çoklu haberleşme protokolü, çoklu çevresel cihaz bağlantısı gibi avantajlarından dolayı Raspberry Pi tek kart bilgisayarlarını popüler kılmaktadır.

Bir diğerk önemli avantajı ise kartı içerisine işletim sistemi kurulabilmektedir. İşletim sistemi, python programlama dilini kullanan çeşitli yazılım geliştirme ortamlarına sahiptir. Böylece harici bir bilgisayara ihtiyaç duyulmadan direk olarak tek kart bilgisayar üzerinden yazılım geliştirmesi yapılabilmektedir. Ayrıca sahip olduğu bağlantı özellikleri ile IoT sistemindeki tüm cihazlar ve internet ağı ile kolay bir şekilde kablolu ve kablosuz bağlantılar kurulabilmektedir. Tüm bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda Raspberry Pi kartının seçilmesinin önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Şekil 3.3'de Raspberry Pi 3 model B+ tek kart bilgisayarı gösterilmektedir [37].

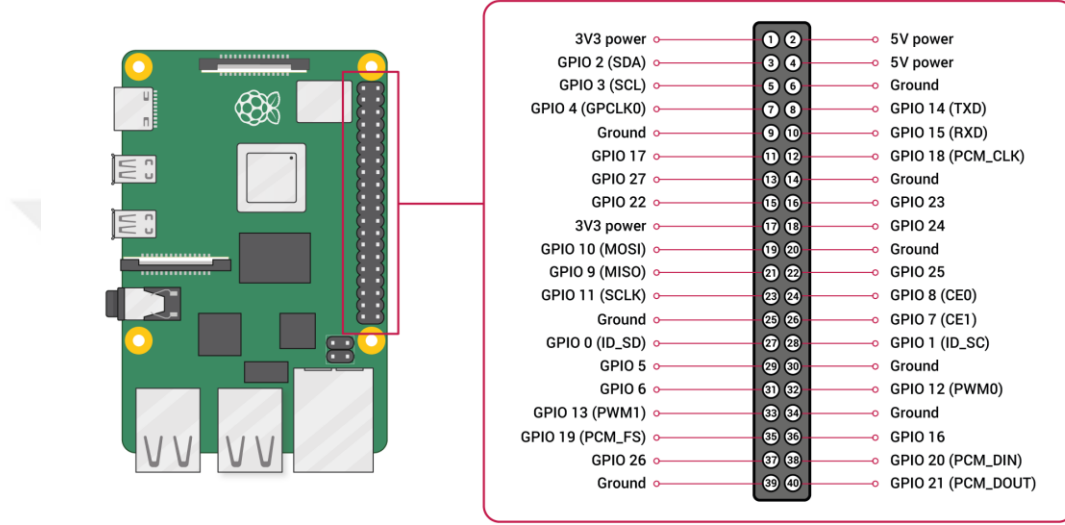


Şekil 3.3. Raspberry Pi 3 B+ Model Tek Kart Bilgisayar [38]

Raspberry Pi, mikroişlemci tabanlı olmasından dolayı RAM ve ROM gibi donanımlar merkezi işlem biriminden ayrılmıştır. Mikrodenetleyici geliştirme kartlarına kıyasla hem bellek hem de işlem gücü olarak daha fazlasını sunmaktadır. Ayrıca kart üzerine hem Rasbian adında resmi işletim sistemi kurulmaktadır. Böylece harici bir bilgisayara ihtiyaç duyulmadan yazılım geliştirmeleri kart üzerinde kolaylıkla yapılmaktadır. İşletim sistemi içerisinde kurulu olarak gelen yazılım geliştirme araçları ile Python programlama dili kullanılarak geliştirmeler yapılmaktadır. Kablolu bağlantı için ethernet portu bulunmaktadır. Kablosuz bağlantı için ise Wi-Fi ve Bluetooth donanımlarına sahiptir. HDMI ile harici ekran bağlanmakta ve usb portuna ise harici klavye ve fare bağlantısı yapılmaktadır [38].

Raspberry Pi'nin güçlü bir özelliği de kartın üst kenarı boyunca uzanan GPIO pinlerinin bulunmasıdır. Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi Zero W ve Raspberry Pi Zero 2 W'de doldurulmamış olmasına rağmen, mevcut tüm Raspberry Pi kartlarında

40 pinli bir GPIO başlığı bulunur. Tüm kartlardaki GPIO başlıkları 0,1 inç (2,54 mm) pin aralığına sahiptir. GPIO pinleri çeşitli alternatif işlevlerle kullanılabilir. Bu işlevlerin bazıları tüm pinlerde, bazıları ise belirli pinlerde mevcuttur. Örneğin PWM, SPi, I2C ve Serial gibi giriş çıkış pin özellikleri yazılımsal ve donanımsal olarak çeşitli pinlerde bulunmaktadır. Şekil 3.4’de Raspberry Pi kartının sahip olduğu pin yapısı ve pinlerin açıklamaları verilmiştir [38].



Şekil 3.4. Raspberry Pi Tek Kart Bilgisayarının Pin Yapısı [38]

3.1.2. Sensörler ve Aktüatörler

Sensörler, analog ve dijital verilerin toplanması için kullanılan donanım elemanlarıdır. Verilerin elde edilmesinde ısı, nem ve ışık gibi fiziksel değişkenleri elektriksel sinyallere dönüştürmektedir. Sensörlerin önemli özelliği çözünürlüktür. Çünkü verilerin doğru ve güvenilir olarak okuyabileceği sayısal aralığı ifade etmektedir. Aktüatörler ise gelen sinyallere göre motor ve röle gibi cihazları eyleme geçiren donanımlardır Şekil 3.5’de gösterildiği gibi temel olarak bir sensörün çalışma prensibi gösterilmiştir [39, 40].



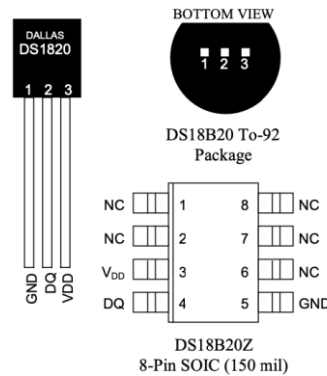
Şekil 3.5. Sensörlerin Temel Çalışma Prensibi [40]

Günümüzde sensörler hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin sanayi, tarım, hayvancılık, oyun, sağlık, güvenlik, akıllı şehirler ve otomotiv gibi pek çok alanda sensörler kullanılmaktadır. Tüm bu alanlarda kullanılmak üzere üretilmiş ve çeşitli özelliklere sahip sensörler bulunmaktadır. Bu çalışmada sağlık sistemleri üzerinde yapılan sistemlere odaklanılmasından dolayı sensör seçimi bu alandan yapılmıştır.

Hastalıkların teşhis edilme ve takibinde yaşamsal bulgular önemlidir. En temel yaşamsal bulgular solunum, vücut sıcaklığı, nabız, EKG, Emg, Eeg, kandaki oksijen gibi ölçülebilen verilerden oluşmaktadır. İnsanın vücut sıcaklığı, nabız, kandaki oksijen miktarı ve elektrokardiyogram gibi değerlerinin ani olarak çok yükselmesi ya da düşmesi kişinin sağlık durumu açısından endişe vericidir. Kişilerin hayati tehlikesi açısından yaşanan bu durumun mümkün olduğunca yer ve zaman fark etmeksizin sağlık personeline aktarılması erken teşhis ve tedavi için zaruridir.

3.1.2.1. DS18B20 Vücut Sıcaklık Sensörü

DS18B20 dijital termometre, 9-bit ile 12-bit arasında değişen Celsius sıcaklık ölçümleri sağlar ve kullanıcı tarafından programlanabilir, kalıcı olarak üst ve alt sıcaklık alarm tetikleme noktalarına sahiptir. Mikroişlemci ile iletişimde yalnızca bir veri hattına ihtiyaç duyar ve 1-Wire veri yolu üzerinden iletişim kurar. Ayrıca, DS18B20 doğrudan veri hattından da güç alabilir yani harici bir güç kaynağı ihtiyacını ortadan kaldırır. Harici güç ile beslenme voltaj aralığı ise 3.0V - 5.5V'dur. Çoklu bağlantı özelliği dağıtık sıcaklık algılama uygulamalarını basitleştirir. 12-bit sıcaklık değerini 750 milisaniye (maksimum) içinde dijital kelimeye dönüştürür. Şekil 3.6'da DS18B20 vücut sıcaklık sensörü ve pin yapısı verilmiştir [58].



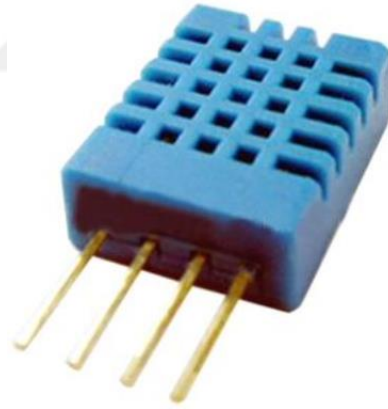
Şekil 3.6. DS18B20 Vücut Sıcaklık Sensörü ve Pin Yapısı [41]

3.1.2.2. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü

DHT11 kalibre edilmiş dijital çıkışa sahip bir sıcaklık ve nem sensörüdür. Hususi dijital sinyal toplama tekniği ve sıcaklık ve nem algılama teknolojisini kullanarak, yüksek güvenilirlik ve uzun vadede istikrarlı bir çalışma sağlar. Bu sensör, direnç tipi bir nem ve bir NTC sıcaklık ölçüm bileşeni içerir ve yüksek performanslı 8 bitlik bir mikrodenetleyiciye bağlanarak mükemmel kalite, hızlı yanıt, parazit önleme yeteneği ve düşük maliyet sunmaktadır. Tablo 3.1’de DHT11 sensörünün teknik özellikleri gösterilmektedir. Şekilde 3.7’de DHT11 sensörünün fiziksel hali gösterilmektedir [42].

Tablo 3.1. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü Teknik Özellikleri [42]

Sensör	Ölçüm Aralığı	Nem Kesinliği	Sıcaklık Kesinliği	Çözünürlük	Pin Sayısı
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	3 veya 4 pin



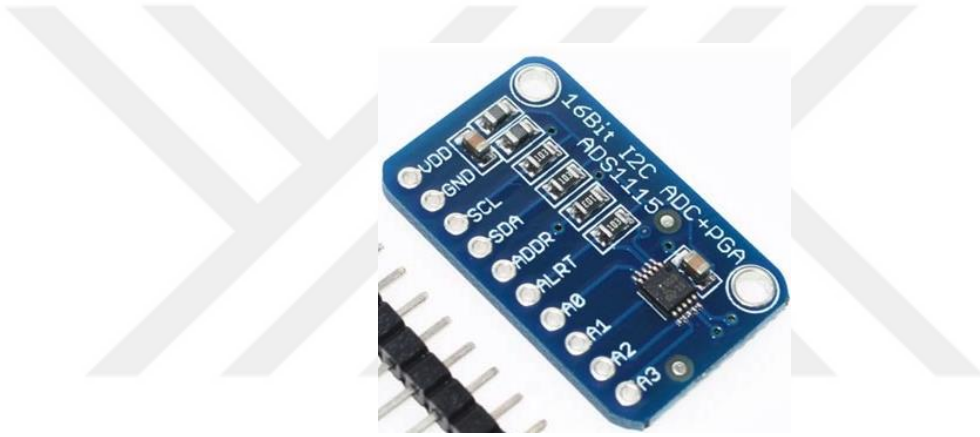
Şekil 3.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü [42]

3.1.2.3. ADS1115 A/D Dönüştürücü

Bu çalışmada Raspberry pi tek kart bilgisayarın analog okuyucu pine sahip olmadığından dolayı analog EKG verilerini dijital veriye dönüştürmemiz gerekmektedir. Bundan dolayı ADS1115 ADC devresi kullanılmıştır.

ADS111x, ultra küçük, kurşunsuz, X2QFN-10 ve VSSOP-10 paketlerinde sunulan, düşük güç tüketimli, hassas, 16 bitlik, I2C uyumlu analog-dijital dönüştürücülerdir. ADS111x cihazları, düşük sapma gösteren bir voltaj referansı ve

bir osilatör içermektedir. ADS1114 ve ADS1115 modelleri, ek olarak bir programlanabilir kazanç amplifikatörü (PGA) ve bir dijital karşılaştırıcı da barındırır. Bu özellikler, geniş bir çalışma besleme aralığı ile birleştiğinde, ADS111x'i güç ve yer kısıtlamaları olan sensör ölçüm uygulamaları için son derece uygun kılar. ADS111x, saniyede 860 örnekleme (SPS) hızına kadar dönüşümler gerçekleştirir. PGA, ± 256 mV'dan $\pm 6,144$ V'ye kadar değişen giriş aralıkları sunarak, hem büyük hem de küçük sinyallerin hassas şekilde ölçülmesini sağlar. ADS1115 modeli, iki diferansiyel veya dört tekli giriş ölçümü yapabilen bir giriş çoklayıcısı (MUX) içerir. ADS1114 ve ADS1115 modellerinde bulunan dijital karşılaştırıcı, düşük ve aşırı gerilim tespiti için kullanılabilir [43]. Şekil 3.8'de ADS1115 analog dijital dönüştürücü gösterilmektedir [44].



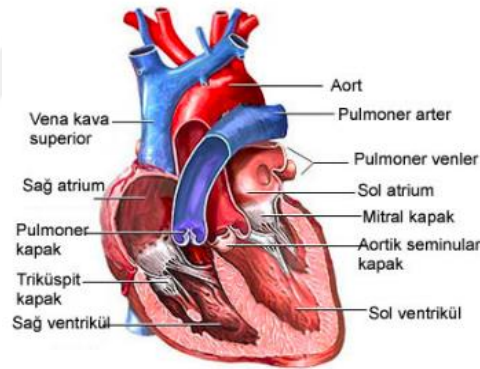
Şekil 3.8. ADS1115 Analog-Dijital Dönüştürücü Modül [44]

3.1.2.4. AD8232 Kalp Görüntüleme EKG Sensörü

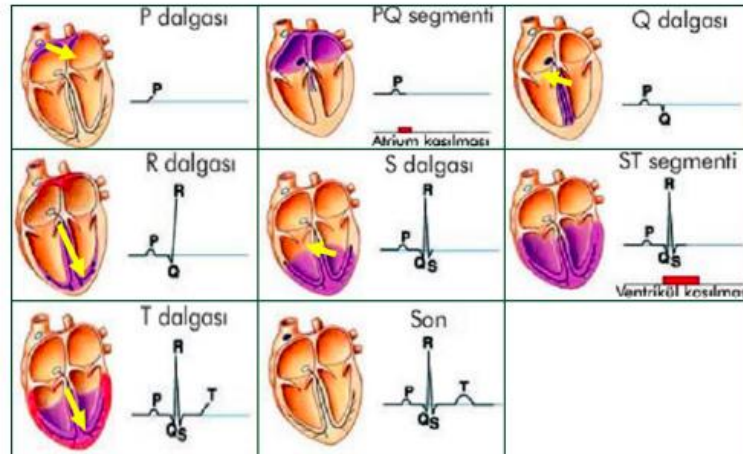
Elektrokardiyogram, kalp kası ve sinir iletim sisteminin fonksiyonlarını analiz etmek için kalbin elektriksel aktivitesinin kaydedildiği bir yöntemdir. Bu işlem sonucunda elde edilen grafiğe elektrokardiyogram, bu işlemi gerçekleştiren cihaza ise elektrokardiograf adı verilir. EKG, kalp sağlığının değerlendirilmesinde kullanılan temel teşhis ve tedavi araçlarından biridir. Bu teknik, kalp kasının kasılma özelliklerini doğrudan sergiler ve kalbin ritim ile iletimindeki anormallikleri belirlemeye yardımcı olmaktadır [12].

İnsan bedeni üzerinden biyomedikal sinyaller elde edilirken her organ için farklı ve hassas çalışmalar gerekmektedir. Kalp en hassas ve hata payının en düşük olması gereken organlardandır. Şekil 3.9'da bir kalbin temel yapısı gösterilmektedir.

Diyastol esnasında, kalbin sağ ve sol ventrikülleri kan ile dolarken, sistol döneminde atriumlardaki kan vücuda itilmektedir. Tıpkı diğer kaslarda olduğu gibi kalp kaslarının kasılıp gevşemesi de elektriksel tetiklemeler ile oluşur. Bu tetiklemeler, sinoatrial (SA) düğüm tarafından dakikada 70 ila 80 kez otomatik olarak üretilir ve depolarizasyon dalgası şeklinde kalbin tamamına yayılır. SA düğümü, sağ atriumun arka duvarında bulunan özelleşmiş hücrelerden oluşur ve merkezi sinir sistemi tarafından ayarlanan aksiyon potansiyelleri üretir. Bu potansiyeller, atrium üzerindeki iletim yolları boyunca ilerleyerek atriumun kasılmasını tetikler ve kanın ventriküllere aktarılmasına yardımcı olur. Aksiyon potansiyelleri 30-50 ms içinde AV düğümüne ulaşır, burada 110 ms'lik bir gecikme ile işlenir, bu da ventriküllerin dolmasına zaman tanır. Kalp kaslarının eş zamanlı kasılması sonucunda büyük bir elektriksel sinyal oluşur ve bu, hastanın vücudu üzerinden algılanabilir. Şekil 3.10'da elektriksel sinyallerin oluşma evreleri verilmektedir [12].

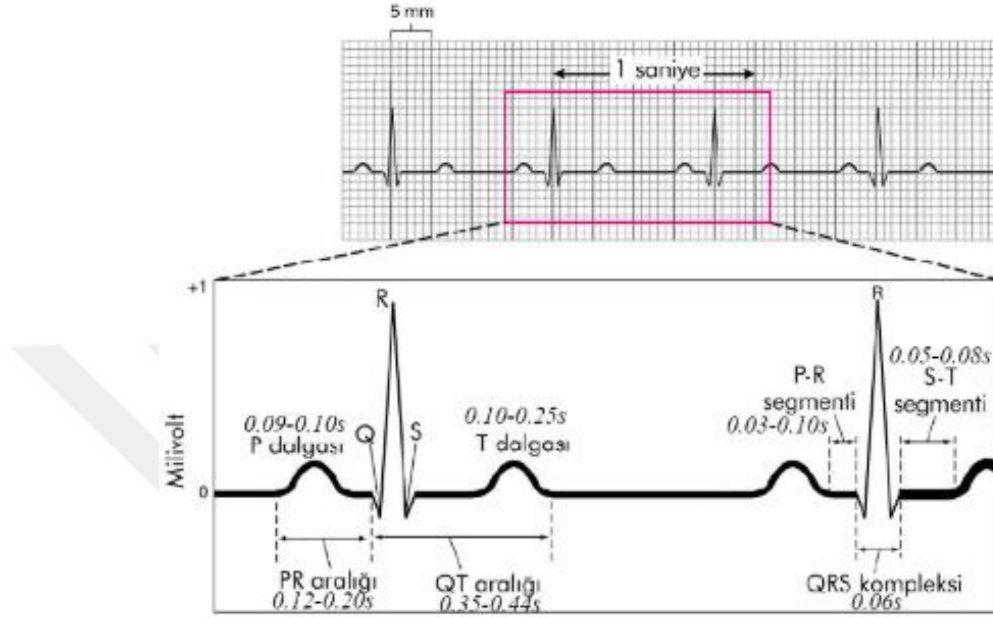


Şekil 3.9. Kalbin İç Yapısında Bulunan Kısımlar ve İsimleri [12]



Şekil 3.10. Elektriksel Sinyallerin Oluşma Evreleri [12]

Elektrokardiyogram, kalp ile ilgili farklı hastalıkların teşhisinde kalp kasının kulakçık ve karıncık gibi bölgelerindeki elektriksel titreşimlerinden meydana gelen P, Q, R, S ve T gibi dalgalarından faydalanır. Şekilde 3.11’de bu dalgaların grafiği gösterilmektedir [12].

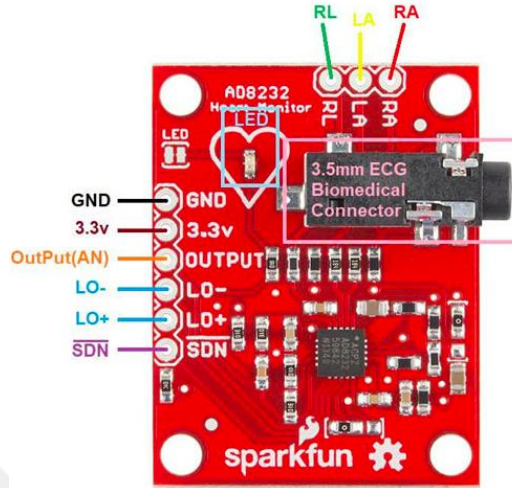


Şekil 3.11. EKG Parametreleri ve Etiket Değerleri. [12]

Elektrokardiyogram verilerinin elde edilmesi için pek çok çeşit kart kullanılmaktadır. Tasarlanan devre kartında AD8232 EKG sensörü kullanılmıştır. AD8232, kalbin elektriksel aktivitesini ölçmek için kullanılan küçük ve hassas bir çiptir.

AD8232, EKG ve diğer biyomedikal ölçüm uygulamaları için entegre bir sinyal koşullandırma bloğudur. Hareket veya uzaktan elektrot yerleştirme gibi gürültülü koşulların varlığında küçük biyomedikal sinyalleri çıkarmak, yükseltmek ve filtrelemek için tasarlanmıştır. Sahip olduğu tasarım ile oldukça düşük güçte çalışmaktadır. Bu entegre devre, tamamen entegre bir tek-kanallı EKG ön ucu sunar. Düşük besleme akımı (tipik 170 μ A), geniş ortak-mod red detayı (dc ile 60 Hz arası 80 dB), iki veya üç elektrot konfigürasyonu gibi özelliklerle donatılmıştır. Yüksek sinyal kazancı ($G = 100$) ve DC engelleme yeteneği ile birlikte gelen bu sistem, 2 kutuplu ayarlanabilir yüksek geçişli filtre, ± 300 mV'ye kadar yarı hücre potansiyeli kabul eder, hızlı geri yükleme özelliği filtre yerleşimini iyileştirir ve kullanıcının isteğine göre 3 kutuplu ayarlanabilir düşük geçişli filtre ile düşük enerji tüketimli bir

tasarıma sahiptir. Ayrıca, AC veya DC seçeneklerine sahip bir kablo kopma algılama özelliği, entegre bir sağ bacak sürücü (RLD) amplifikatörü, tek bir besleme gerilimiyle çalışma 2.0 V ila 3.5 V arasındadır [45], Şekil 3.12’de AD8232 EKG algılayıcısı gösterilmektedir [46].



Şekil 3.12. AD8232 Kalp Görüntüleme EKG Modülü [46]

3.1.2.5. MAX30102 Nabız ve Kandaki Oksijen Sensörü

Max30102 entegre bir nabız ve kandaki oksijen görüntüleme modülüdür. İçerisinde dahili ledler, fotodetektörler, optik elemanlar ve ortam ışığını engelleyen düşük gürültülü bileşenler barındırır. Uygulama alanları; giyilebilir cihazlar, fitness asistan cihazları ve sağlık görüntüleme cihazlarıdır. Çalışma gerilimi 1.8V ve 3.3V arasındadır. Yazılım aracılığıyla ihmal edilebilir bekleme akımıyla kapatılabilir. Böylece güç kaynağı sürekli olarak bağlı kalabilir. Şekil 3.13’de Max30102 modülü gösterilmektedir [47].



Şekil 3.13. Max30102 Nabız ve Kandaki Oksijen Görüntüle Modülü [47]

3.3. Yazılımlar

Hem mobil uygulamalarda hem de IoT uygulamalarında çeşitli yazılım araçları kullanılmaktadır. Her bir yazılım aracı belirli bir amaca hizmet etmektedir. Birinci aşama, algılayıcılardan gelen biyomedikal sinyallerin elde edilmesidir. İkinci aşama ise elde edilen verilerin gerçek zamanlı olarak veritabanına gönderilip kaydedilmesinden oluşmaktadır. Son aşamada ise verilerin yine gerçek zamanlı olarak veritabanından çekilip mobil uygulama ekranında gösterilmesinden oluşmaktadır. Bu yazılım araçlarından kısaca şöyle bahsedebiliriz.

3.3.1. Python Programlama Dili

Python C++, Java ve C# gibi yüksek seviyeli dillerle kıyaslandığında sözdizimi çok basit ve sadedir. Bundan dolayı Python programlarını okumak ve yazmak kolaydır. Nesne yönelimli bir programlama dilidir. Python betikleri platformdan bağımsızdır. Windows, Linux ve MacOS gibi farklı işletim sistemlerinde her hangi bir değişikliğe ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Python açık kaynak kodlu bir programlama dilidir. Kullanımında ve değişimi konusunda herhangi bir sınırlama yoktur. Bu özelliklerinden dolayı dünya çapında Python birçok geliştiricilere ve farklı kütüphanelere sahip olmuştur. Sistem programlama, grafik arayüzü, ağ ve internet programlama, veritabanı programlama, mobil ve oyun gibi pek çok alanda Python ile yazılım geliştirilmektedir [48].

3.3.2. Swift Programlama Dili

Mobil yazılımlar, mobil cihazlar (telefon, tablet, akıllı saat) için geliştirilen yazılımlardır. Mobil yazılım geliştirme, planlama, analiz, tasarım, kodlama, test, dağıtım ve bakım gibi yazılım yaşam döngüsü aşamalarından oluşmaktadır. Mobil yazılımlar planlama aşamasında iki farklı yaklaşımla ele alınırlar. Birinci yaklaşımda iOS ya da Android işletim sistemlerinden herhangi biri düşünülerek tek bir işletim sistemi üzerinden yani yerel (Native-Platform) platform için planlanır. İkinci aşamada ise tek bir uygulama tasarlanarak hem iOS hem de Android olmak üzere iki farklı işletim sisteminde çalışması düşünülerek çapraz (Cross-Platform) platform için geliştirilirler. Her iki yaklaşımın avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

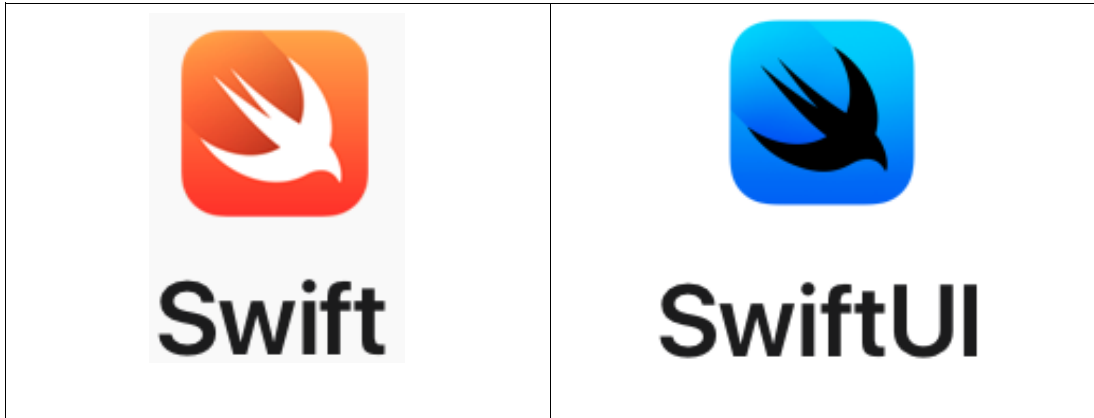
Yerel platformlar için tasarlanan yazılımlar ilgili işletim sisteminin sunduğu geliştirme araçlarını kullanırlar. Örneğin iOS işletim sistemi Xcode IDE programı üzerinden Swift programlama dili kullanılarak uygulama geliştirilmektedir. Android işletim sisteminde ise Android studio IDE programı kullanılarak Java ya da Kotlin programlama dilleri kullanılarak uygulama geliştirilmektedir. Yerel platformda yazılım geliştirme ile yazılım ve donanım araçlarına tam erişim sağlanarak yüksek performans elde edilmektedir. Platforma özgü arayüz bileşenlerinin kullanılarak kullanıcılara daha tutarlı bir kullanıcı deneyimi sunmaktadır. Fakat bu avantajlarına rağmen her platform için ayrı ayrı geliştirme ihtiyacından dolayı yerel platformlar da yazılım geliştirme daha maliyetlidir.

Çapraz platformlar ise daha farklı yazılım geliştirme araçlarına sahiptir. Çapraz platformlar bir kod yapısını birden fazla platformda çalıştırmayı hedeflerler. Bundan dolayı yazılım geliştirme sürelerini ve maliyetlerini düşürürler. Fakat yapılmak istenen uygulamalar hem performans açısından hem de mobil cihazların yazılım ve donanım kaynaklarına erişimi konusunda bazı kısıtlamalar ile karşılaşılırlar.

Bu çalışmada yukarı bahsedilen avantajlar ve dezavantajlar göz önüne alınarak yerel bir platform için uygulama geliştirilmesine karar verilmiştir. Yapılan literatür çalışması sonucunda iOS tabanlı çalışmaların kısıtlı olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı mobil hasta takip sistemi uygulaması, iOS tabanlı olarak planlanmıştır.

Swift, iOS, Mac, Apple TV ve Apple Watch gibi cihazlara uygulama geliştirmek için kullanılan bir programlama dilidir. iOS tabanlı uygulamalar daha önce Objective-C programlama dili ile geliştirilmekteydi. Fakat Objective-c dilinin söz diziliminin zor olmasından dolayı 2014 yılında Swift programlama dili yayınlanmıştır. Swift, ücretsiz, nesne yönelimli ve açık kaynaklı bir dildir. Apache 2.0 açık kaynak lisansına sahiptir. Geliştiriciler için çeşitli kaynaklar ve topluluklar bulunmaktadır. Tüm bunlara ek olarak Apple, yazılım geliştiricileri için Swift programlama dilinin üzerine inşa edilen yeni bir programlama dili olan SwiftUI'yı sunmuştur. SwiftUI, yazılımcılara daha kolay görsellikler sunan gelişmiş deklaratif yapıda bir programlama dilidir. Xcode IDE programı kullanılarak hem Swift hem de SwiftUI programlama dilleri ile uygulamalar geliştirilmektedir. Her iki

programlama dili de aynı çalışmada içe içe kullanılabilir. Şekil 3.14’de her iki programlama dilinin sembolleri gösterilmektedir [49].



Şekil 3.14. Swift ve SwiftUI Programlama Dillerinin Sembolleri [49]

Xcode IDE, yazılım geliştiricilerin Apple platformları için uygulama inşa etmek amacıyla kullandığı bir araçlar paketidir. Xcode, uygulamanın oluşturulması, test edilmesi, optimizasyonu ve Apple Store’da yayınlanmasına kadarki tüm geliştirme iş akışını yönetmek için kullanılmaktadır. Şekil 3.15’de Xcode tümleşik yazılım geliştirme ortamının sembolü gösterilmektedir [50].



Şekil 3.15. Xcode IDE Tümleşik Geliştirme Ortamı Sembolü [50]

3.4. Bulut Bilişim

Hasta üzerinden ve ortamdan elde edilen verilerin hem yerelde hem de uzak sunucularda depolanması gerekmektedir. Verilerin yerel de depolanması için verilerin toplandığı birime bağlı bir belleğin olması yeterlidir. Bu belleğe kullanılan sistem içerisindeki yazılım araçları ile veriler kaydedilip işlenmektedir. Fakat mobil hasta takip sistemi için verilerin uzak sunuculara anlık olarak gönderilmesi

gerekmektedir. Verilerin uzak sunucularda depolanması için veri tabanı yönetim sistemleri ya da bulut bilişim platformları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada verilerin gerçek zamanlı olarak kaydedilmesi ve mobil uygulama tarafından verilerin anlık takip edilmesi için Firebase bulut bilişim sistemi tercih edilmiştir. Bu tercihin en önemli sebebi bulut bilişimin sahip olduğu pek çok avantaj sunmaktadır.

Firestore, Realtime Database ve Storage olmak üzere pek çok çeşitte veritabanı kayıt sistemini geliştirmiş ve sunmaktadır. Veriler JSON formatta kaydedilmektedir. Bundan dolayı SQL sorgu dili kullanılmamaktadır. Sorgu dili olmadığından dolayı gerçek zamanlı işlemlerde çok daha hızlı çalışmaktadır. Şekil 3.16'da Firebase Bulut Bilişimin sembolü gösterilmektedir [51].



Şekil 3.16. Firebase Bulut Bilişim Servisi [51]

JSON veri yapısı JavaScript programlama dilinin veri türlerini temel alan bir veri formatıdır. Son yıllarda JSON web geliştiricileri arasında büyük bir popülerlik kazanmış ve web üzerinden bilgi alışverişi için ana format haline gelmiştir. Online olarak işlem yapan yazılımlar veri alış verişi yapabilmek için Uygulama Programlama Arayüzü (API) adı verilen bir protokol yazmak zorundadırlar [51].

a) Realtime Database: Veriler NoSQL veri yapısı olarak modellenen JSON nesnelere şeklinde tutulur. Veriler tüm istemciler arasında gerçek zamanlı olarak senkronize edilir. Veriler öncelikle yerel diskte tutulduğundan dolayı çevrimdışı durumda veriler tutulmaya devam edilir. İnternet bağlantısı sağlandığında veri aktarımı tekrar sağlanarak yerel disk ve uzak sunucu senkronize hale getirilir.

Veritabanı bağlantısı sürekli olarak dinlenerek en yeni veriler otomatik olarak elde edilir. Veriler hem okunurken hem de yazılırken ihtiyaç duyulan güvenlik protokolleri Firebase güvenlik kuralları aracılığı ile sağlanır. Şekil 3.17’de NoSQL bir JSON veri nesnesi gösterilmektedir.

```
{
  "users": {
    "alovelace": {
      "name": "Ada Lovelace",
      "contacts": { "ghopper": true },
    },
    "ghopper": { ... },
    "eclarke": { ... }
  }
}
```

Şekil 3.17. JSON Veri Nesnesi [52]

Bu çalışmada, veritabanı olarak gerçek zamanlı veritabanı modeli seçilmiştir. Bu model, minimum gecikme ile verilerin okuma ve yazma işlemi yapılması amacıyla seçilmiştir. Ayrıca veritabanı işlemleri oluşturmada hızlı ve basit çözümler sunmaktadır. Çalışmada kullanılan iOS tabanlı mobil uygulama için güncel kütüphane desteği sunmaktadır.

b) Cloud Firestore: Gerçek zamanlı veritabanı modelinde olduğu gibi veriler JSON formatında tutulur. Mobil ve web uygulamaları için esnek ve ölçeklenebilir bir veritabanıdır. Yine burada da ağ bağlantısı dinlenerek anlık olarak veriler çekilebilir. Tasarlanan mobil uygulamasındaki tüm kullanıcı bilgileri Firestore veritabanında tutulmaktadır.

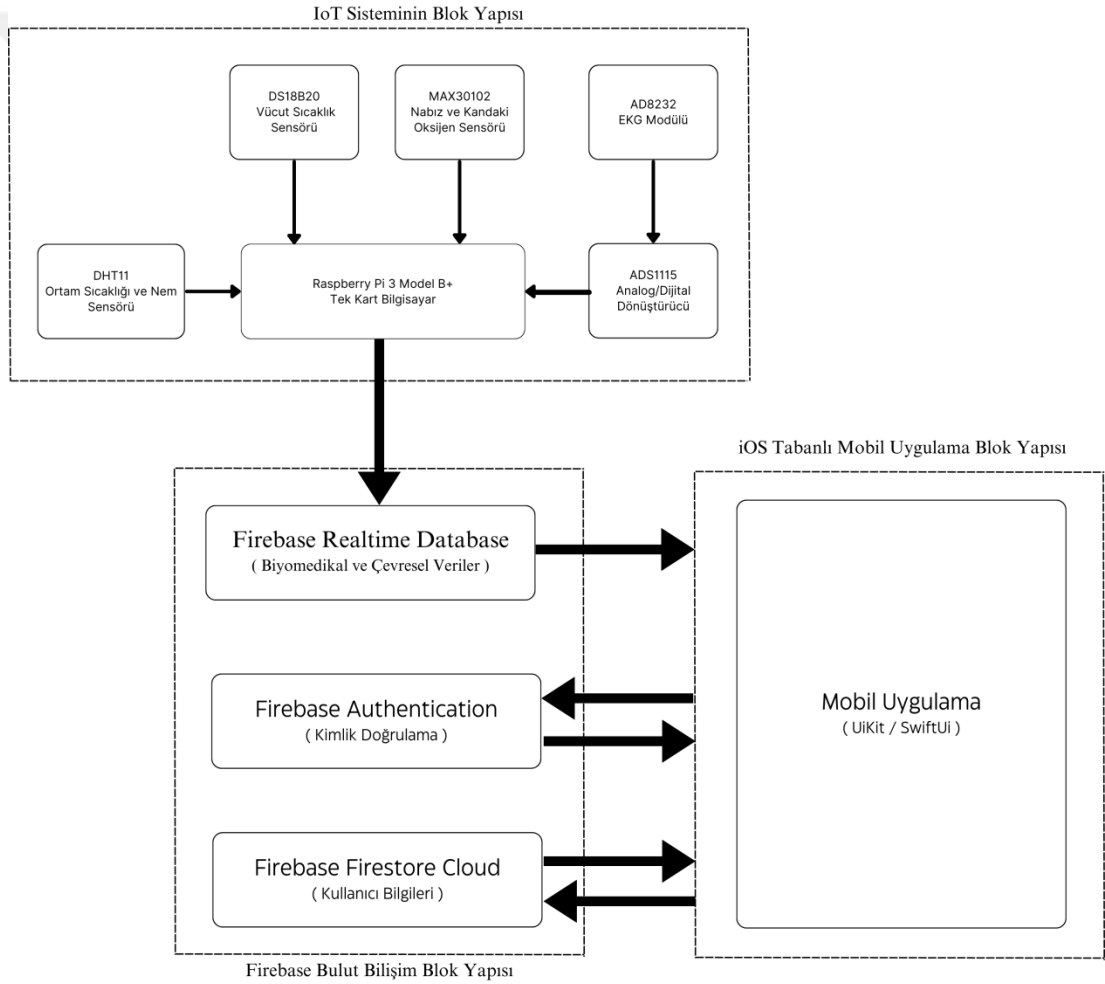
c) Authentication(Yetkilendirme): Firebase Authentication, kullanıcıların kimlik doğrulaması için arka uç hizmetleri, kullanımı kolay SDK'lar ve hazır kullanıcı arayüzleri sağlamaktadır. Şifreler, telefon numaraları, Google, Facebook ve Twitter gibi kimlik sağlayıcıları ile kimlik doğrulamayı destekler. Ayrıca, OAuth 2.0 ve OpenID Connect gibi endüstri standartlarını kullanarak diğer Firebase hizmetleri ve özel arka uçlarla kolay entegrasyon sunmaktadır.

d) Storage(Depolama): Storage, Google'ın ölçeklendirme yetenekleri doğrultusunda geliştirilmiş, güçlü, basit ve maliyet açısından verimli bir nesne depolama hizmetidir. Firebase SDK'ları, ağ kalitesinden bağımsız olarak dosya yükleme ve indirme süreçlerine yüksek güvenlik standartları kazandırmaktadır. Kullanıcılar, istemci SDK'ları aracılığıyla görüntü, ses, video ve kullanıcı tarafından üretilen diğer içerikleri depolayabilirler. Sunucu tarafında ise, paket yönetimi ve indirme URL'leri oluşturma işlemleri için Firebase Admin SDK kullanılmakta olup, dosyalara erişim sağlamak amacıyla Google Cloud Storage API'leri de entegre edilebilmektedir [52].



4. IoT TABANLI MOBİL HASTA TAKİP SİSTEMİ

Bu çalışmada, IoT tabanlı mobil hasta takip sistemi geliştirilmiş ve sistemin performansı analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemin üç ana bileşeni bulunmaktadır: sensör verilerinin toplanması, Firebase bulut bilişim entegrasyonu ve iOS mobil uygulamanın geliştirilmesi. Bu üç bileşen, sistemin genel performansını ve kullanıcı deneyimini değerlendirmek amacıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışma, özellikle üç ana konuya örnek teşkil etmektedir: Nesnelerin İnterneti (IoT), Firebase bulut bilişim platformu ve mobil uygulama geliştirme. Elde edilen veriler, sensör verileri olarak sunulmuş ve mobil uygulama aracılığıyla görselleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin blok diagramı şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. IoT Tabanlı Mobil Hasta Takip Sisteminin Blok Diagramı

4.1. Sensör Verilerinin Toplanması ve Firebase Entegrasyonu

4.1.1 Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT tabanlı bu sistemde, çeşitli biyomedikal ve çevresel verileri toplamak için farklı sensörler kullanılarak bir devre kartı tasarlanmıştır. Bu sensörler, Raspberry Pi 3 B+ kartına bağlanmış ve elde edilen veriler, gerçek zamanlı olarak toplanmıştır. Sistem, hastaların sağlık verilerini kaydetmek ve sürekli olarak izlemek amacıyla geliştirilmiştir.

a) **Vücut Sıcaklığı Sensörü (DS18B20):** Bu sensör, vücut sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Bu veri, hastanın ateş durumu gibi kritik bilgilerin izlenmesinde kullanılmıştır.

b) **Nabız ve Kandaki Oksijen Sensörü (MAX30102):** Bu sensör, hastanın nabzını ve kandaki oksijen seviyesini ölçmek için kullanılmıştır.

c) **Ortam Sıcaklığı ve Nem Sensörü (DHT11):** Bu sensör, ortam sıcaklığı ve nem oranını ölçmek için kullanılmıştır. Bu veriler, hastanın bulunduğu ortamın sağlık koşullarını değerlendirmede önemlidir.

d) **EKG Sensörü (AD8232):** Bu sensör, hastanın kalp ritmini izlemek için kullanılmıştır. Analog sinyal üreten bu sensör, ADS1115 kullanılarak dijitalleştirilmiş ve EKG verilerinin doğru bir şekilde Raspberry Pi'ye aktarıldığı görülmüştür. EKG verileri, kalp ritmindeki düzensizlikleri tespit etmek için kritik öneme sahiptir.

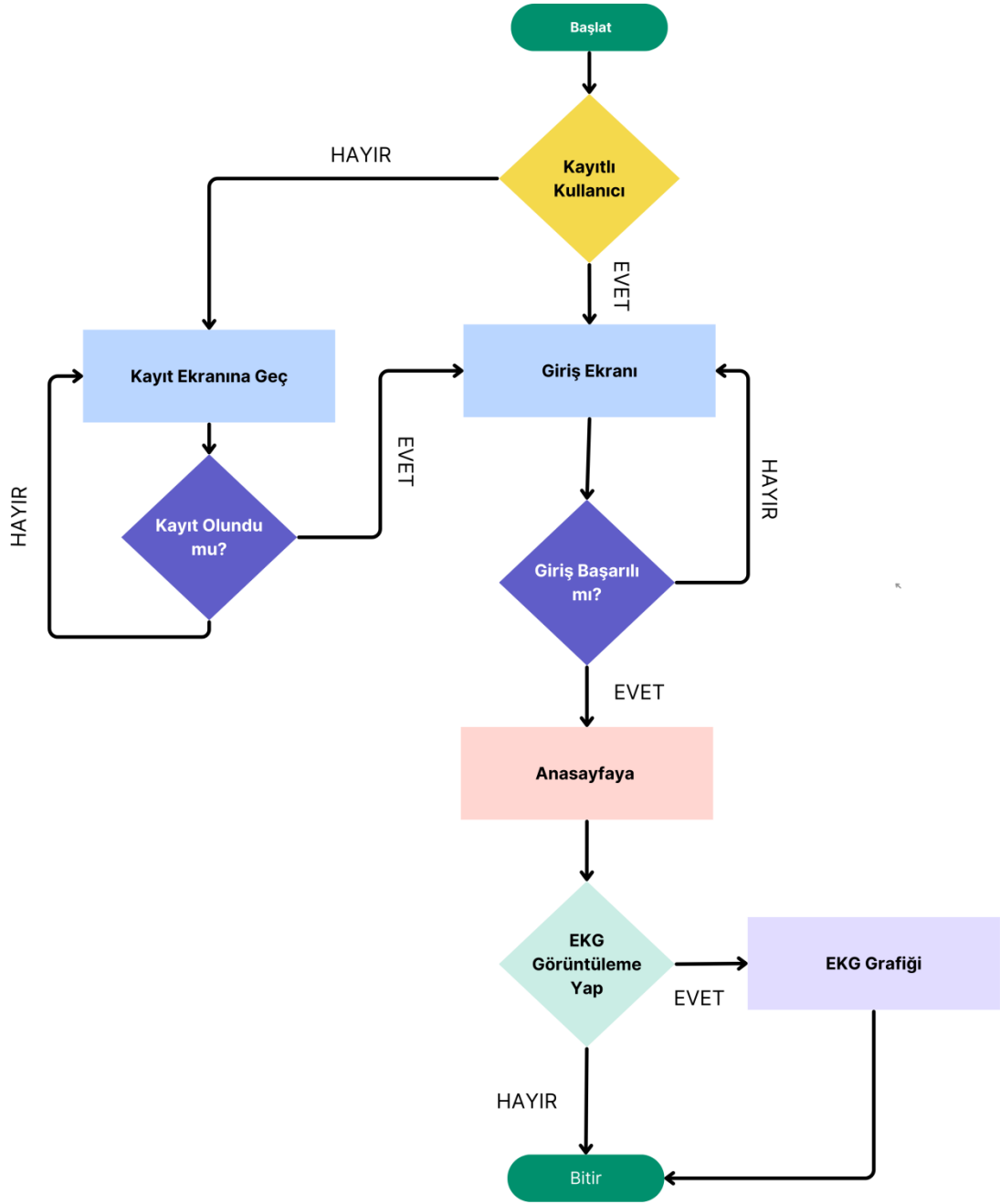
4.1.2. Firebase Bulut Bilişim

Yazılan Python betiği, sensörlerden gelen verileri doğru ve sürekli olarak toplamıştır. Firebase Realtime Database ile entegrasyon sağlanmıştır. Bu entegrasyon, verilerin anlık olarak erişilebilir olmasını ve daha sonra analiz edilmesini mümkün kılmıştır. Sensörlerden elde edilen veriler bir saniyede bir Firebase Realtime Database'e gerçek zamanlı olarak gönderilmiştir, Firebase, sensör verilerinin veritabanına güvenilir ve kesintisiz bir şekilde kaydedilmesini sağlamıştır. Verilerin anlık olarak Firebase Realtime Database'e kaydedilmesi, sistemin veri akışını kesintisiz bir şekilde yönetebildiğini göstermiştir. Bu özellik, hastaların sağlık

verilerinin sürekli ve güvenilir bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca sensörlerden gelen verilerin JSON formatında nesnelere halinde olmasından dolayı 1GB'lık kullanım alanı için ücretsiz bir maliyet sunmaktadır.

4.2. iOS Mobil Uygulamanın Geliştirilmesi

Üçüncü bileşen olan mobil uygulama, iOS mobil işletim sistemi için Xcode IDE kullanılarak Swift programlama dili ile geliştirilmiştir. Bu uygulama, kullanıcıların sisteme kayıt olmasını ve giriş yapmasını sağlamakta, ayrıca sensör verilerini anlık olarak göstermektedir. Mobil uygulama, kullanıcı deneyimini en üst düzeye çıkarmak ve kullanıcıların sağlık verilerini sürekli olarak izleyebilmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 4.2'de tasarlanan mobil uygulama sayfalarının akış diagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Mobil Uygulama Sayfalarının Akış Diagramı

4.2.1. Kullanıcı Arayüzü

Kullanıcıların sisteme kayıt olmalarını ve giriş yapmalarını sağlayan bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Kayıt olma işlemi sırasında kullanıcı verileri Firebase Firestore veritabanında saklanmıştır. Kullanıcı arayüzü, basit ve kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanmıştır, böylece kullanıcılar sistemi kolayca kullanabilmektedir. Tasarım aşaması storyboard kullanılmadan programatik şekilde uiKit çerçevesi kullanılarak yapılmıştır.

4.2.2. Gerçek Zamanlı Veri Gösterimi

Öncelikle mobil uygulama ile Firebase veritabanı entegrasyonu sağlanmıştır. Böylece hem uygulamayı kullanacak sağlık personelinin bilgileri hem de hastadan alınan tüm biyomedikal veriler için Firebase veritabanı kullanılmıştır. Mobil uygulama ekranından verilerin anlık olarak görüntülenmesi sayesinde hastanın sağlık durumunun sürekli olarak izlenebilmesi sağlanmıştır.

4.2.3. EKG Verilerinin Gösterimi

Anlık EKG verileri, Firebase Realtime Database'den gelen verilerle gerçek zamanlı EKG grafiği çizdirilmiştir. Bu, kullanıcıların anlık kalp ritimlerini izlemelerine olanak tanımaktadır. Tüm kayıtlı EKG verilerinden ise sabit bir EKG grafiği oluşturulmuştur. Bu, kullanıcıların geçmiş kalp ritimlerini incelemelerine ve gerektiğinde sağlık profesyonelleri ile paylaşmalarına olanak tanımaktadır.

4.3. Uygulamanın Gerçekleştirilmesi

Uygulama adımlarından ilk aşaması veritabanlarının oluşturulmasıdır. Bu çalışmamız da kullandığımız Firebase veritabanının oluşturulması adımları tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Veritabanının Kurulum Aşamaları [52]

<p>Firestore'in Web adresindeki console alanına geçiş yaparak öncelikle proje ekleme sekmesini tıklamak projemizi ekliyoruz.</p>	
--	--

İkinci adımda projemize benzersiz bir isim veriyoruz.

× Create a project (Step 1 of 3)

Let's start with a name for your project [Ⓜ]

Project name

MobilHastaTakipSistemi


Üçüncü adımda projemizin varsayılan hesabı kısmını seçerek projemizi oluşturuyoruz.

Configure Google Analytics

Choose or create a Google Analytics account [Ⓜ]

Default Account for Firebase

Automatically create a new property in this account 

Upon project creation, a new Google Analytics property will be created in your chosen Google Analytics account and linked to your Firebase project. This link will enable data flow between the products. Data exported from your Google Analytics property into Firebase is subject to the Firebase terms of service, while Firebase data imported into Google Analytics is subject to the Google Analytics terms of service. [Learn more](#) 

Previous

Create project

Proje oluşturma adımları bittikten sonra iOS, Android ve Web uygulama adımlarından birini seçiyoruz. Çalışmamız iOS tabanlı olduğundan dolayı iOS seçimini yapıyoruz.

Get started by adding Firebase to your app



Add an app to get started

Son kısımda iOS uygulamamız ile Firebase veritabanını toplam 5 adımlık bir işlemle birbirine bağlıyoruz.

İlk adımda Xcode programında her geliştiricinin sahip olduğu Apple bundle ID'sini yazıyoruz. Sonrasında Tercih olarak uygulamaya isim verilebilir. Yine üçüncü kısımda da tercihe bağlı olarak bir ID verilebilir.

İkinci adımda yapılandırma dosyasını indirip Xcode programındaki uygulama dosyamıza ekliyoruz.

Üçüncü adımda verilen GitHub SDK linkini Xcode programındaki Swift Package Manager kısmına ekleyerek tüm Firebase SDK dosyalarını Uygulamamıza yüklüyoruz.

Diğer adımda swift başlangıç kodlarını kopyalayarak AppDelegate sayfamıza yapıştırıyoruz.

Son adım da ilerle diyerek uygulamamız ile veritabanı bağlantısını bitiriyoruz.

1 Register app

Apple bundle ID ?

App nickname (optional) ?

App Store ID (optional) ?

Register app

2 Download config file

3 Add Firebase SDK

4 Add initialization code

5 Next steps

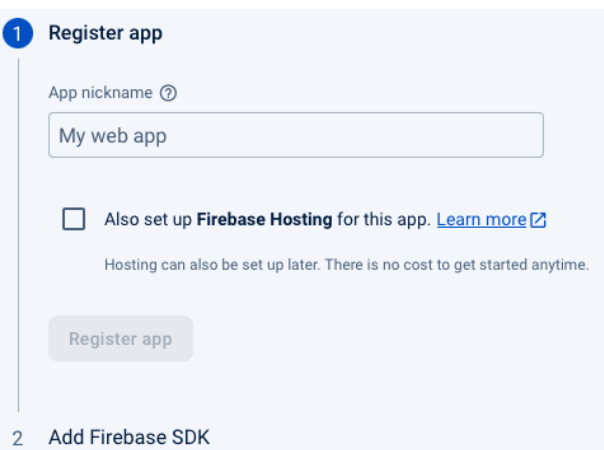

Bu kısımda ise python uygulamamızın veritabanı bağlantısını gerçekleştiriyoruz. Oluşturduğumuz veritabanımızın bu kısımda web kısmını seçiyoruz.

Get started by adding Firebase to your app

WEB



Add an app to get started

<p>Tercihen uygulamamıza bir isim verebiliyoruz.</p>	
<p>Son kısımda ise yapılandırma kodlarımızı kopyalayıp Python betiğimiz içerisine yapıştırıyoruz.</p>	

4.3.1. Verilerin Toplanması, Kaydedilmesi ve Gösterilmesi

Raspberry Pi kartlarına birçok işletim sistemi yüklenebilmektedir. Fakat Raspberry Pi vakfının önerdiği resmi bir işletim sistemi olan Rasbian OS işletim sistemi bulunmaktadır. Rasbian OS, resmi olarak sürekli desteklenip geliştirilen bir işletim sistemidir. İşletim sisteminin microSD karta hızlı ve kolay kurulumu için Raspberry Pi Imager adında bir programı bulunmaktadır. Şekil 4.3'de Rasbian OS işletim sisteminin kurulum programı gösterilmektedir [38].



Şekil 4.3. Raspberry Pi Imager Programı [38]

Raspberry Pi tek kart bilgisayarına bağlı sensör devre kartından elde edilen biyomedikal ve ortam verilerin, Firebase veritabanına gönderilmesi için bir Python betiği yazılmıştır. Geliştirilen bu Python betiğinde Raspberry Pi pinlerinin ve sensörlerin kütüphaneleri entegre edilmiştir.

```
import pyrebase
import Adafruit_DHT
import max30102
import hrcalc
import time
import RPi.GPIO as GPIO
from w1thermsensor import W1ThermSensor
```

Sensör devre kartında kullanılan AD8232 EKG ölçüm sensöründen stabil bir ölçüm alınamadığından dolayı hazır var olan bir EKG dosyasından EKG verisi okunmuştur. Bu dosyadan bir saniyede bir sırayla EKG verisi elde edilip veritabanına gönderilmesi için dosyaOku fonksiyonu tanımlanmıştır.

```
def dosyaOku():
    dosya_yolu = "ecg.txt"
    with open(dosya_yolu, 'r') as dosya:

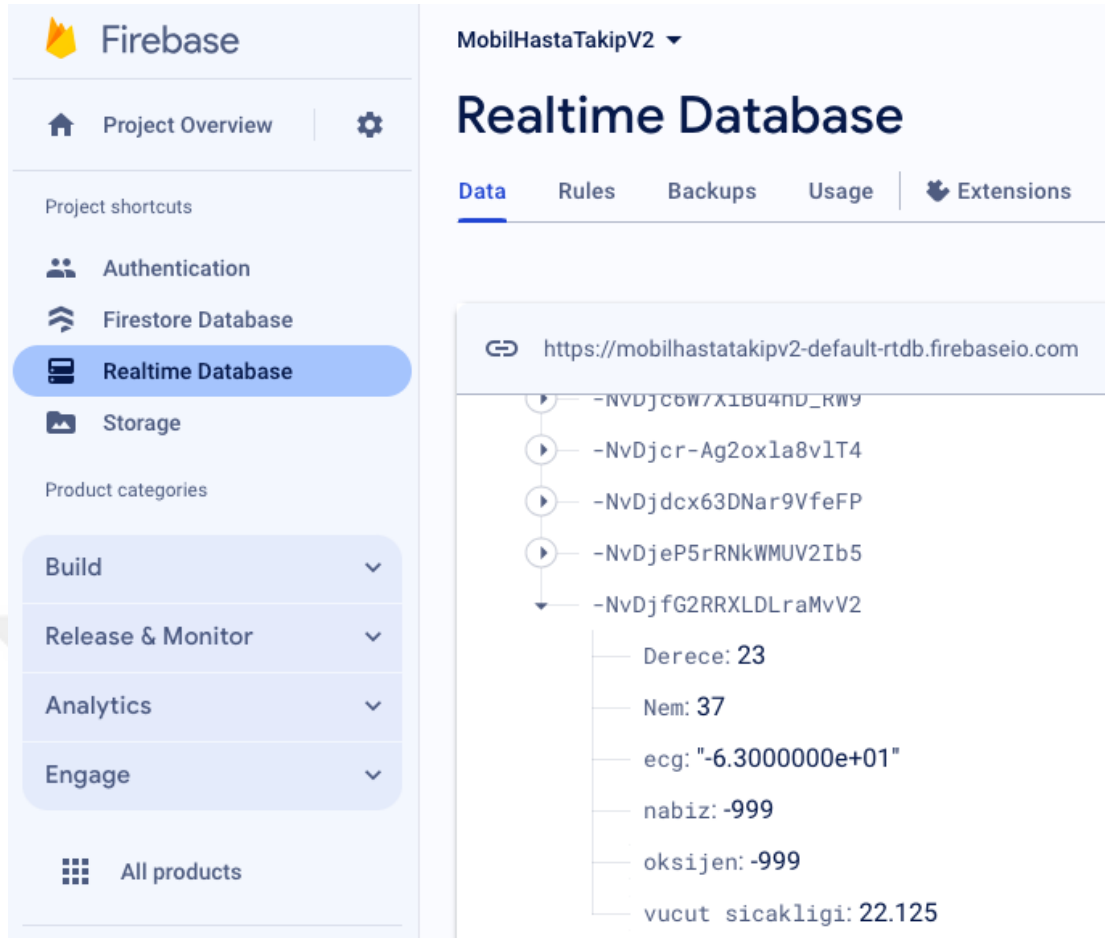
        for satir in dosya:
            ecgArray.append(satir.strip())
```

Toplanan verilerin otonom olarak bir saniyede bir Firebase veritabanına gönderilmesi için gerekli olan PyreBase kütüphanesi Python uygulamasına yüklenmiştir. Pyrebase, Python programlama dilinin Firebase yapısına kolay bir şekilde entegre edilmesi için geliştirilmiş bir kütüphanedir. Aşağıda temel Pyrebase kütüphanesinin yapılandırma kodları verilmiştir [53].

```
config = {  
    "apiKey": "apiKey",  
    "authDomain": "projectId.firebaseio.com",  
    "databaseURL": "https://databaseName.firebaseio.com",  
    "storageBucket": "projectId.appspot.com"  
}  
  
firebase = pyrebase.initialize_app(config)
```

Python uygulamasının veritabanı bağlantısı sağlandıktan sonra devre kartındaki sensörlerin bağlantı uçlarının tanımlanması yapıldı. Pin bağlantılarının sağlanmasından sonra sensör verilerinin okunması gerçekleştirildi. Aşağıdaki kod bloğu örneğinde sensörlerden elde edilen veriler bir saniyede bir elde edilip veritabanına gönderilmektedir. Şekil 4.4’de Firebase gerçek zamanlı veritabanının arayüzü ve JSON nesnesi oluşturan kod örneği gösterilmektedir.

```
i = 0  
while True:  
    green()  
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, dhtPin)  
    red, ir= m.read_sequential()  
    hr, hr_valid, spo2, spo2_valid = hrcalc.calc_hr_and_spo2(ir,red)  
    bodyTemperature = bodySensor.get_temperature()  
    ecgData = ecgArray[i]  
    data = {"Derece":temperature,"Nem":humidity,"vucut  
sicakligi":bodyTemperature,"ecg":ecgData,"nabiz":hr,"oksijen":spo2}  
    db.child("Health").push(data)  
    i +=1  
    time.sleep(2)
```



Şekil 4.4. Realtime Veritabanı Arayüzü ve Kayıtlı Verilerin Gösterilmesi. [52]

Biyomedikal ve ortam verilerinin Firebase veritabanına kayıt edildikten sonra anlık takibi için iOS tabanlı bir mobil uygulama geliştirilmiştir.

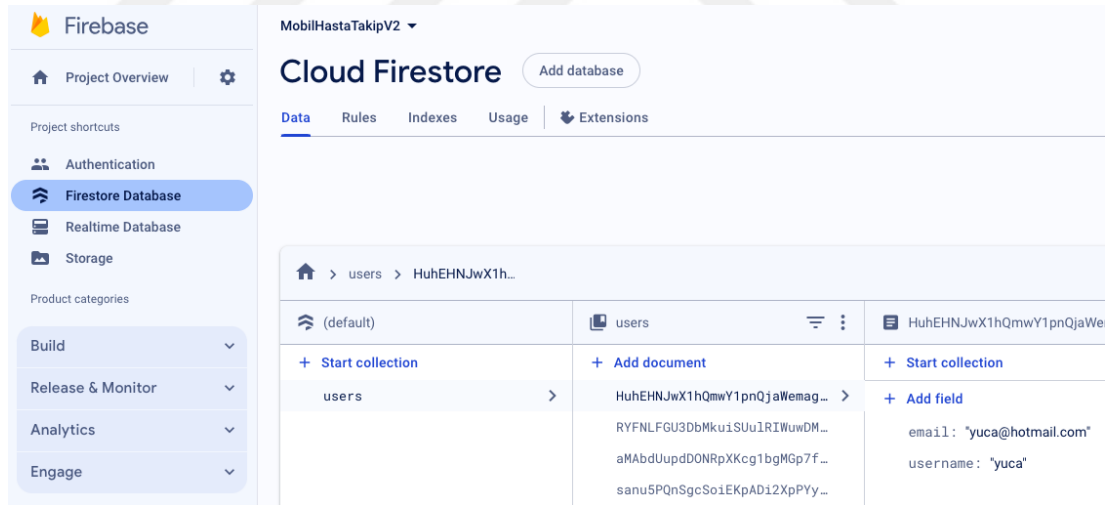
Verilerin bulut bilişim platformu olan Firebase veritabanından verilerini çekilmesi ve kayıt edilmesi için Python betiğindeki gibi Firebase veritabanı entegrasyonu gerekmektedir. Firebase paketleri “Swift Package Manager” yöntemi kullanılarak Xcode programına basit ve hızlı bir şekilde entegre edilmiştir. Sonrasında gerekli olan Firebase kütüphaneleri kod bloklarına eklenmiştir.

Mobil uygulamada Swift programlama dilinin UIKit çerçevesi kullanılarak kullanıcı kayıt ve giriş ekranı, anasayfadaki temel kullanıcı arayüzü vücut sıcaklığı, ortam sıcaklığı, nabız, kandaki oksijen gibi sensör verilerinin gösterilmesi tasarımı bu çerçeve kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca tasarımın ardından verilerin işlenmesi gönderilip alınması gibi gerekli işlemlerin programlaması yine UIKit çerçevesi kullanılarak yapılmıştır. UIKit çerçevesinde Storyboard kullanımının zor ve pratik

olmamasından dolayı kullanıcı arayüzü tasarımı tamamen programatik kullanıcı arayüzü (Programmatic UI) şeklinde geliştirilmiştir.

EKG verilerinin gerçek zamanlı olarak dinamik bir şekilde çizilmesi işlemi SwiftUi programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. SwiftUi'ın EKG verilerinin çizilmesi için tercih edilmesinin sebebi UIKit çerçevesine kıyasla grafiksel çizim işlemleri için daha uygun olmasıdır. Dezavantajlı yönü ise SwiftUi'ın yeni bir programlama dili olmasından dolayı günümüzde daha çok Uikit çerçevesi yoğun olarak kullanılmaktadır. O yüzden sadece gerçek zamanlı grafik çizim işleminde kullanılmıştır.

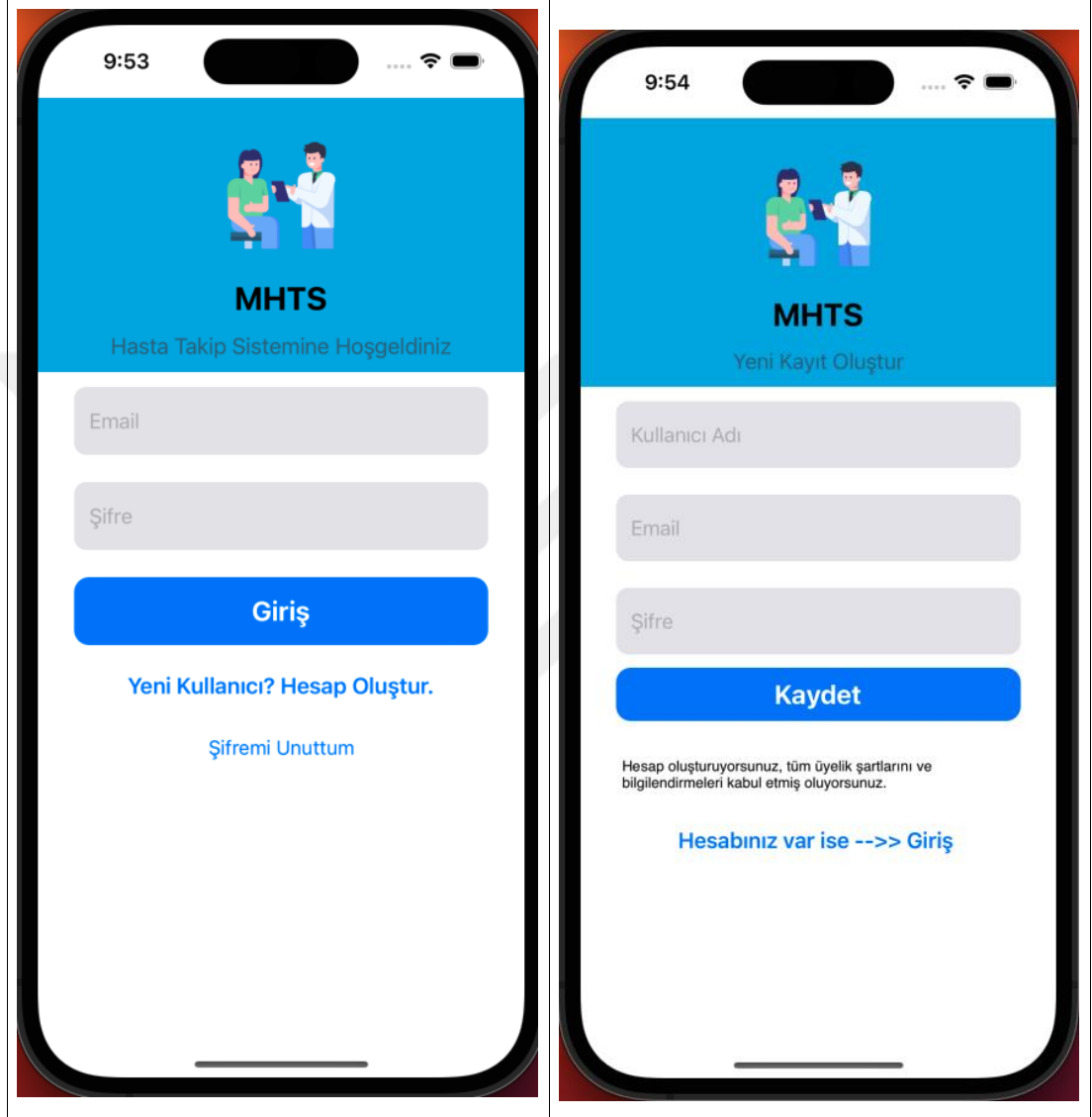
Mobil uygulamada ilk olarak kullanıcının email ve şifre ile giriş yapması istenmektedir. Eğer kullanıcı veritabanına kayıtlı değil ise önce kayıt olması istenmektedir. Kayıtlı olan kullanıcı anasayfaya erişimi sağlandıktan sonra Firebase veritabanından gerçek zamanlı olarak sürekli bir şekilde ağı dinleyerek en son eklenmiş olan veriler anasayfada gösterilmektedir. Şekil 4.5.'de kullanıcı verilerinin tutulduğu Cloud Firestore veritabanı arayüzü ve örnek veriler gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Cloud Firestore Veritabanının Arayüzü ve Verilerin Gösterilmesi [52]

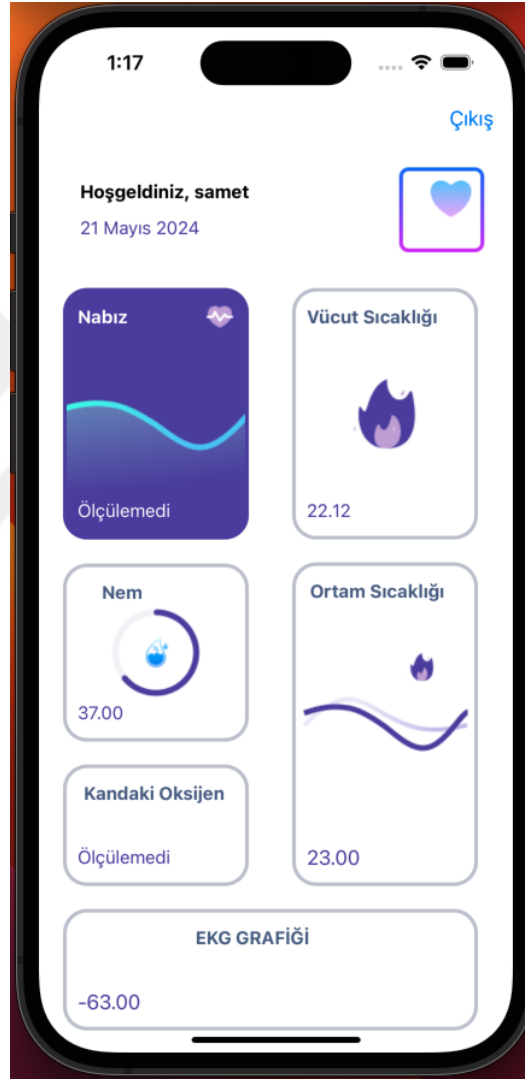
Yeni kayıt olacak kullanıcıdan bir kullanıcı adı, email adresi ve bir şifre bilgisi istenmektedir. Ayrıca kayıt olan kullanıcı eğer ki şifresini unutursa şifremini unuttum kısmından email adresini girerek şifresini sıfırlayabilmektedir. Kayıtlı kullanıcı anasayfaya girerek hastanın nabız, kandaki oksijen, vücut sıcaklığı, EKG ve ortam sıcaklığı verilerini izleyebilmektedir.

EKG alanını tıkladığında kullanıcı diğer sayfaya yönlendirilerek EKG verilerini gerçek zamanlı olarak anlık izleyebilmektedir. Ayrıca kayıtlı EKG verilerinin grafiğini görüntüleyebilmektedir. Aşağıdaki şekil 4.6’de öncelikle sağlık personelinin sisteme kayıt olma sayfası gösterilmektedir.



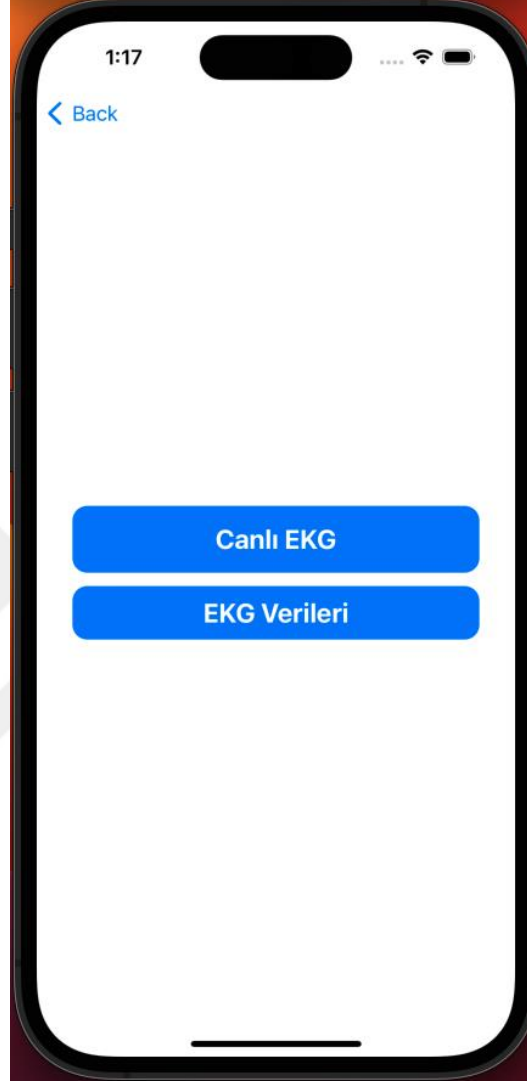
Şekil 4.6. Sağlık Personelinin Sisteme Kayıt ve Giriş Ekranı Arayüzü

Uygulamaya kayıt olan ve başarılı bir şekilde uygulama giriş yapan kullanıcılar şekil 4.7’de gösterildiği gibi uygulamanın anasayfasına yönlendirilmektedir. Bu sayfada kullanıcıya tüm sensör verilerinin değerleri gösterilmektedir. Anlık olarak veriler güncellenmektedir. Ayrıca sensörlerde acil bir durum tespit edildiğinde anlık bildirim sistemi ile sağlık personeline mobil bildirim gönderilmektedir. En alt kısımda bulunan EKG grafiği alanı tıkladığında bir sonraki sayfadaki EKG seçenekleri karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.7. Bir Hastanın Sağlık Verilerinin Gösterildiği Sayfa

EKG verilerin grafikleştirme sayfasında hem geçmiş verilerden EKG verileri grafiği hem de anlık olarak EKG grafiği oluşturma seğeneği bulunmaktadır. Şekil 4.8’de bu seğenekler gösterilmektedir.



Şekil 4.8. EKG Grafiği Oluşturma Seçenekleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, öncelikle bir biyomedikal ve bulunulan ortamın çeşitli değerlerini ölçen sensör devre kartı tasarlanmış ve uygulanmıştır. Verilerin görüntülenmesi amacıyla iOS tabanlı bir mobil uygulama geliştirilerek mobil hasta takip sistemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemin performansı analiz edilerek, sağlık hizmetlerinin dijital dönüşümüne katkı sağlayacağı ve hasta takibinde düşük maliyetli, yenilikçi ve etkili bir çözüm sunacağı görülmüştür. Üç ana bileşenden oluşan sistemin, sensör verilerinin toplanması, Firebase bulut bilişim entegrasyonu ve iOS tabanlı mobil uygulama geliştirilmesi açısından başarılı bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.

Farklı biyomedikal ve çevresel sensörler kullanılarak elde edilen verilerin, Raspberry Pi 3 model B+ kartı aracılığıyla başarılı bir şekilde toplandığı ve dijitalleştirildiği görülmüştür. Sistem, hastaların vücut sıcaklığı, nabız, kandaki oksijen seviyesi, ortam sıcaklığı, nem ve EKG verilerini doğru ve güvenilir bir şekilde gerçek zamanlı olarak buluta kaydetmiştir.

Python betiği aracılığıyla sensör verilerinin gerçek zamanlı olarak Firebase Realtime Database'e kaydedilmesi, verilerin anlık olarak erişilebilir olmasını sağlamıştır. Firebase'in sağladığı bulut bilişim hizmeti sayesinde, verilerin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde depolandığı ve analiz edildiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen iOS uygulaması, kullanıcıların sisteme kayıt olmasını, giriş yapmasını ve gerçek zamanlı verileri takip etmesini sağlamıştır. Kullanıcı arayüzü, basit ve kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanmış, kullanıcıların sağlık verilerini anlık olarak izlemelerini mümkün kılmıştır. EKG verilerinin gerçek zamanlı olarak ve tüm kayıtlı verilere yönelik grafiksel gösterimi, EKG verilerinin takibini önemli ölçüde artırmıştır.

Gelecekte, sistemin daha fazla sensör ile genişletilmesi ve farklı biyomedikal parametrelerin de izlenebilmesi sağlanabilir. Ayrıca yaşlı ve engelli hastalar düşünülerek sesli komut ile sistemin kullanılabilirliği artırılabilir. Dolayısıyla daha kapsamlı bir hasta takip sistemi meydana geleceği düşünülmektedir.

Verilerin güvenliği ve mahremiyeti konusundaki önlemler artırılabilir, özellikle veri şifreleme ve kullanıcı kimlik doğrulama mekanizmaları iyileştirilebilir.

Öncelikle verilerin hem Raspberry Pi tek kart bilgisayarı için hem de python betiği için veri güvenliği için protokoller geliştirilmesidir. Verilerin tutulduğu bulut bilişim kısmında ise veri güvenliği Firebase platformuna aittir. Firebase bu konuda bazı kurallar geliştirmiştir. Bu kurallara uyularak buluttaki veriler için güvenlik sağlanmalıdır. Mobil uygulama kısmında da ayrıca güvenlik yazılımları iyileştirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Mobil uygulamanın kullanıcı arayüzü daha da geliştirilerek, kullanıcı geri bildirimleri doğrultusunda iyileştirmeler yapılabilir. Uygulama içi bildirimler ve alarm sistemleri eklenerek, hastaların ve sağlık profesyonellerinin kritik durumlarda hızlıca bilgilendirilmeleri sağlanabilir. Toplanan verilerin daha ileri analizler için yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla işlenmesi, hastalıkların erken teşhisi ve risk analizlerinin yapılabilmesi açısından faydalı olacaktır. Anomali tespiti ve prediktif analizler yapılarak, kullanıcıların sağlık durumlarındaki değişiklikler önceden tespit edilip gerekli önlemler alınabilir.

Geliştirilen sistem, sağlık kurumları ve hastanelerle işbirliği yapılarak daha geniş bir hasta kitlesine yaygınlaştırılabilir. Geniş bir hasta kitlesinden dolayı oluşacak büyük veriler için bulut bilişim altyapısı yeterli olmaktadır. Kullanıldıkça artan seviyede veritabanı alanı imkanı sağlanmaktadır. Ayrıca performans açısından tek kart bilgisayar, bulut bilişim ve mobil uygulamanın oluşacak veri yoğunluğunda herhangi bir düşüş yaşamadan hizmet verebilme kapasitesine sahiptir. Ek olarak mobil platformlar (Android vb.) için de uyumlu versiyonlar geliştirilerek, sistemin erişilebilirliği artırılabilir.

Bu sistemin diğer sağlık kuruluşları ile entegrasyonunu sağlamak için uluslararası bir sağlık standardı oluşturmak amacıyla geliştirilen HL7 standartları kullanılmalıdır. Böylece Hastane Bilgi Sistemleri (HBYS)'ne yönelik entegrasyon ile sağlık verilerin paylaşılması, değiş tokuşu, ilişkilendirmesi ve kullanılması güvenle sağlanmış olacaktır [54].

Hastalardan elde edilen verilerin makine öğrenmesi veya yapay zeka araçları ile analiz edilmesi ile kişiselleştirilmiş tedavi önerileri ve hastalık risklerinin tahmin edilmesi gibi özelliklerin eklenmesi sağlanabilir.

Bu tezde sunulan sistem, sağlık hizmetlerinde dijitalleşme yolunda önemli bir adım olsa da, yukarıda belirtilen geliştirme önerileri ile daha da kapsamlı ve etkili bir hale getirilebilir. Özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojilerinin daha etkin kullanılması, kişiselleştirilmiş sağlık hizmetlerinin sunulmasında önemli bir rol oynayacaktır. Dolayısıyla büyük bir dijital sağlık ekosistemin ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır.

Sonuç olarak; bu çalışma, sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi ve dijital dönüşüm sürecine katkı sağlamak amacıyla örnek bir tasarım olarak değerlendirilebilir. IoT, bulut bilişim ve mobil teknolojilerin entegrasyonu, hasta takibinde yenilikçi çözümler sunarak sağlık sektöründe yeni fırsatlar yaratmaktadır.



KAYNAKLAR

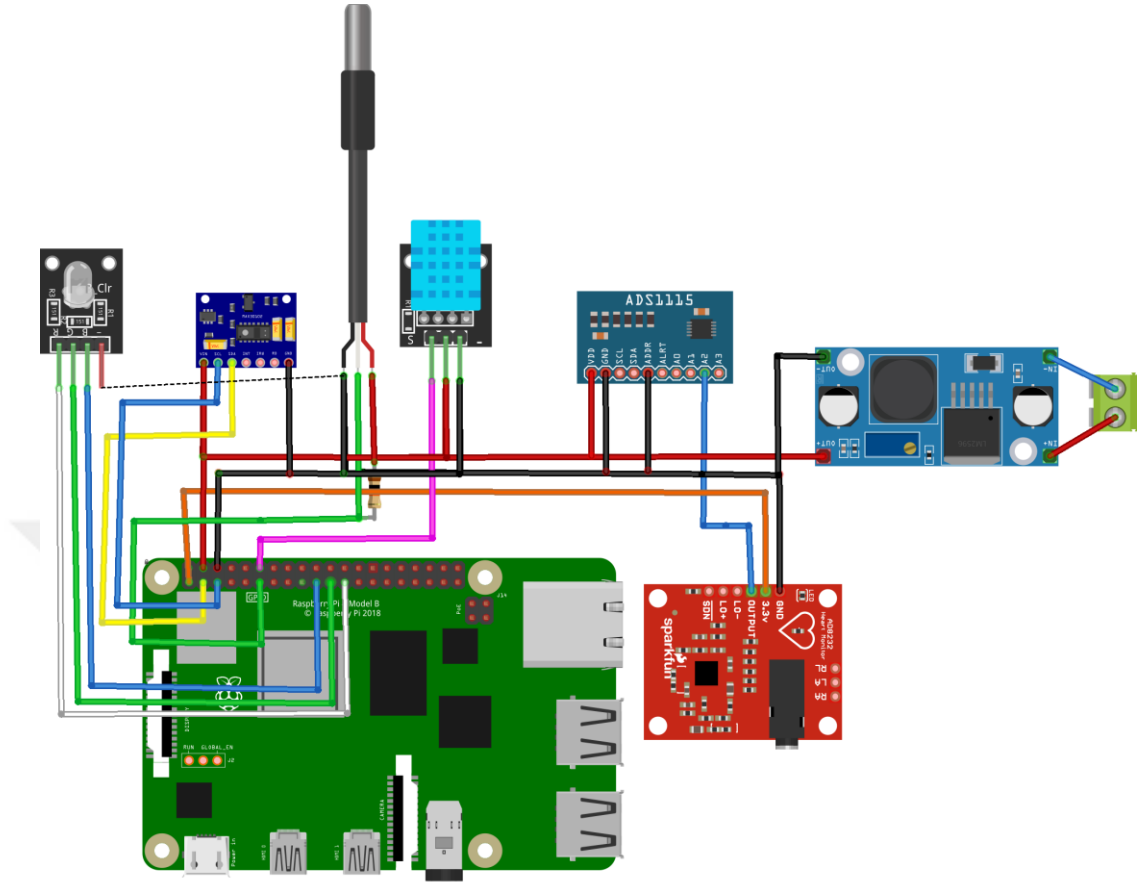
- [1] Dilek, S. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Uzaktan Sağlık İzleme Uygulaması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2017, 135s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [2] Demirtaş, M., Tulum, G., Sağbaş, M., Ayten, E., U. Çevrimiçi Çalışabilen Çoklu Ortama Uygun Hasta İzleme Sistemi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2018, 22, 1-7.
- [3] Bilgin, F., N. Giyilebilir Teknolojiler Tabanlı Mobil Hasta Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2016, 81s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [4] Taşlı, S. Bulut Teknolojisi Kullanan Hasta Takip Hizmetlerinde Mikroservis Temelli Uç Sistem Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2022, 61s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [5] Yılmaz, A. Kablosuz Haberleşme Teknolojisi ile Uzaktan Hasta Takip Sistemi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2017, 68s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [6] Buçan, H. Emergency Service Patient Tracking System. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2019, 60s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [7] Ural, S., E. Diyabet Hastaları İçin Android Tabanlı Mobil Uygulamanın Geliştirilmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2021, 77s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [8] Boza, A., N. Sağlık Turizmi Kapsamında Olan Turistlerin Seyahatlerinde Hastalık/Rehabilitasyon Hizmetlerinin Web ve Mobil Uygulamalar İle Takibi: Diyaliz Hasta Takip Sistemi. Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Muğla, 2024, 56s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [9] Cura, T. Sağlık Sektörü İçin Düşük Maliyetli Bir Mobil Hasta Takip Sistemi Önerisi. Alphanumeric Journal. 2013, 1(1), 13-26.
- [10] Kh'Tour, M. Android Tabanlı Hastane Uygulaması. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2015, 97s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [11] Aktaş, F., Kavus, E., Kavus, Y., A. Real-Time Infant Health Monitoring System For Hard of Hearing Parents By Using Android-Based Mobil Devices. İstanbul Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Dergisi. 2017; 17(1), 3107-3112.
- [12] Özkaraca, O. Giyilebilir Bir EKG Sisteminde Uzaktan Sinyalin Algılanması ve İşlenmesi. Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi, Ankara, 2013, 113s. (Doktora Tezi)

- [13] Şanlı, M. Mobil Hasta Takip Sistemi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2009, 49s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [14] Atmaca, O., F., İ. Yakın Alan İletişimi Tabanlı Mobil Hasta Takip Sistemi Tasarımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2016, 65s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [15] 5G ve Ötesi. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Beyaz Kitap, Ankara, 365s.
- [16] Tracy, W., K. Mobile Application Development Experiences. IEEE Potentials. 2012, 31(4), 30-34.
- [17] Çakır, S., F., Tüminçin, F. Güvenli İletişim Açısından Akıllı Cihaz İşletim Sistemlerinin Avantaj ve DezAvantajları. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi. 2017; 4(12), 203-218.
- [18] Çiloğlu, T., Özeren, E., & Ustun, B., A. Mobil Uygulama Geliştirme, Yayımlama Ve Ekonomik Gelir Etme Aşamalarının İncelenmesi: İos Ve Android Sistemlerinin Karşılaştırması. Yeni Medya Elektronik Dergisi. 2021, 5(1), 60-77.
- [19] Kılıç, T., Tosun, N. Akıllı Sağlık Ekosistemi ve Güncel Uygulama Örnekleri. İşletme Bilimi Dergisi. 2021, 9(3), 543-564.
- [20] Kılıç, T. e-Sağlık, İyi Uygulama Örneği; Hollanda. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi. 2017, 6(3), 203-217.
- [21] Cura, T. Sağlık Sektörü İçin Düşük Maliyetli Bir Mobil Hasta Takip Sistemi Önerisi. Alphanumeric Journal. 2013, 1(1), 13-26.
- [22] Bahçekapılı, E. “Nesnelerin İnterneti”. Internet ve Ağ Topluluğu. DOI:10.14527/9786052414361.09, 219-232 s. 2018, Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/publication/338035002>.
- [23] Çakır, C., A., Yiğit, H., Küçük, K. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Şehirler Üzerine Bir İnceleme. <https://www.researchgate.net/publication/335096774>.
- [24] Polat, H., Oyuncu, S. “İletişim Protokolleri”. Nesnelerin İnterneti Kuramdan Uygulamaya. Ed: Hüseyin Çakır, Çelebi Uluyol. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021, 532 s.
- [25] Arslan, K., Kırbaş, İ. Nesnelerin İnterneti Uygulamaları için Algılayıcı/Eyleyici Kablosuz Düğüm İlkörneği Geliştirme. Mehmet Akif Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2016, 1, 35-43.
- [26] Taner, C. Ağ Yöneticiliğinin Temelleri. Abaküs, İstanbul, 2017, 273s.
- [27] Gökrem, L., Bozuklu M. Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi. 2016, 13, 47-68.

- [28] Erdal, E., Ergüzen, A. Nesnelerin İnterneti. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi. 2020, 12(3), 24-34.
- [29] Sancaklı, M. Nesnelerin İnterneti Teknolojisinde Kablosuz Sensör Ağları İçin Enerji Verimli K-Means Optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2022, 56s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [30] Curran, K., Millar, A., Garvey, M., C. “Near Field Communication”. International Journal of Electrical and Computer Engineer. 2012, 2, 3, 371-382.
- [31] Çelik, B., Küçük, K., Bayılmış, C. Nesnelerin İnterneti Teknolojileri ile Gerçek Zamanlı Okul Servisi ve Öğrenci Takip Sistemi Tasarımı. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2018, 6, 4, 1212-1223.
- [32] Z-wave ağ protokolü [Internet]. [a.yer 20 Nisan 2024]. Erişim Adresi: <https://z-wavealliance.org/>.
- [33] Wi-Fi ağ protokolü [Internet]. [a.yer 26 Kasım 2023]. Erişim Adresi: <https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/>.
- [34] Mustari, N., Karabulut, M. A., Shah, A. F. M. S., Türel, U. (2023). 1G'den 6G'ye Hüresel Evrim Üzerine Kapsamlı Bir Derleme. Politeknik Dergisi1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1263687>.
- [35] Okay, Ö., M., Samet, R., Aslan, Ö. “Nesnelerin İnterneti Mimarileri ve Protokolleri”. Nesnelerin İnterneti Kuramdan Uygulamaya. Ed: Hüseyin Çakır, Çelebi Uluyol. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021, 532 s.
- [36] Aslan, Ö., Samet, R., Okay, Ö., M. “Nesnelerin İnterneti Cihazlar”. Nesnelerin İnterneti Kuramdan Uygulamaya. Ed: Hüseyin Çakır, Çelebi Uluyol. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021, 532 s.
- [37] Kırbaş, İ., Yüksel, E., M. ARM Tabanlı Gömülü Sistemlere Yönelik Açık Kaynak Kodlu Bulut Bilişim Uygulaması: mabed Platformu. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2015, 6(2), 74-81.
- [38] Raspberry Pi [Internet]. [a.yer 01 Ocak 2024]. Erişim Adresi: <https://www.raspberrypi.com>.
- [39] Hançer, E., Samet, R. “Nesnelerin İnterneti Donanım ve Yazılım”. Nesnelerin İnterneti Kuramdan Uygulamaya. Ed: Hüseyin Çakır, Çelebi Uluyol. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021, 532 s.
- [40] Işık, F., A. Sensör Çeşitleri, Robotik Alanda Kullanılan Sensörler ve FSR Sensör Uygulaması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. 2013, Balıkesir, 104s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [41] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Internet]. [a.yer 05 Mayıs 2024]. Erişim Adresi: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/58557/DALLAS/DS18B20.html>.

- [42] Dht11 Humidity & Temperature Sensor [Internet]. [a.yer 05 Mayıs 2024]. Erişim Adresi: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>.
- [43] ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator [Internet]. [a.yer 05 Mayıs 2024]. Erişim Adresi: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1113.pdf?ts=1722078767075>.
- [44] ADS1015 4 Kanal 12 Bit ADC Programlanabilir Kazanç Amplifikatörü [Internet]. [a.yer 01 Nisan 2024]. Erişim Adresi: <https://www.direnc.net/ads1015-12-bit-adc-4-channel-with-programmable-gain-amplifier-adafruit>.
- [45] EKG modülü [Internet]. [a.yer 05. Mayıs 2024]. Erişim Adresi: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8232.pdf>.
- [46] EKG modülü [Internet]. [a.yer 05 Mayıs 2024]. Erişim Adresi: <https://components101.com/modules/ad8232-ecg-module>.
- [47] Max30102 Modülü [Internet]. [a.yer 03 Haziran 2024]. Erişim Adresi: <https://www.robotistan.com/heart-rate-sensor-max30102-max30100>.
- [48] Srinath, R., K. Python-The Fastest Growing Programming Language. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017, 4(12), 354-357.
- [49] Swift Programlama Dili [Internet]. [a.yer 28 Ocak 2024]. Erişim Adresi: <https://developer.apple.com/documentation/swift>.
- [50] Xcode IDE [Internet]. [a.yer 28 Ocak 2024]. Erişim Adresi: <https://developer.apple.com/documentation/xcode>.
- [51] Pezoa, F., Reutter, L., J., Suarez, F., Ugarte, M., Vrgoč, D. WWW '16: Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web. 2016, 263-273. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2872427.2883029>.
- [52] Firbase Bulut Bilişim [Internet]. [a.yer 20 Şubat 2024]. Erişim Adresi: <https://firebase.google.com/>.
- [53] Pyrebase Kütüphanesi [Internet]. [a.yer 01 Şubat 2024] Erişim adresi: <https://github.com/thisbejim/Pyrebase>.
- [54] Fidan U, Ergün U, Süzme K. HL7 Standardına Uygun HBYS Entegrasyonu: Fizyolojik İşaretleri (EKG, EMG Ve Spirometre) Depolama Ve Raporlama. Engineering Sciences. Nisan 2016;11(2):54-62.

EKLER



fritzing

