

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

**AKILLI ŞEBEKELER VE AKILLI BİNA UYGULAMALARI İÇİN
Wi-Fi TABANLI YENİ NESİL ELEKTRİK SAYACI TASARIMI**

Bilal KARAMAN

**Danışman
Prof. Dr. Sezai TAŞKIN**



MANİSA-2020

**Bilal
KARAMAN**

**AKILLI ŞEBEKELER VE AKILLI BİNA UYGULAMALARI İÇİN Wi-Fi TABANLI YENİ
NESİL ELEKTRİK SAYACI TASARIMI**

2020

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.

Bilal KARAMAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı.....	8
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1. Klasik Elektrik Şebekesi Kavramı	10
2.2. Klasik Şebekeden Akıllı Şebekeye Geçişin Nedenleri.....	11
2.3. Akıllı Şebekeler	12
2.4. Akıllı Sayaç Sistemleri	14
2.4.1. Akıllı Sayaçların Tüketicilere Sağladığı Faydalar	15
2.4.2. Akıllı Sayaçların Dağıtım Şirketlerine Sağladığı Faydalar	15
2.4.3. Akıllı Sayaçların Tedarik Şirketlerine Sağladığı Faydalar	16
2.4.4. Akıllı Sayaçların Elektrik Piyasasına Sağladığı Faydalar	17
2.5. Elektrik Sayaçlarının Tarihsel Gelişimi	17
2.6. Akıllı Sayaç Bileşenleri	18
2.7. Akıllı Sayaç Sistemlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojileri	20
2.7.1. PLC Teknolojisi	22
2.7.2. Telefon Hatları Üzerinden Haberleşme	23
2.7.3. GSM/GPRS Teknolojisi	24
2.7.4. RF Haberleşme Teknolojisi	26
2.7.5. Zigbee Teknolojisi	27
2.7.6. Wi-Fi Teknolojisi.....	28
2.7.7. WiMAX Teknolojisi	28
2.8. Haberleşme Protokollerinin Karşılaştırılması	29
2.9. Sayaç Veri Yönetim Sistemleri	30
2.10. Ülkemizde Akıllı Sayaç Uygulamaları.....	30
2.11. Avrupa Birliği Ülkelerinde Akıllı Sayaç Uygulamaları	32
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	34

3.1. Akıllı Sayaç	34
3.1.1. Akıllı Sayaç Gerilim ve Akım Ölçümleri	36
3.1.2. Akıllı Sayaç Aktif ve Reaktif Güç Ölçümleri.....	37
3.1.3. Akıllı Sayaç Ölçümleri Akış Diyagramı.....	37
3.1.4. RS-485 Haberleşmesi	38
3.2. TCP/IP Protokolü	39
3.2.1. TCP/IP Uygulama Katmanı ve Port Yönlendirmesi.....	40
3.3. MQTT Protokolü	41
3.4. Texas Instruments CC3220SF Wifi Geliştirme Kartı	43
3.4.1. Akıllı Sayaç Wi-Fi Konfigürasyonu	45
3.4.2. Akıllı Sayaç Verilerinin Okunması ve Haberleşme Algoritması.....	45
3.5. LabVIEW™ Ortamında TCP Server Oluşturulması.....	47
3.6. C# Ortamında TCP Server Oluşturulması	49
3.7. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Geliştirilmesi.....	50
3.7.1. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Donanım Bileşenleri.....	50
3.7.2. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü PCB Tasarımı	54
3.7.3. Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Wi-Fi Konfigürasyonu	56
3.7.4. Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Çalışma Algoritması.....	57
3.8. Android Studio Ortamında Mobil Uygulama Geliştirilmesi	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	60
4.1. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacının Konfigürasyonu	60
4.2. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacının C# Ortamında Oluşturulan Server ile Uzaktan Yönetilmesi	64
4.3. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacı Verilerinin LabVIEW™ Ortamında Oluşturulan Server ile Okunması	65
4.4. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü.....	66
4.4. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Konfigürasyonu.....	67
4.5. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Testleri	68
4.6. Android Studio Ortamında Geliştirilen Kullanıcı Mobil Uygulaması	72
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3G	3rd Generation
A	Amper
AA	Alternatif Akım
AES	Advanced Encryption Standard
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	Automatic Meter Reading
AP	Access Point
CRC	Cyclic Redundancy Check
DA	Doğru Akım
DES	Data Encryption Standart
DSL	Digital Subscriber Line
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
EN	European Norm
EPDK	Enerji Piyasası Dñzenleme Kurumu
GHz	Gigahertz
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network
Hz	Hertz
I2C	Inter-Integrated Circuit
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
kbps	Kilobit per second
kHz	Kilohertz
km	Kilometre
kWh	Kilowatt hour
LAA	License Assisted Access
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LTE	Long Term Evolution

LTE-U	LTE-Unlicensed
M-Bus	Meter Bus
MCU	Microcontroller Unit
MD5	Message Digest 5
MDMS	Meter Data Management System
MHz	Megahertz
Mbps	Mega bits per second
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MWh	Megawatt hour
NAN	Neighborhood Area Network
NAT	Network Address Translation
NFC	Near Field Communication
NI	National Instruments
NTP	Network Time Protocol
OSOS	Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
OTA	Over the Air
PCB	Printed Circuit Board
PLC	Power Line Communication
PSTN	Public Switched Telephone Network
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RMS	Root Mean Square
RTC	Real Time Clock
RTOS	Real Time Operation System
SHA	Secure Hash Algorithms
SIM	Subscriber Identity Module
SPI	Serial Peripheral Interface
SSL	Secure Sockets Layer
T	Toplam tüketim
T1	Gündüz tarife dilimi
T2	Puant tarife dilimi
T3	Gece tarife dilimi
TAŞ	Türkiye Akıllı Şebekeler
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TLS	Transport Layer Security
TTL	Transistor–transistor logic
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
V	Voltage
VPN	Virtual Private Network
W	Watt
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
wM-Bus	Wireless Meter Bus
WPA	Wi-Fi Protected Access

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Klasik elektrik şebekesi yapısı.....	10
Şekil 2.2. Akıllı şebeke bileşenleri.....	14
Şekil 2.3. Elektrik sayaçlarının gelişimi	18
Şekil 2.4. Akıllı sayaç bileşenleri.....	19
Şekil 2.5. Akıllı sayaç sistemleri mimarisi	21
Şekil 2.6. Akıllı sayaçlarda PLC heberleşmesi	23
Şekil 2.7. Akıllı sayaçlarda GSM/GPRS haberleşmesi.....	25
Şekil 2.8. Akıllı sayaçlarda RF haberleşmesi	27
Şekil 2.9. Haberleşme teknolojilerinin akıllı şebekelerdeki kullanım alanları	29
Şekil 2.10. Sayaç veri yönetim sistemi yetkinlikleri.....	30
Şekil 2.11. Akıllı sayaç ve haberleşme ünitelerinin sahip olduğu özellikler	31
Şekil 2.12. Haberleşme modülleri.....	32
Şekil 3.1. LSM10 akıllı sayaç	35
Şekil 3.2. Elektronik elektrik sayaçları tipik ölçüm yapısı	36
Şekil 3.3. Akıllı sayaç gerilim ölçümü (a) ve akım ölçümü (b) devreleri.....	36
Şekil 3.4. Akıllı sayaç enerji ölçümü akış diyagramı.....	38
Şekil 3.5. RS-485 haberleşmesi	38
Şekil 3.6. RS-485 iletişimi örnek karakter çerçevesi	39
Şekil 3.7. TCP/IP protokolü yapısı	39
Şekil 3.8. Wi-Fi modemde port yönlendirmesi yapılması	41
Şekil 3.9. MQTT protokolü çalışma yapısı.....	42
Şekil 3.10. CC3220SF geliştirme kartı (a) ve donanımına ait genel görünüm (b)	43
Şekil 3.11. RS485-TTL Uart Dönüştürücü	44
Şekil 3.12. Akıllı sayaç Wi-Fi konfigürasyonu.....	45
Şekil 3.13. TI-RTOS mimarisi ile geliştirilen yazılım diyagramı.....	46
Şekil 3.14. Code Composer Studio editörü.....	47
Şekil 3.15. LabVIEW ortamında TCP server oluşturulması örneği.....	48
Şekil 3.16. LabVIEW ortamında hazırlanan online takip arayüzü	48
Şekil 3.17. C# ortamında hazırlanan akıllı sayaç online izleme ve kontrol arayüzü .	49
Şekil 3.18. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü blok diyagramı	50
Şekil 3.19. ESP8266 Wi-Fi geliştirme kartı.....	51
Şekil 3.20. PZEM-004T enerji ölçüm modülü (a) ve fonksiyonel blok diyagramı (b)	51
.....	51
Şekil 3.21. HLK-PM01 güç kaynağı modülü	52
Şekil 3.22. DS1302 RTC modülü	53
Şekil 3.23. 24LC256 EEPROM entegresi.....	53
Şekil 3.24. 5VDC mini röle.....	54
Şekil 3.25. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü devre kartı tasarımı	54
Şekil 3.26. PCB kart tasarımı	55
Şekil 3.27. 3 boyutlu PCB tasarımı (a) ve tümleştirme faaliyetleri tamamlanan PCB	55
kartına ait görünüm (b).....	55
Şekil 3.28. PCB kart için mekanik gövde kutusu tasarımı (a) ve montajı (b).....	56
Şekil 3.29. Akıllı enerji ölçüm modülü Wi-Fi konfigürasyonu	57
Şekil 3.30. Akıllı enerji ölçüm modülü adaptif koruma akış diyagramı.....	58
Şekil 3.31. Android Studio ortamında mobil uygulama geliştirilmesi.....	59

Şekil 4.1. Akıllı sayaç verilerinin Wi-Fi geliştirme kartı ile okunması	60
Şekil 4.2. LSM WIFI ağına bağlanması.....	61
Şekil 4.3. Akıllı sayaç Wi-Fi konfigürasyon arayüzü.....	61
Şekil 4.4. Akıllı sayaç Wi-Fi modülüne yeni ağ profili eklenmesi.....	62
Şekil 4.5. Akıllı sayaç Wi-Fi modülü statik IP yapılandırması.....	63
Şekil 4.6. Akıllı sayaç verilerinin internet tarayıcısında görüntülenmesi.....	63
Şekil 4.7. C# ortamında akıllı sayaç verilerinin grafiksel olarak izlenmesi.....	64
Şekil 4.8. LabVIEW ortamında akıllı sayaç verilerinin okunması	65
Şekil 4.9. LabVIEW ortamında akıllı sayaç verilerinin grafiksel olarak izlenmesi ..	66
Şekil 4.10. Akıllı sayaç verilerinin excel formatında raporlanması.....	66
Şekil 4.11. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü bağlantısı.....	67
Şekil 4.12. My Smart Device isimli ağa bağlanması	67
Şekil 4.13. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü konfigürasyon sayfası	68
Şekil 4.14. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü konfigürasyon arayüzü.....	68
Şekil 4.15. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü test devresi	69
Şekil 4.16. Elektrikli ısıtıcı ile yapılan gerilim testi (a), akım testi (b), aktif güç testi (c) ve güç katsayısı testi (d) grafikleri.....	70
Şekil 4.17. Saç kurutma makinesi ile yapılan gerilim testi (a), akım testi (b) ve aktif güç testi grafikleri	71
Şekil 4.18. Kullanıcı mobil uygulaması ana ekranı (a) ve menü ekranı (b)	72
Şekil 4.19. Kullanıcı mobil uygulaması konfigürasyon ekranı (a) ve akıllı sayaç tüketim verileri takip ekranı (b)	73
Şekil 4.20. Akıllı enerji ölçüm modülü takip ekranı (a) ve kullanıcıyı yönlendiren bildirim ekranı (b)	74
Şekil 4.21. Akıllı sayaç ve akıllı enerji ölçüm modüllerinin uzaktan yönetilmesi	75
Şekil 5.1. Akıllı sayaçlarda Wi-Fi haberleşme altyapısı.....	77

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Klasik elektrik şebekesi ile akıllı şebekenin karşılaştırılması [22].....	13
Tablo 2.2. Haberleşme teknolojilerinin kendi aralarında karşılaştırılması	29
Tablo 2.3. Avrupa Birliği ülkelerindeki akıllı sayaç kullanım oranları [52]	33
Tablo 3.1. TCP/IP Uygulama katmanında yer alan bazı protokoller.....	40



TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, öğrenim hayatımın her aőamasında yardımcı olan, kendisi ile çalıőmaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sezai TAŞKIN'a ve tüm öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim. Bu çalışmanın hazırlanmasında Ar-Ge merkezinin teknik imkanlarından faydalanmama izin veren Luna Elektrik Elektronik San. ve Tic. A.Ő. yönetimine, Ar-Ge Merkezi Direktörü Sayın Ersen YILMAZ'a, Elektronik Ar-Ge Takımı Lideri Sayın Taylan KESKİN'e, Elektronik Ar-Ge Mühendisi Sayın Mert TOKAY'a teşekkür ederim.

Bilal KARAMAN
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Akıllı Şebekeler ve Akıllı Bina Uygulamaları için Wi-Fi Tabanlı Yeni Nesil Elektrik Sayacı Tasarımı

Bilal KARAMAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

Akıllı sayaçlar; enerjinin yüksek doğrulukla ölçülmesi, uzaktan okuma, kontrol etme (açma-kesme), faturalandırma ve kayıp kaçak kullanım oranlarının azaltılması gibi özellikleri sayesinde akıllı şebekelerin önemli bir bileşenidir. Akıllı sayaç sistemlerinde gelişmiş haberleşme altyapısı ile birlikte çift yönlü veri akışı sağlanmaktadır.

Bu tez çalışması ile Wi-Fi haberleşme sistemleri ile uzaktan yönetilebilen bir akıllı elektrik sayacı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede büyük alışveriş merkezleri, iş merkezleri, toplu konut siteleri ve villa kentler gibi ortak Wi-Fi ağının bulunduğu ortamlardaki sayaçların uzaktan okunabilmesi için ilave bir altyapıya ve yatırıma ihtiyaç duyulmayan bir çözüm geliştirilmiştir. Ayrıca bu tez kapsamında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü sayesinde elektrikli ev aletlerinin tüketimlerinin ölçülmesi ve uzaktan yönetilmesi sağlanmıştır. Wi-Fi teknolojisinin yaşam alanlarımızda giderek yaygınlaştığı bu dönemde, bu tez kapsamında geliştirilen akıllı elektrik sayacı ve Wi-Fi haberleşmesi özelliğine sahip ölçüm modülleri sayesinde kullanıcıların tüketim bilgilerini takip edebildikleri bir mobil uygulama tasarımı da gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının öncelikli amacı, akıllı şebeke yapısına ve akıllı bina uygulamalarına uygun olarak akıllı sayaçlara Wi-Fi haberleşmesi özelliğinin kazandırılmasıdır. Bunun yanı sıra, geliştirilen mobil uygulama tüketicilerin akıllı sayaçlar ile etkileşimlerinin artırılması ve akıllı ev aletlerinin uzaktan yönetilebilmesi gibi konularda çok yönlü fayda sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç, Akıllı şebeke ve şehir uygulamaları, Enerji ölçüm modülü, Enerji izleme ve kontrol, Mobil uygulama.

2020, 84 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

The Design of Wi-Fi Based New Generation Electricity Meter for Smart Grids and Smart Building Applications

Bilal KARAMAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Sezai TASKIN

Smart meters are important components of smart grids thanks to their features such as measuring energy with high accuracy, remote reading, remote controlling, billing and reducing the rate of illegal energy usage. Bidirectional data flow is provided with advanced communication infrastructure in smart meter systems.

In this project, it is aimed to develop a smart electricity meter that can be managed remotely with Wi-Fi communication systems. In this way, a solution that does not require additional infrastructure and investment has been developed in order to remotely read the meters in environments where there is a common Wi-Fi network such as large shopping malls, business centers and housing estates. In addition, thanks to the Wi-Fi based smart energy measurement module developed within the scope of this study, the consumption of electrical appliances was measured and managed remotely.

Moreover, a mobile application design has been realized in which users can monitor their consumptions thanks to the smart electricity meter and developed energy measurement modules with Wi-Fi communication feature.

The primary purpose of this thesis is to provide Wi-Fi communication feature to smart meters in accordance with smart grid structure and smart building applications. In addition, the developed mobile application will provide versatile benefits such as increasing the interaction of consumers with smart meters and remote management of smart home appliances.

Keywords: Wi-Fi based smart meter, Smart grids and cities applications, Energy measurement module, Energy monitoring and control, Mobile application.

2020, 84 pages

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi; iletilmesinin, dağıtılmasının ve kullanıcılara ulaştırılmasının kolay oluşu, farklı enerji türlerine dönüştürülerek kullanımının pratik oluşu gibi avantajlarla enerjinin en popüler formudur. Dünya nüfusunun sürekli artması ve özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki sanayi gelişimleri gibi etmenlerle elektrik enerjisine talep giderek artmaktadır. Artan enerji talebinin karşılanabilmesi, mevcut elektrik şebekesi sistemine yenilenebilir kaynaklı irili ufaklı dağıtık sistemlerin dahil edilmesi, üretimden son tüketiciye kadar bütün sistemin uzaktan izlenebilir ve yönetilebilir olması, haberleşme katmanına tüketicilerin de katılabilmesi gibi ihtiyaçlar doğrultusunda “Akıllı Şebekeler” kavramı gündeme gelmiştir.

Akıllı şebekeler her alanda verimliliğin artırılması, tedarik sürekliliğinin iyileştirilmesi, bütünleşik yük yönetimi, manuel süreçlerin asgari seviyeye indirilmesi, dinamik tarife uygulamaları, gerçek zamanlı talep takibi, gelişmiş talep tarafı yönetimi gibi mevcut şebeke işleyiş yapısının ötesinde avantajlar sunmaktadır. Elektrik sayaçları ise bir elektrik enerjisi şebekesine ait en kıymetli verileri barındırmaktadır. Günümüzde akıllı şebeke teknolojilerine ve uygulamalarına yönelik çalışmaların temelini akıllı sayaç sistemleri oluşturmaktadır. Mevcut durumda ülkemizde ve dünyada uygulamaları bulunan Otomatik Sayaç Okuma - Automatic Meter Reading (AMR) uygulamalarında sayaçlarla tek taraflı iletişim sağlanabilmektedir. Sayaçlardan sürekli bir geri besleme alınamaması, arıza, kesinti ve olağan dışı durumların tespit edilmesinin insana bağımlı olması gibi durumlar nedeniyle sayaç ile haberleşebilen ve bir geri besleme alınan sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Akıllı sayaç sistemleri ile birlikte enerji tüketim noktalarındaki ölçü sistemleri ile merkezi veri yönetim sistemi arasında çift yönlü iletişim kurularak bir kapalı çevrim kontrol sistemi oluşturulmaktadır. Bu sayede çift taraflı okuma, veri kayıt etme ve zaman aralıklı okuma, uzaktan açma/kesme, elektrik kesintisi tespiti ve raporlaması, sayaca yapılan yasa dışı müdahalelerin tespiti ve raporlanması, kaçak kullanım tespiti ve sayaçların uzaktan yönetilebilmesi gibi gelişmiş teknolojik uygulamalara imkan tanınmaktadır.

Bu gibi gelişmiş özellikleriyle birlikte akıllı sayaç sistemleri akıllı şebekelere önemli katkılar sunmaktadır.

1.1. Literatür Taraması

Bu bölümde elektronik elektrik sayaçlarının uzaktan okunmasında kullanılan yöntemleri, Otomatik Sayaç Okuma Sistemleri (OSOS)'nde kullanılan haberleşme protokollerini, özellikle Wi-Fi haberleşme sistemlerine sahip elektronik elektrik sayaçlara yönelik çalışmaları içeren ve bu tez çalışmasına katkı sağlayan kaynak özetleri yer almaktadır.

Rose (2020) tarafından yapılan çalışmada, günümüzde ev otomasyonunda ZigBee®, LonWorks ve Z-Wave® gibi iletişim protokollerinin yaygın olarak kullanımda olduğu belirtilmiştir. Zigbee teknolojisinin Wi-Fi teknolojisine göre çok daha az evde bulunması ve Zigbee kablosuz RF bağlantısına sahip akıllı sayaçların ev alan ağına bağlanabilmeleri için ilave bağlantı modülleri gerektirmesi gibi sebeplerle hem uygulama hem de maliyet anlamında Wi-Fi teknolojisine sahip akıllı sayaçların çok daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Günümüzde birçok evin internet erişimiyle beraber Wi-Fi teknolojisine sahip olması sayesinde kullanıcılar Wi-Fi uyumlu akıllı sayaçlarını kolaylıkla kendi ağlarına bağlayabileceklerdir. Wi-Fi ile düşük maliyetli, karmaşık bir yapıdan uzak, yüksek hızlı ve güvenli bir iletişim sağlanmasının yanı sıra tablet, bilgisayar ve akıllı telefon gibi mobil cihazlar vasıtasıyla Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç ile kolaylıkla etkileşime geçilerek kullanıcıların çeşitli fonksiyonel özelliklerden faydalanmaları mümkün hale gelecektir [1].

Turjman ve ark. (2019) çalışmalarında akıllı şebekelerdeki gelişmiş ölçüm altyapısının en önemli bileşeni olan akıllı sayaç sistemleri hakkında detaylı bilgilere yer vermiş ve akıllı sayaç sistemlerindeki kablosuz haberleşme teknolojilerini sınıflandırarak incelemişlerdir. Bir dağıtım şebekesi içinde müşteriler ve dağıtım firması arasında çift taraflı iletişim temel olarak üç kısma ayrılmıştır. Müşteriler ve akıllı sayaçlar arasındaki iletişim yerel alan ağı (LAN) olarak belirtilmiştir ve bu katmanda Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, Z-wave ve NFC (Near Field Communication) yer almaktadır. Akıllı sayaçlar ile veri toplayıcı üniteler arasındaki iletişim komşu alan ağı (NAN) olarak belirtilmiştir. Veri toplayıcı üniteler ile dağıtım firması arasındaki iletişim ise geniş alan ağı (WAN) olarak tanımlanmıştır. Hem NAN hem

de WAN katmanında NB-IoT, Sigfox, LoRaWAN, Wi-SUN ve LoRa haberleşme teknolojileri yer almaktadır. Çalışmanın devamında ise gelişmiş ölçüm altyapılarındaki teknolojileri mümkün kılan yönlendirme algoritmaları ve güç kalitesinin ölçümünde kullanılan metodlar literatürde yer alan bilgilerle birlikte incelenmiştir [2].

Abate ve ark. (2018) çalışmalarında nesnelerin interneti (IoT) uyumlu, yüksek ölçüm hassasiyetine sahip düşük maliyetli bir akıllı elektrik sayaç geliştirmişlerdir. Önerdikleri akıllı sayaçta, şebeke frekansını karmaşık bir donanım yapısı gerektirmeden ölçebilen 2 farklı algoritma kullanmışlar ve bu algoritmaları hem simulasyon hem de deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Geliştirilen sayaç prototipi temel olarak STM32F2 mikrodenetleyicisi, akım ve gerilim sinyalleri girilen ADE7913 enerji ölçüm çipi ve CC1120 wM-Bus radio transceiver modülünden oluşmaktadır. Geliştirilen akıllı sayaç prototipinin literatürde yer alan diğer çalışmalara göre üstün yönü frekans ölçümü yapabilmesidir. Frekans ölçümü için Goertzel ve Zero-Crossing algoritmaları kullanılmıştır. Simulasyon sonuçlarına göre, Goertzel algoritması %0.04'lük hata oranı ile %0.2' lik hata oranı veren Zero-Crossing algoritmasından daha başarılı olmuştur. Deneysel çalışma ise akıllı sayaç prototipinin veri toplama ve işleminde Goertzel ve Zero-Crossing teknikleri kullanılarak, FLUKE 6105A Güç Kalite Kalibratörü ile farklı sıcaklık koşullarında, farklı toplam harmonik bozulma koşullarında, flicker, quadriform ve tepe dalga formlarında sinyaller uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Bir diğer testte ise akıllı sayaç prototipinin girişine 230Vrms ve 1Arms değerlerinde, 49 Hz seviyesinden 51 Hz seviyesine kadar 0.1 Hz'lik artışlarla sinüsoidal sinyal uygulanmış ve bu koşullarda frekans ölçümleri yapılmıştır. Test sonuçları, geliştirilen düşük maliyetli akıllı sayaç prototipinin yüksek ölçüm hassasiyetine sahip olduğunu göstermiştir [3].

Šťastný ve ark. (2013) çalışmalarında akıllı sayaç sistemlerinde kullanılan haberleşme protokolleri ve teknolojilerini avantajları ve dezavantajları ile birlikte incelemişlerdir. Bunlar sırasıyla 868MHz bandında çalışan Wireless M-Bus standardı, düşük maliyetli ve düşük güç tüketimine sahip Zigbee standardı, 2.4 GHz veya 5 GHz frekans bandında çalışan Wi-Fi teknolojisi, 400Mbps'lere varan veri hızı ve 48 km'ye varan erişim alanı ile WiMAX teknolojisi, özellikle sayaçlardan veri alınmasında, TCP/IP katmanı ile internet erişiminin sağlanmasında görev alan ve

SIM kart ile çalışan veri toplayıcılarda kullanılan GPRS teknolojisinden oluşmaktadır. Wi-Fi teknolojisinin lisanssız radyo spektrumunu kullanması, ağ bağlantısının ve açılımlarının düşük maliyetli olması, Wi-Fi' nin küresel standartlara sahip olması ve her yerde yaygın olarak bulunması avantajlar olarak listelenmiştir. Diğer bazı protokollere nazaran güç tüketiminin oldukça yüksek olması, lisanssız frekans bandını kullanması nedeniyle bazı diğer haberleşme protokollerinin Wi-Fi ile etkileşime girebilmesi, şifresiz Wi-Fi erişim noktalarının hackerlar tarafından hacklenebilmesi gibi olumsuzlukları ise Wi-Fi teknolojisinin dezavantajları arasında yer almıştır [4].

Li ve ark. (2011) çalışmalarında uzaktan sayaç okuma uygulamaları için Wi-Fi tabanlı kablosuz sensör ağı mimarisinin uygulanmasını önermişlerdir. Bu çalışmada vurgulanan hususlar şunlardır: Wi-Fi tabanlı kablosuz sensör ağı, Zigbee tabanlı kablosuz sensör ağı uygulamalarına göre iletişimde yüksek bant genişliği, iletim kapasitesi, kapsama alanı, düşük maliyet, kolay genişletilebilirlik, daha yüksek güvenlik gibi çeşitli avantajlar barındırmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek iletim oranı ve kapasitesiyle birlikte uzaktan sayaç okumada Wi-Fi tabanlı kablosuz sensör ağı mimarisinin kullanılması, nesnelerin interneti ve akıllı şebeke çalışmaları için de anahtar rol oynayacaktır. Geleneksel bir uzaktan sayaç okuma uygulamasında, merkezi bilgisayar, veri toplayıcılar, modemler ve sayaç donanımları yer almaktadır. Wi-Fi tabanlı kablosuz ağ mimarisinde, veri toplayıcıların, modemlerin ve elektrik sayacı, su sayacı ve gaz sayacı gibi donanımların her birinin Wi-Fi haberleşme yeteneğine sahip olması ağ yapısının ilk topolojisi olabilir. Bir bina içinde yer alan tüm elektrik sayaçlarının binanın üzerine konumlandırılacak Wi-Fi tabanlı veri toplayıcıya erişim sağlayarak ana düğüm noktaları olması, bina içerisindeki su veya doğalgaz sayaçları gibi diğer sayaçların da ana düğüm noktaları olan elektrik sayaçlarına bağlanması gibi opsiyonlar oluşturulabilir. Bina üzerlerinde yer alan veri toplayıcı birimlerin ise çevredeki ana veri toplayıcı üniteye bağlanması sağlanabilir. Ayrıca, ana veri toplayıcı ünitenin 3G, WiMAX, VPN özel ağ gibi haberleşme opsiyonları sayesinde uzaktan yönetim sistemiyle iletişim sağlayabilir [5].

Parvez ve ark. (2017) çalışmalarında, akıllı şebekelerin kritik bileşenlerinden olan akıllı sayaçlar için LTE ve Wi-Fi tabanlı bir haberleşme altyapısı önermişlerdir. Önerilen bu altyapıya göre, akıllı sayaçlar Wi-Fi teknolojisini kullanarak veri

toplayıcıya veri ileteceklerdir. Veri toplayıcı ise tüm sayaçlardan aldığı verileri LTE teknolojisini kullanarak sayaç veri yönetim servisine iletecektir. Veri toplayıcıların LTE-U/LAA ve Wi-Fi teknolojisini aynı band genişliğinde kullanabilmesi için literatürdeki mevcut tekniklerden faydalanılabilir. Burada LTE ve Wi-Fi teknolojileri için 3.5 GHz bandı seçilmiştir. 3.5 GHz bandının veri iletişimi için lisanssız ve uygulanabilir olması sayesinde akıllı sayaçların uzaktan okunması için elverişli bir altyapı oluşturulabileceği ortaya konmuştur [6].

Shafeeq (2017), bir elektrik sayacının endeks değerlerinin optik sensör ile okunarak Wi-Fi haberleşmesi ile Android tabanlı bir uygulamaya iletilmesini ve açma kapama uygulamasını gerçekleştirmiştir. Geliştirilen uygulamada, PIC serisi bir mikrodenetleyici, TLN13UA06 Wi-Fi modülü, optik sensör ve bir röle kullanılmıştır. Bu sayede, Android tabanlı uygulama ile birlikte hem sayaç okuma işlemini yerine getiren saha personelinin hem de kullanıcıların sayaç verilerine ulaşmaları hedeflenmiştir [7].

Bayındır ve ark. (2014) çalışmalarında elektrik şebekesindeki teknik kayıpları ve usulsüz enerji kullanımlarını tespit edebilen bir yöntem sunmuşlardır. Geliştirilen uygulamada 4 adet sayaç kullanılmıştır. İlk sayaç bir trafo çıkışına bağlanarak çekilen toplam enerji miktarını ölçer. İkinci sayaç ise trafo ile abonelere kadar olan hattaki usulsüz veya arıza sonucu oluşabilecek kayıpları denetler. Üçüncü ve dördüncü sayaçlar ise aboneleri temsil eder. Bu yapıda, her bir sayaca GPRS modem bağlanarak sayaçların yük profili verileri geliştirilen bilgisayar arayüzüne aktarılır. Böylece tüm sayaçlardan alınan tüketim değerleri kıyaslanarak usulsüz enerji kullanımını olup olmadığı ve gerçekleşen kaçak kullanımın hangi noktada olduğu gözlemlenmektedir [8].

Duman (2018), standart elektrik sayaçlarının OSOS sistemine geçişine imkan sağlayan kablosuz sensör düğümleri geliştirmiştir. Geliştirilen modüller optik port üzerinden ya da RS485 portu üzerinden sayaç verilerinin Arduino denetleyicisi ile okunup nRF24L01 RF kablosuz modül ile iletilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen tekrarlayıcı modüller ise üzerlerinde nRF24L01 RF kablosuz modül ve LCD ekran barındırmaktadır. Bu modüller sayaç verilerinin daha uzak mesafelere iletilmesi için geliştirilmiştir. Son olarak geliştirilen çıkış düğüm modülü yardımı ile sayaç

verilerinin web ortamına aktarılması ve görüntülenmesi sağlanmıştır. Böylece mevcut sayaçların OSOS kapsamına geçişte hurdaya atılmasının önlenmesi için alternatif bir çözüm önerilmiştir [9].

Kocaman (2018) çalışmasında, Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ)'nin hizmet alanında bulunan Özalp (Van), Saray (Van), Bulanık (Muş) ve Güroymak (Bitlis) ilçelerindeki akıllı sayaç uygulamalarının kayıp kaçak kullanımına etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada akıllı sayaç takılmadan önceki ve takıldıktan sonraki kaçak enerji kullanımı verileri kıyaslanmıştır. Kıyaslanan veriler 2017 yılının Ocak, Şubat ve Mart aylarını kapsamaktadır. Bu bölgelerde kullanılan akıllı sayaçlar PLC haberleşme yöntemine sahiptir. Araştırma bulguları olarak, Bulanık ilçesinde % 26.62, Güroymak ilçesinde % 34.94, Özalp ilçesinde % 35.44, Saray ilçesinde % 31.98 oranında kayıp kaçak kullanımlarının azaldığı gözlenmiştir. Bu dört ilçeye genel olarak bakıldığında toplam kayıp kaçak kullanımının % 31.11 oranında azaldığı görülmüştür. Bu çalışma sonucu akıllı sayaç kullanımının kayıp kaçak kullanımlarının önlenmesindeki önemi ortaya konmuştur [10].

Karakaş (2017), akıllı sayaçların Türkiye'de konutlarda elektrik tüketimi ve harcamaları üzerindeki etkisini incelemiştir. TEDAŞ'tan 2015 yılını kapsayan mesken tipi abone ve bu abonelerin yıllık enerji tüketim miktarı verileri kullanılarak bir konutun ortalama enerji tüketim miktarı elde edilmiştir. Ayrıca İstanbul ilimiz baz alınarak bir konutun ortalama yük profili çıkarılmış ve aylık ortalama elektrik enerjisi tüketimi 148 kWh olarak belirlenmiştir. Daha sonra ise ev içinde bulunan elektrikli cihazların yük kaydırma olanağı açısından tüketici için kullanımlarının zaruri, kısmi ya da esnek olmak üzere sınıflandırılması yapılmıştır. Yük kaydırma işlemi yapılmadan önce bir konut için T1 zaman dilimindeki tüketimin % 48.72, T2 zaman dilimindeki tüketimin %25.60 ve T3 zaman dilimindeki tüketimin ise %25.68 oranlarında olduğu gözlenmiştir. Yapılan sınıflandırma temel alınarak elektrikli cihazların kullanımları için yük kaydırması işlemi uygulanmıştır. Yük kaydırması sonucu T1 zaman diliminde %34.64, T2 zaman diliminde %14.40 ve T3 zaman diliminde %50.95 oranında tüketim gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Böylece T2 zaman diliminde tek bir konutta tüketilen aylık enerji miktarının 16.50 kWh azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada, yük kaydırma işlemi sonucunda mesken tipi abonelerin

çok zamanlı tarifede aylık 7.21 TL ve yıllık 86.52 TL'ye kadar kazanç sağlayabileceği ortaya konmuştur [11].

Literatürde yer alan diğer çalışmalara bakıldığında akıllı sayaçlardaki mevcut haberleşme protokollerinin incelendiği görülmektedir [12]. Zigbee tabanlı kablosuz haberleşme yöntemine sahip sayaç [13] ve PLC haberleşme yöntemine sahip sayaç prototipleri üzerinde çalışılmıştır [14]. GPRS hattı üzerinden elektrik sayacı verilerinin iletildiği uygulamalar da mevcuttur. GPRS haberleşmesi ile sayaç verileri tüketiciler tarafından günlük olarak izlenmiştir [15] ve LabVIEW ortamında geliştirilen arayüze aktarılmıştır [16]. Bunun yanı sıra AMI uygulamaları için hibrid haberleşme mimarisine sahip akıllı sayaçlar geliştirilebilir. Sayaçlara PLC+RF, PLC+GSM ve RF+GSM haberleşme yetenekleri kazandırılarak fonksiyonelliklerinin artırılabilceği ortaya konmuştur [17].

IoT uygulamaları için temel olarak akım ve gerilim ölçümlerini gerçekleştiren ve Wi-Fi modülü içeren prototip ürünler bir web arayüzüne sayaç verilerini aktarabilmektedir [18]. Bu yapıda, uzaktan haberleşme imkanıyla birlikte sayaçların ön ödemeli ya da faturalı olmak üzere konfigürasyonları yapılabilir [19]. Bunun yanında sayaç donanımlarına yük sınırlaması gibi özellikler kazandırılabilir [20].

Muhendra ve ark. (2017) çalışmalarında çeşitli elektronik cihazlara monte edilerek uzaktan kontrol edilebilmelerine imkan tanıyan Wi-Fi istemci modülü geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu Wi-Fi istemci modülü genel amaçlı giriş ve çıkış pinleri ile çeşitli elektronik aletlere ve sensör donanımlarına monte edilebilmektedir. Bu sayede, elektrik sayacı, su sayacı, klima ve çeşitli sensör devreleri başta olmak üzere birçok cihaza bu Wi-Fi istemci modülünün ilave edilmesiyle Wi-Fi ağ altyapısı oluşturulmasını öngörmüşlerdir. Geliştirilen Wi-Fi istemci modülü ATmega328 mikrodenetleyicisi, ESP8266 Wi-Fi modülü ve güç kaynağından oluşmaktadır. Bu modül, ortamdaki Wi-Fi ağı sağlayan router cihaza bağlanarak MQTT protokolü ile veri alışverişini sağlamaktadır. Geliştirilen sistemin testi ise LM35 sıcaklık sensörü ile sıcaklık ölçümü yapıp MQTT protokolünü destekleyen bir bulut bilişim platformuna veri gönderilmesi ile gerçekleştirilmiştir [21].

Kıral (2014), Zigbee haberleşme birimine sahip bir akıllı priz geliştirmiştir. Geliştirilen bu akıllı prize ait ölçüm verileri, bir gateway ara birimi sayesinde C# ortamında geliştirilen bilgisayar arayüzü ile takip edilebilmektedir. Bu akıllı priz, bağlı olduğu elektrikli cihazın akım ve gerilim değerlerini 2 saat boyunca takip ederek cihazın yük profilini oluşturmaktadır. Bu sayede bağlı olduğu elektrikli yüke özel adaptif koruma özelliği bulunmaktadır. Bu yöntem ile birlikte evlerimizde koruma amacıyla kullanılan B tipi elektrik sigortalarına göre daha hassas bir koruma sağlanmıştır [22].

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışması ile akıllı şebeke yapısına ve akıllı bina uygulamalarına uygun olarak uzaktan okuma, uzaktan açma-kapama, sayaca yapılan mekanik ve manyetik müdahaleleri tespit edip raporlayabilme, elektrik faturasının ödenmemesi durumunda opsiyonel olarak kullanıcıya sunulan elektrik enerjisinin sınırlandırılması gibi özelliklere sahip bir Wi-Fi tabanlı elektrik sayacı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayacın en belirgin faydaları; sayaçların okunması için bir personele veya ilave yatırıma ihtiyaç duyulmaması ve kaçak elektrik kullanımının önüne geçilmesi olarak öngörülmüştür.

Ayrıca, evlerimizdeki elektrikli ev aletlerinin tüketim değerlerinin ölçülmesini ve uzaktan kontrol edilebilmesini sağlayan Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü geliştirilmiştir. Hem akıllı sayaç verilerinin hem de enerji ölçüm modülü verilerinin bir mobil uygulama üzerinden takip edilebildiği bir arayüz tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra enerji ölçüm modülüne yük profili algoritması eklenerek normal yük profili değerlerinden çok daha fazla tüketim gerçekleştiren yüklerin enerjilerini otomatik olarak kesebilen bir mekanizma özelliği de sisteme eklenmiştir.

Wi-Fi teknolojisinin hayatımızda ve yaşam alanlarımızda giderek yaygınlaştığı bu dönemde, bu tezde çalışılan akıllı elektrik sayacı ve Wi-Fi haberleşmesi özelliğine sahip akıllı enerji ölçüm modülü sayesinde ilave bir haberleşme altyapısı gerektirmeyen, düşük maliyetli bir sistem mimarisi oluşturulmuştur. Geliştirilen bu sistem sayesinde tüketicilerin akıllı sayaç sistemleri

ile etkileşimlerinin artırılması ve akıllı telefonlar vasıtasıyla ev aletlerinin uzaktan yönetiminin sağlanması gibi katkılar da kazandırılmıştır.



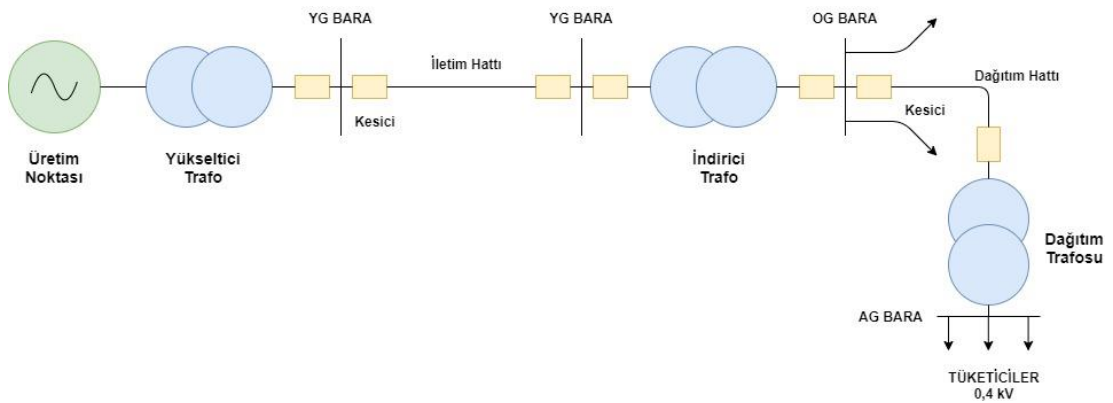
2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde akıllı şebekeler hakkında genel bilgilere, akıllı şebekelerin önemli bir bileşeni olan akıllı sayaç sistemlerine, akıllı sayaç bileşenleri ile akıllı sayaçlarda kullanılan haberleşme teknolojilerine yer verilmiştir.

2.1. Klasik Elektrik Şebekesi Kavramı

Tarihte ilk elektrik şebekesi denilebilecek sistem uygulaması 1882 yılında Thomas Edison tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ilk Doğru Akım (DA) şebekesi, kısıtlı sayıda müşteriden oluşmaktaydı [23]. İlerleyen yıllarda ise doğru akım şebekelerine nazaran birçok avantajı bünyesinde barındıran ve daha uzak mesafelere erişim imkanı sağlayan Alternatif Akım (AA) şebekelerine geçiş sağlanmıştır. Ancak bu ilk elektrik şebekelerinde üretimin lokal olduğu ve kısıtlı bir alanda enerji dağıtımının gerçekleştirildiği görülmektedir. Günümüzde ise daha uzak noktalara elektrik enerjisinin ulaştırılması gibi ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçlar sonucunda pek çok şebekenin merkezi bir yapıda bağlantı oluşturduğu enterkonnekte elektrik şebekeleri oluşturulmuştur. Enterkonnekte şebekeler bölgesel veya uluslararası yapıda olabilmektedir.

Şekil 2.1’de üretim, iletim, dağıtım ve son kullanıcılardan oluşan klasik bir elektrik şebekesine ait şema yer almaktadır.



Şekil 2.1. Klasik elektrik şebekesi yapısı

2.2. Klasik Şebekeden Akıllı Şebekeye Geçişin Nedenleri

Yukarıda ifade edilen klasik elektrik şebekelerinden daha modern imkanlar sunan akıllı şebekelere geçiş ihtiyacı 3 temel neden ile açıklanabilir. Bunlar;

- a.) Artan enerji talebi
- b.) Mevcut tesislerdeki üretim limitleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu
- c.) Uzaktan izleme, kontrol edilebilirlik ve çift yönlü enerji alışverişi koordinasyonu

olarak sınıflandırılabilir.

International Energy Agency (IEA) tarafından yayınlanan “World Energy Outlook 2019” raporuna göre, 2040 yılına gelindiğinde dünyada elektrik üretiminin 2018 yılına kıyasla %45,4 artış göstererek 38,7 milyar MWh seviyelerine ulaşacağı öngörülmüştür. Benzer şekilde 2018 yılında 23 milyar MWh olan küresel elektrik enerjisi talebinin 2040 yılına kadar 34,5 milyar MWh seviyelerine ulaşacağı belirtilmiştir [24]. Bu rapor sonuçlarının da işaret ettiği gibi küresel anlamda artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için mevcut üretim kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynaklarının ve dağıtılmış üretim sistemlerinin entegrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu entegrasyonların yapılmasıyla birlikte mevcut durumdaki klasik elektrik şebeke yapısındaki tek taraflı akışın değişerek çift taraflı bir akış yapısına geçileceği görülmektedir. Dolayısıyla üretimdeki tüm tesislerin entegrasyon içerisinde hizmet verebilmesini sağlayan akıllı şebeke yapısına ihtiyaç duyulmaktadır.

Elektrik enerjisi altyapılarının gelişen teknoloji ile birlikte kaliteli ve kesintisiz hizmet sunabilmesi önem arz etmektedir. Enerjinin üretiminden tüketim aşamasına kadar her süreçte verimliliğin artırılması ve şebeke yapısına katılacak olan elektrikli araçlar gibi yeni yüklerin de yönetilebilmesi amacıyla gelişmiş bir haberleşme altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sayede şebekenin her noktasının uzaktan izlenebilir ve kontrol edilebilir bir yapıda olması sağlanabilecektir. Bu ihtiyaç da akıllı şebekelere geçiş için bir diğer gerekliliktir.

2.3. Akıllı Şebekeler

Akıllı şebekeler enerjinin üretiminden tüketimine kadar her aşamada bilgi ve haberleşme teknolojilerinin etkin olduğu bir enerji yönetim sistemidir. Bu teknolojilerle birlikte enerjinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve talep tarafa sunulan hizmet aşamalarında gerçek zamanlı izleme ve kontrol imkanlarına olanak sağlanmaktadır. Şebekenin durumunu analiz eden gelişmiş algoritmalar sayesinde şebekedeki problemler daha hızlı ve yüksek doğrulukla tespit edilebilmektedir. Kendi kendini iyileştirebilen bir sistem altyapısıyla arıza ve kesinti odaklı manuel bakım süreçleri asgari seviyeye indirilmektedir. Akıllı şebeke mimarisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesi, kontrolü ve işletilmesi daha esnek bir yapıdadır.

Klasik elektrik şebekesindeki güç akışı tek taraflıdır. Akıllı şebeke yapısında ise enerji depolama sistemlerinin şebekeye dahil edilmesi söz konusudur. Ayrıca kullanımları giderek yaygınlaşan elektrikli araçlar için şarj istasyonlarının da çift taraflı olarak şebekeye bağlanabilmesi sayesinde şebekedeki güç akışı çift yönlü hale gelmektedir [25]. Akıllı şebekelerin en büyük faydaları arasında tedarik sürekliliği ve enerji verimliliğinin sağlanmasının yanı sıra tüketicilerin de piyasaya aktif olarak katılımlarının sağlanması yer almaktadır.

Klasik elektrik şebekesi ile akıllı şebeke yapısının işleyiş yapısı karşılaştırmalı olarak Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Klasik elektrik şebekesi ile akıllı şebekenin karşılaştırılması [22]

Karakteristik	Klasik Elektrik Şebekesi	Akıllı Şebeke
Şebeke işleyişi	Elektromekanik	Dijital
Haberleşme	Tek yönlü	Çift yönlü
Üretim	Merkezi yapıda	Dağıtık yapıda
Sensör Uygulamaları	Kısıtlı düzeyde sensör uygulaması	Gelişmiş düzeyde sensör uygulaması
Bakım Faaliyetleri	Arıza/kesinti odaklı, manuel bakım	Otomatik olarak problemlerin tespitine imkan tanıyan ve kendini iyileştirebilen bir sistem
Geri Bildirim Yapısı	Kısıtlı	Kendini gözleyebilen bir sistem
Tüketici ile Etkileşim	Kısıtlı düzeyde	İleri düzeyde

Akıllı şebeke teknolojilerine yönelik çalışmaların temelini gelişmiş ölçüm altyapıları oluşturmaktadır. Gelişmiş ölçüm altyapılarının sunduğu iki yönlü bilgi akışı sayesinde elektrik şebekelerinin daha verimli işletilmesi ve şeffaflık sağlanması mümkün olmaktadır. Nitekim Türkiye Akıllı Şebekeler (TAŞ) 2023 kapsamında ortaya konulan yol haritasında, 2025 yılına kadar enerji dağıtım altyapısında, 2035 yılına kadar da tüketicilerin en az %80'inde gelişmiş ölçüm sistemlerinin kullanıma girmesi hedeflenmiştir. Akıllı şebekeyi oluşturan bileşenler Şekil 2.2'de yer almaktadır [25].



Şekil 2.2. Akıllı şebeke bileşenleri

2.4. Akıllı Sayaç Sistemleri

Akıllı sayaç sistemleri, enerji tüketim noktalarında ölçüm işlemlerini gerçekleştiren ve bir merkezi veri sistemiyle güvenli bir şekilde uzaktan veri iletimini sağlayan bileşenlerden oluşmaktadır. Akıllı sayaçlarla birlikte enerjinin yüksek doğrulukla ölçülmesi ve sayaç veri yönetim sistemleri ile çift taraflı bilgi akışı sağlanmaktadır. Bu sayede enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtım aşamalarında gerçek zamanlı izleme, kontrol uygulamaları ve veri analitiği yapılabilmektedir. Bu yapıda, tüketicilerin anlık enerji talepleri doğrultusunda enerji üretimi yapabilmesi, puant saati dilimindeki enerji talebinin düşürülmesi ve dağıtım şebekesi yükünün daha dengeli yayılması mümkün olmaktadır [26]. Bunun yanı sıra akıllı şebekelerin önemli bileşeni olarak nitelendirebileceğimiz akıllı sayaç sistemlerinin getirdiği gerçek zamanlı ücretlendirme, aktif yük kontrolü gibi uygulamalar sayesinde son kullanıcılar enerji tarif dilimlerine uygun olarak tüketimlerini gerçekleştirebilir ve bu sayede enerji tüketim maliyetlerini düşürebilirler [27].

Akıllı şebekelerde dağıtık üretim tesislerinin yaygınlaşmasının bir sonucu olarak, yük tahmin algoritmalarının daha yüksek çözünürlükte yapılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Akıllı sayaç sistemleri sayesinde şebeke analizlerinin detaylı bir şekilde yapılması ve gelişmiş yük talebi tahmin algoritmalarının gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır [28]. Çeşitli teknolojik avantajları barındıran akıllı sayaçlarla ilgili

hem ülkemizde hem de dünyada yaygınlaştırma çalışmaları sürdürülmektedir. Akıllı sayaçların tüketiciler, dağıtım şirketleri, tedarik şirketleri ve elektrik piyasası için sağladığı faydalar gruplandırılarak aşağıda verilmiştir [29].

2.4.1. Akıllı Sayaçların Tüketicilere Sağladığı Faydalar

Tüketicilerin akıllı sayaçlarla etkileşimlerinin artırılması sayesinde akıllı sayaçların sunduğu avantajlardan daha fazla faydalanılması mümkün olacaktır. Akıllı sayaçların tüketicilere sağlayabileceği faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Detaylı tüketim verilerine ulaşılması ve bu sayede tasarrufa yönelimin sağlanabilmesi
- Tüketimlerin enerji bedelinin daha düşük tarifieden fiyatlandırıldığı zaman dilimine kaydırılarak faturadan tasarruf sağlanabilmesi
- Dinamik tarife uygulamaları sayesinde tedarikçiler arasında yaşanacak rekabetin faturalara indirim olarak yansması
- Tedarikçi değişim süreçleriyle birlikte tüketicilerin kendilerine daha uygun tarifelere geçiş yapabilmesi
- Talep tarafı katılımıyla birlikte tüketicilerin serbest piyasaya aktif olarak katılımlarının sağlanması
- Sayaç operasyonları (açma-kesme), otomatik faturalandırma, bakım onarım faaliyetleri ve tedarikçi değişimi gibi hizmetlerin kalitelerinin artırılarak müşteri memnuniyetinin sağlanması.

2.4.2. Akıllı Sayaçların Dağıtım Şirketlerine Sağladığı Faydalar

Akıllı sayaç altyapılarıyla birlikte dağıtım şirketlerinin işletme ve operasyon faaliyetlerinin iyileştirilmesi, sağladığı hizmet kalitelerinin artırılması ve tüketicilerin sergilediği tüketim davranışlarının daha detaylı analiz edilebilmesi gibi çeşitli avantajlara erişimleri mümkün olacaktır. Akıllı sayaçların dağıtım şirketlerine sağlayabileceği faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Uzaktan okuma uygulamalarıyla birlikte sayaç okuma süreçlerinde işletme ve maliyet anlamında verimliliğin artırılması

- Uzaktan açma-kesme uygulamalarıyla birlikte faturalarını ödemeyen abonelere ulaşım için sahaya çıkan personel giderinden tasarruf sağlanması
- Sayaç arızalarının uzaktan kontrol edilerek teyit edilmesi sayesinde saha ziyaretlerinin ve maliyetlerinin azaltılması
- Coğrafi alan bazlı olarak şebekeye giren ve tüketilen enerjinin eş zamanlı ölçülebilmesi sayesinde teknik ve teknik olmayan kayıpların tespit edilmesi.
- Kayıp kaçak enerji kullanımının en aza indirilmesi
- Sayaca yapılan yasal olmayan müdahalelerin raporlanması sayesinde yaşanabilecek maddi kayıpların önüne geçilmesi
- Şebeke yönetim sistemleri ile sayaç veri merkezinin entegrasyonu sayesinde kesintilerden etkilenen müşteri sayısının azalması.

2.4.3. Akıllı Sayaçların Tedarik Şirketlerine Sağladığı Faydalar

Enerji sektörü bir hizmet sektörü olarak nitelendirilebilir. Akıllı sayaç sistemlerinin sağlayacağı teknolojik avantajlar sayesinde müşterilere kaliteli ve kesintisiz enerji sunulması sağlanacaktır. Bu sayede hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti artırılacaktır. Akıllı sayaçların tedarik şirketlerine sağlayabileceği faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Tüketim verilerine daha detaylı olarak ulaşılması sayesinde faturalandırma hizmetlerinin gelişmesi, tüketiciye özgü tarifeler sunulabilmesi ve tedarik şirketlerinin faaliyetlerinin etkinleştirilmesi
- Uzaktan açma-kesme ve sayaç veri yönetimi uygulamaları sayesinde borç takibi süreçlerinin kolaylaştırılması ve tahsilat oranlarının artırılması
- Tüketicilere yönelik verilerin artması sayesinde daha kapsamlı olarak müşteri analizlerinin gerçekleştirilebilmesi
- Veri analitiği uygulamalarının daha kapsamlı gerçekleştirilerek müşteriye özgü hizmetler geliştirilmesi
- Yüksek doğrulukta yük talebi tahmini algoritmalarının geliştirilmesi
- Sayaç okuma işlemlerindeki hata oranlarının azalması ve tahakkuk edilen enerji miktarının artırılması.

2.4.4. Akıllı Sayaçların Elektrik Piyasasına Sağladığı Faydalar

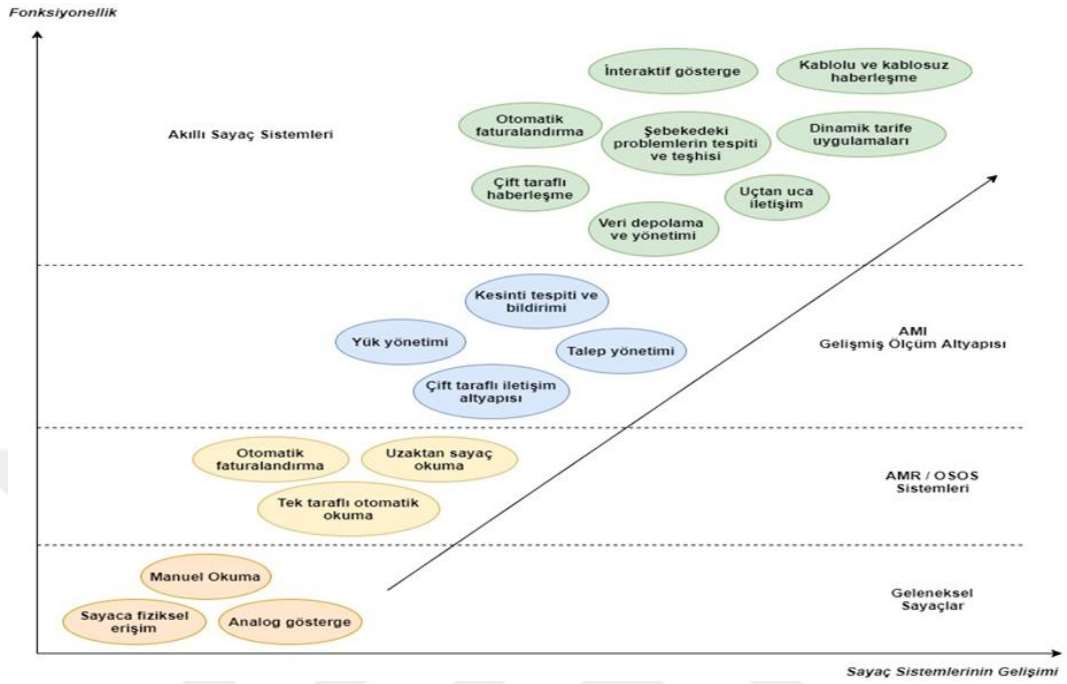
Dağıtık yapıdaki irili ufaklı yenilenebilir enerji kaynaklarının da şebekeye entegrasyonlarının sağlanması en önemli bileşenlerden biridir. Ülkemiz adına yaklaşım sağlandığında, elektrik piyasasının liberalleşmesi sürecinin bir sonucu olarak serbest tüketici kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda tüketicilerin tedarikçi firmalarını değiştirerek kendi istedikleri elektrik perakende şirketinden enerji satın almalarının önü açılmıştır. Tedarikçi firmalar arasında oluşacak rekabet ortamının müşterilere pek çok avantaj sunması öngörülmektedir. Akıllı sayaçların elektrik piyasasına sağlayabileceği faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonları sayesinde yaygınlaştırılmalarının hızlanması
- Tüketicilerin piyasaya katılımlarının sağlanması
- Puant saati dilimindeki enerji talebinin düşürülmesi sayesinde dağıtım şebekesi yükünün daha dengeli yayılması
- Elektrikli araçlar ve akıllı evler gibi teknolojik imkanların artması sayesinde akıllı şebekelerin etkinliğinin artırılması
- Fosil yakıt tabanlı üretim metotları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artmasıyla birlikte karbon salınımının azalması ve çevreci bir yapıya geçişin sağlanması.

2.5. Elektrik Sayaçlarının Tarihsel Gelişimi

1800'lü yılların sonunda aydınlatma amacıyla kurulan elektrik şebekelerinin yaygınlaşmasıyla birlikte elektrik sayacı kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Tarihte bilinen ilk elektrik sayacına ait patent Samuel Gardiner'e aittir [30]. Bu sayaç temel olarak DA ölçümü için geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda AA şebekelerinin kurulmasıyla birlikte AA ölçümü yapabilen elektromekanik sayaçlar geliştirilmiştir. İçinden AA geçen iki bobinde oluşan manyetik akı ile orantılı olarak bir diskin dönmesi prensibiyle enerji tüketiminin ölçülmesi sağlanmaktaydı [31]. Elektromekanik sayaçlar teknolojik ilerlemelerle birlikte yerini elektronik sayaçlara bırakmıştır. Bunun devamında sayaçların uzaktan okunabildiği Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) altyapıları geliştirilmiştir. Günümüzde ise çift taraflı haberleşme yeteneklerine sahip akıllı sayaç sistemleri kullanıma girmiştir.

Elektrik sayaçlarının tarihsel gelişimleriyle birlikte sahip oldukları fonksiyonellikler Şekil 2.3'te yer almaktadır [32].



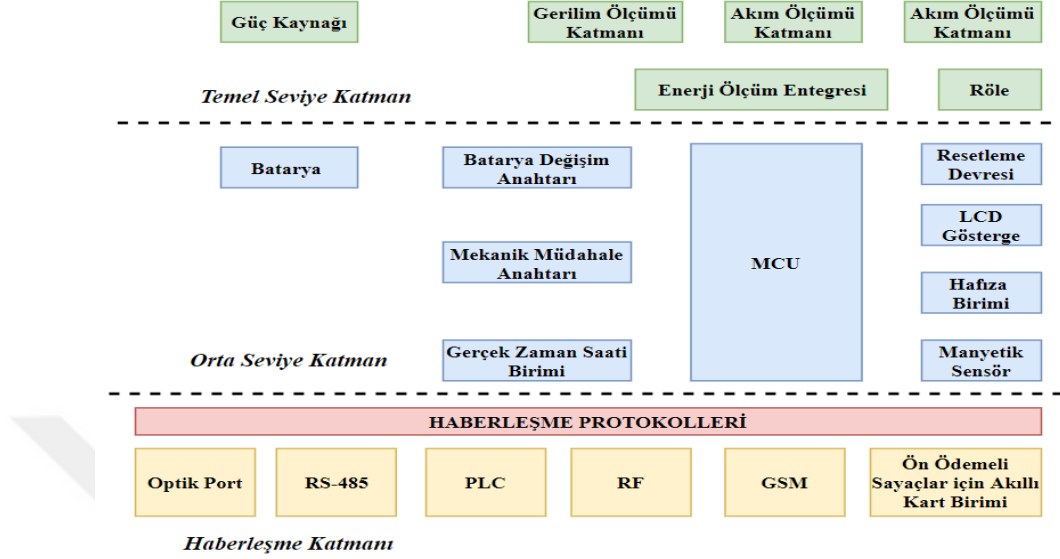
Şekil 2.3. Elektrik sayaçlarının gelişimi

AMR ya da ülkemizde daha yaygın olarak bilinen adıyla OSOS sistemlerinde sayaç verileri daha önceden tanımlanmış zaman aralıklarıyla merkezi veri sistemine iletilmektedir. Bu yapı sadece uzaktan okumaya olanak sağlamaktadır. Enerji kesintisi ve arıza gibi problemlerin tespitinin insana bağımlı olması, sayaçlardan anlık olarak geri bildirim alınmaması gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda, OSOS sistemlerinin açık çevrim kontrol sistemi olduğu görülmektedir. Günümüzde kullanımı yaygınlaşan ve akıllı şebekelere her yönden katkılar sağlayan akıllı sayaçlarla birlikte sayaçlarla anlık olarak çift taraflı etkileşime geçilebilmektedir. Sayaçlardan sürekli geri bildirim alınabilmesinin yanı sıra üst düzey haberleşme altyapılarıyla birlikte kapalı çevrim kontrol sistemi oluşmaktadır.

2.6. Akıllı Sayaç Bileşenleri

Akıllı sayaçlar temel olarak tüketim verilerini ölçebilen, bünyesinde gelişmiş dijital yetkinlikleri barındıran ve çeşitli haberleşme yöntemlerinden birini kullanarak

iletişim sağlayabilen bir yapıya sahiptir. Şekil 2.4'te bir akıllı sayaca ait bileşenlerin yer aldığı diyagram verilmiştir.



Şekil 2.4. Akıllı sayaç bileşenleri

Akıllı sayaçların temel seviye katmanında akım ve gerilim ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Nötr akımının ölçümü için de ayrı bir katman kullanıldığı için iki ayrı akım ölçümü katmanı yer almaktadır. Enerji ölçüm entegresi akım ölçümü ve gerilim ölçümü katmanlarından alınan verileri UART, I2C, SPI gibi haberleşme protokollerinden herhangi birini kullanarak MCU'ya iletmektedir. Enerji ölçüm entegresi olarak tek fazlı ya da üç fazlı ölçüm yapabilen çeşitli entegreler kullanılmaktadır [33]. Röle ile birlikte uzaktan açma ve kesme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Akıllı sayaçların orta seviye katmanında gelişmiş dijital yetkinliklere imkan tanıyan donanımlar ve MCU yer almaktadır. MCU biriminde tüm yazılım algoritmaları yerine getirilmektedir. Sayacın gerçek zaman saatini besleyen pilin ömrü en az 10 yıldır. Ayrıca akıllı sayaçlar 15 dakikalık ölçümlerden oluşan yük profili verilerini en az 90 gün hafızasında saklayabilmektedir [34]. Manyetik sensör ve ön kapak müdahale anahtarı sayesinde sayaca yapılan mekanik ve manyetik

müdahaleler tespit edilip raporlanmaktadır. Bunun yanında LCD gösterge ile sayacın tarih ve zaman bilgileri ile tüketim verileri görüntülenebilmektedir.

Haberleşme katmanında ise çeşitli protokoller yer alabilmektedir. Akıllı sayaçlar, üzerinde bulundurduğu optik portun yanı sıra haberleşme protokollerinden en az birini desteklemektedir. Akıllı sayaç kullanımının gerçekleştirileceği bölgenin koşullarına bağlı olarak dağıtım firmaları tarafından en uygun haberleşme teknolojisine sahip sayaçlar tercih edilmektedir. Bu sayede her bir akıllı sayaç ile merkezi veri sistemleri arasında haberleşme sağlanabilmektedir.

Elektrik kesintisinin tespiti ve raporlanabilmesi, kaçak kullanım tespiti ve sayaçların uzaktan yönetilebilmesi gibi avantajlar sayesinde şebekenin işletme faaliyetleri daha etkin bir yapıya kavuşturulmaktadır.

Akıllı Sayaçlar imalat ve bağlantı şekillerine göre 1 fazlı ya da 3 fazlı olarak üretilmektedir. Ölçülen enerjiye göre ise aktif sayaçlar, reaktif sayaçlar, aktif-reaktif (kombi) sayaçlar olarak sınıflandırılabilir. Çift yönlü (import-export) sayaçlar hem şebekeden çekilen enerjinin ölçülebilmesini hem de yenilenebilir enerji kaynakları gibi şebekeye enerji verebilen yapıların ölçümlerini gerçekleştirebilmektedir. Ön ödemeli sayaçlar ise abonelerin önceden ödeme yaparak enerji kullanımı bakiyeleri yükleyebilmesini ve süre kısıtlaması olmaksızın kullanabilmesini sağlamaktadır. Ön ödemeli elektrik sayaçlarının ülkemizde elektrik piyasasında kullanımı henüz mevcut değildir.

2.7. Akıllı Sayaç Sistemlerinde Kullanılan Haberleşme Teknolojileri

Akıllı sayaç sistemleri, haberleşme altyapılarını kullanarak merkezi veri sistemleriyle iletişim sağlar. Şekil 2.5'te basit anlamda akıllı sayaç sistemlerinin mimarisi verilmiştir [29].



Şekil 2.5. Akıllı sayaç sistemleri mimarisi

Haberleşme altyapıları genel olarak WAN, LAN ve HAN olarak sınıflandırılmaktadır. HAN katmanında, talep tarafın kendi tüketim verilerini izleyebilmesini ve akıllı sayaçla haberleşebilmesini sağlayan teknolojiler yer almaktadır. Özellikle günümüzde oldukça popüler olan akıllı ev otomasyonu gibi projeler bu katmanda yer alır. Elektrik sayaçlarının binalarımızda bir pano içinde bulunması sebebiyle sayaçlarla haberleşme için kablolu ya da kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılabilir.

LAN katmanında sayaçlar ile veri toplayıcı cihazların haberleşmesini sağlayan teknolojiler yer almaktadır. Sayaçların sayısı çok miktarda olduğu için her bir sayacın doğrudan veri merkezi ile haberleşmesi hem çok maliyetli hem de beraberinde birçok problemi getiren bir durumdur. Bunun yerine binalardaki sayaç panolarına konulan modemler vasıtasıyla ya da trafolarla konulan veri toplayıcı cihazlar sayesinde bölgede yer alan tüm sayaçlarla haberleşme sağlanmaktadır. Özellikle PLC ve RF haberleşme yöntemlerinde veri toplayıcıların kullanılması gerekmektedir.

WAN katmanında ise modem ya da veri toplayıcı cihazlarla veri merkezi arasında haberleşmeyi sağlayan teknolojiler yer almaktadır. Bu yapıda bölgedeki tüm sayaçların verileri sadece bir modem veya veri toplayıcı cihaz aracılığıyla veri

merkezine iletilmektedir. Eđer bir sayaç doğrudan veri merkeziyle haberleşebiliyorsa yine WAN katmanında yer aldığı söylenebilir. WAN katmanında genellikle GSM/GPRS, TCP/IP ve PSTN gibi haberleşme protokolleri kullanılarak kriptolu bir şekilde veri merkezi ile haberleşme sağlanmaktadır.

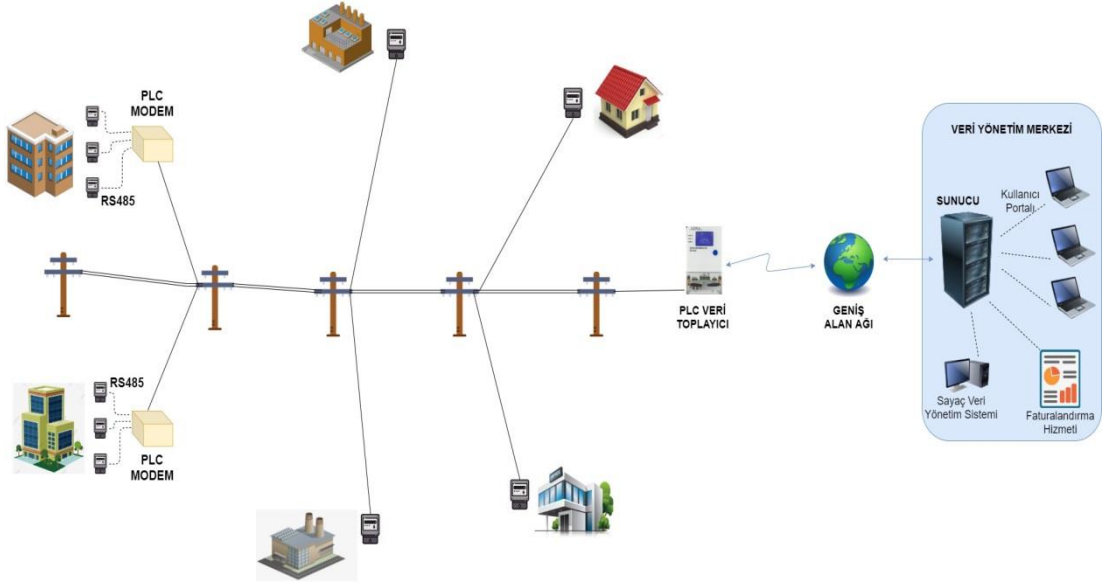
Akıllı sayaç sistemlerinde kullanılan haberleşme teknolojileri ve özellikleri daha detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

2.7.1. PLC Teknolojisi

Sayaç verileriyle modüle edilmiş belirli bir aralıktaki frekansa sahip taşıyıcı sinyalin mevcut güç hatlarını kullanarak iletildiği tekniğe Power Line Communication (PLC) denmektedir. PLC, Narrowband PLC (Dar Bant İletişim) ve Broadband PLC (Geniş Bant İletişim) olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. CELENEC standartlarına göre Narrowband PLC yöntemi için tanımlanan frekans aralığı 3-500 kHz' dir. Bu frekans aralığının 3-148.5 kHz arasındaki kısmı veri iletişimi için tahsis edilmiştir. Bu kapsamda, CENELEC-A standartına göre Avrupa ülkelerinde 3-95 kHz aralığı elektrik şirketleri tarafından kullanılmaktadır. 95-148.5 kHz aralığı ise müşteriler, bina otomasyonu sistemleri, alarm ve güvenlik uygulamaları için ayrılmıştır [35]. Narrowband PLC ise kendi içinde Low Data Rate Narrowband PLC (Düşük Veri Hızlı Dar Bant PLC) ve High Data Rate Narrowband PLC (Yüksek Veri Hızlı Dar Bant PLC) olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük veri hızlı dar bant PLC yönteminde tek taşıyıcılı teknoloji kullanılır ve veri iletim hızları 10 kbps'a kadar çıkabilmektedir. Yüksek veri hızlı dar bant PLC yönteminde ise çok taşıyıcılı teknoloji kullanılır ve veri iletim hızları 1 Mbps seviyelerine ulaşabilmektedir [36].

Broadband PLC yöntemi için 2-250 MHz frekans aralığı tanımlanmıştır. Bu yöntemde veri iletim hızları yüzlerce Mbps seviyelerine ulaşabilmektedir [37]. Genel olarak bakıldığında Narrowband PLC yönteminin daha çok akıllı şebekelerdeki haberleşme uygulamalarında, Broadband PLC yönteminin ise daha çok son kullanıcı uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir.

Akıllı sayaç sistemlerinde PLC haberleşmesi uygulamasına ait genel görünüm Şekil 2.6'da yer almaktadır.



Şekil 2.6. Akıllı sayaçlarda PLC haberleşmesi

PLC haberleşme yönteminde her bir sayaç PLC haberleşme ünitesine sahip enerji hatları üzerinden genellikle trafoya yerleştirilen PLC veri toplayıcı ile çift yönlü olarak haberleşebilmektedir. Bina gibi toplulaştırılmış yapılarda ise her bir sayacın üzerinde PLC haberleşme ünitesine sahip olmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bina içindeki sayaç panosuna konulan tek bir PLC modeme akıllı sayaçların RS485 portu üzerinden bağlanması yeterlidir. Bu sayede PLC modem vasıtasıyla PLC veri toplayıcı ile haberleşme sağlanır. PLC veri toplayıcı ise sayaç veri yönetim merkezine veri aktarmaktadır.

PLC haberleşme yönteminde hali hazırda mevcut olan iletim hatlarının kullanılması, frekans bandı için lisansa ihtiyaç duyulmaması gibi avantajlarla işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Buna karşılık elektrik şebekesinde meydana gelen arızalar sırasında oluşan gürültüler sonucu verileri taşıyan sinyalde girişim oluşması, yüke bağlı olarak iletişim empedansının değişmesi, iletim hatlarında yaşanabilecek kopmalar gibi olumsuzluklar ise dezavantajlar arasında yer almaktadır.

2.7.2. Telefon Hatları Üzerinden Haberleşme

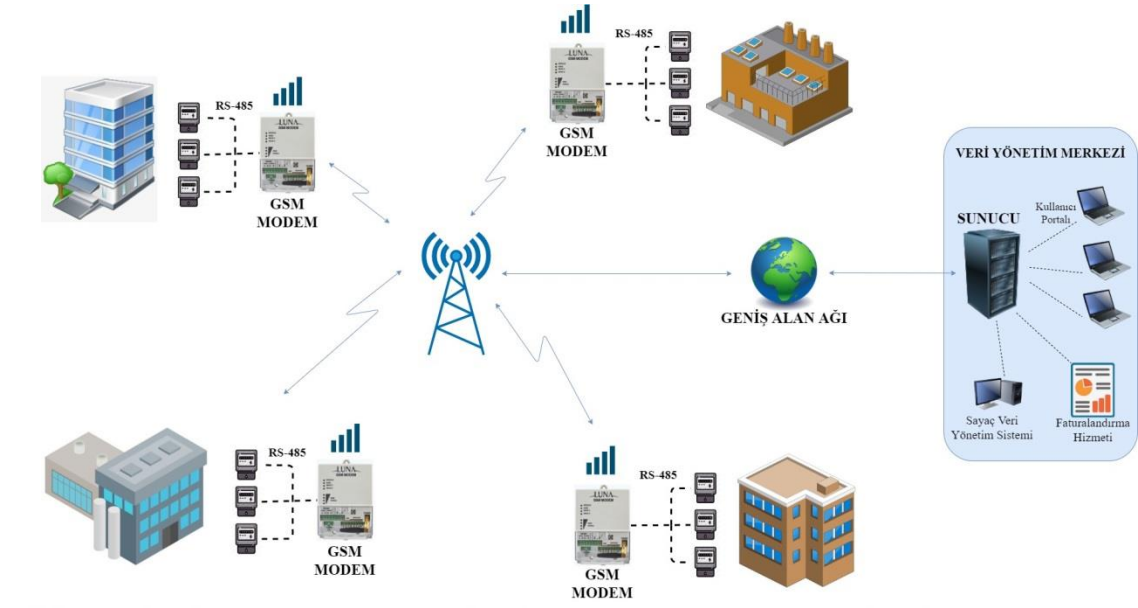
Bu yöntemde mevcut telefon hatları üzerinden (PSTN) akıllı sayaçlarla haberleşmenin sağlanması mümkündür. Bu sayede 128 Kbps seviyelerinde veri iletim hızlarına ulaşılabilmektedir [38]. DSL teknolojisinde de aynı şekilde mevcut

telefon hatları kullanılır ve veri iletim hızları birkaç Mbps seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Telefon hatları üzerinden iletişim gerçekleştirildiğinde PLC yöntemindeki gibi şebeke yapısından kaynaklı problemler ya da elektriksel gürültü olmadığı için daha sağlıklı bir veri iletimi sağlanabilir. Bu avantaja karşılık, haberleşme için dağıtım şebekesi bünyesinin kullanılmaması, daha farklı ve bağımsız bir altyapı kullanılması dezavantaj olarak nitelendirilmektedir. Bu yapıda telekomünikasyon altyapısı telefon veya internet sağlayıcılarına aittir. İşletme maliyetlerinin yüksek olması da bir diğer dezavantaj olarak değerlendirilmektedir.

2.7.3. GSM/GPRS Teknolojisi

GSM dünya genelinde kullanılan en popüler hücresel ağıdır. 900 MHz ve 1800 MHz frekans bantlarını kullanmaktadır. GSM teknolojisinde modülasyon tekniği olarak Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) kullanılmaktadır ve veri iletim hızları 270 kbps seviyelerine ulaşabilmektedir [36]. 1800 MHz frekans bandının iletişim kapasitesinin daha yüksek olması nedeniyle şehirleşmenin yaygın olduğu yerlerde tercih edilmektedir. GSM teknolojisi en güvenli iletişim ağlarından biri olarak değerlendirilmektedir. GPRS teknolojisi ise GSM ile aynı frekans bantlarını kullanan paket tabanlı veri iletim tekniğidir. GPRS yöntemi, GSM üzerinden IP tabanlı ağ uygulamalarını mümkün kılmaktadır. Bu yöntemde GSM ile karşılaştırıldığında daha yüksek veri hızlarına ulaşılmaktadır. Akıllı şebekelerde en yaygın kullanılan haberleşme teknolojilerinden biridir.

Akıllı sayaç sistemlerinde GSM/GPRS haberleşmesi uygulamasına ait genel görünüm Şekil 2.7'de yer almaktadır.



Şekil 2.7. Akıllı sayaçlarda GSM/GPRS haberleşmesi

GSM/GPRS haberleşme yönteminde her bir sayaç GSM/GPRS haberleşme modülüne sahipse doğrudan veri yönetim merkezine veri gönderebilmektedir. Ancak her bir sayaca GSM/GPRS haberleşme modülü takılması çok maliyetli bir işlemdir. Bunun yanı sıra işletme maliyetleri de çok büyük oranda artacaktır. Bu haberleşme yönteminde binalarda sayaçların toplu olarak bulunduğu sayaç panosuna bir GSM/GPRS modem konularak, tüm sayaçların RS-485 portu üzerinden modeme bağlanması sağlanır. Bu sayede tüm sayaçların verileri GSM/GPRS modem üzerinden veri yönetim merkezine aktarılır. Ülkemizdeki mevcut durumdaki OSOS uygulamalarına ya da akıllı sayaç uygulamalarına bakıldığında GSM/GPRS teknolojisinin etkin olduğu görülmektedir.

GSM/GPRS teknolojisi kurulum maliyetleri bakımından en avantajlı çözümlerden biri olmasına karşın işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca mevcut hatlardaki teknik kapasitelerin kısıtlı olması nedeniyle akıllı sayaç sistemlerinde PLC ve RF gibi alternatif haberleşme yöntemlerine yönelim teşvik edilmektedir.

Ek olarak, WAN katmanında kullanılan PLC ve RF veri toplayıcı ünitelerinin veri yönetim merkezleri ile haberleşebilmesi için de yaygın olarak GSM/GPRS teknolojisi kullanılmaktadır.

2.7.4. RF Haberleşme Teknolojisi

RF haberleşme yönteminde verici cihazlar ile alıcı cihazlar arasında herhangi bir fiziksel bağlantı olmaksızın haberleşme sağlanabilmektedir. Bu yöntemde kullanılan bant aralıkları lisanslı ve lisanssız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Lisanslı bant aralıkları ticari firmalar tarafından kiralanarak ticari amaçlarla kullanılabilir. Bunun yanında 433 MHz ve 868 MHz gibi bant aralıkları kullanılarak bilimsel, tıbbi ve endüstriyel uygulamalar yapılabilmektedir. Geniş bant erişim tekniğinde kullanılan frekans bandı aralıkları 2GHz-11GHz arasındadır [38]. Örnek olarak IEEE 802.11a/b/g/n standartlarındaki Wi-Fi teknolojisi, IEEE 802.15.4 standartındaki Zigbee teknolojisi ve IEEE 802.16 standartındaki WiMAX teknolojisi geniş bant erişim tekniğindeki frekans aralıklarını kullanmaktadır. Kablosuz M-Bus standardı (EN 13757-4) ise RF teknolojisi kullanarak sayaçların verilerinin okunması için kullanılan ekonomik bir çözümdür. Kablosuz M-Bus standartında 169 MHz, 433 MHz ve 868 MHz frekans bantları kullanılmaktadır [39].

Akıllı sayaç sistemlerinde RF haberleşmesi uygulamasına ait genel görünüm Şekil 2.8'de yer almaktadır.



Şekil 2.8. Akıllı sayaçlarda RF haberleşmesi

RF haberleşme yönteminde her bir sayaç RF haberleşme modülüne sahiptir. Bu sayede sayaçlar genellikle trafoya yerleştirilen RF veri toplayıcı ile çift taraflı olarak haberleşebilmektedir. Yoğun elektrik şebekesinin olduğu bölgelerde RF haberleşmesi bir çözüm olarak kullanılabilir. RF haberleşmenin geniş kapsama alanına sahip olması, elektrik şebekesinde oluşabilecek gürültülerden etkilenmemesi ve işletme maliyetlerinin düşük olması avantajlar arasında yer almaktadır. Aynı zamanda RF haberleşme yöntemi güvenilir bir yapıya sahiptir. Deprem, doğal afet ya da acil durumlarda haberleşme sisteminin ayakta kalması mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra geniş coğrafi alanlarda kapsama alanının düşmesi, sinyal karıştırıcı cihazlardan etkilenilerek girişime maruz kalınması, iletimde kopmalar yaşanabilmesi, kullanılan frekans bandındaki izinler ise dezavantajlar arasında bulunmaktadır.

2.7.5. Zigbee Teknolojisi

Zigbee IEEE 802.15.4 standardı ile tanımlanan düşük güçlü bir kablosuz haberleşme teknolojisidir [40]. Bu yöntemde 868 MHz, 915 MHz ve 2.4 GHz frekans bantlarında haberleşme sağlanabilir. Veri iletim hızı ise 300 kbps seviyelerine ulaşabilmektedir [36]. Zigbee teknolojisinin özellikle ev otomasyonu uygulamalarında kullanımı oldukça yaygındır. HAN katmanında tüketicileri enerji

tasarrufuna yönlendiren ve enerji tüketimlerini izlemelerine olanak sağlayan akıllı priz ürünleri ve ev içindeki çeşitli sensör donanımları Zigbee haberleşme altyapısını kullanmaktadır. Literatürde Zigbee teknolojisinin akıllı sayaç sistemlerinin uzaktan okunmasında kullanımına yönelik yapılan bazı çalışmalar yer almaktadır [41-43].

2.7.6. Wi-Fi Teknolojisi

IEEE 802.11 standartıyla tanımlanan Wi-Fi teknolojisi dünya genelindeki en popüler kablosuz haberleşme teknolojilerinden birisidir. IEEE 802.11 standartının kullandıkları frekans bandı, veri iletim hızı ve kapsama alanlarına bağlı olarak 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n ve 802.11ac gibi çeşitli versiyonları bulunmaktadır. Kapalı alanlarda 30-40 metre, açık alanlarda ise yaklaşık 100 metre kapsama alanına sahip olması ve 54Mbps seviyelerine varan veri iletim hızlarına ulaşabilmesi sayesinde HAN uygulamaları için elverişli bir yöntemdir. Wi-Fi ağlarının günümüzde yaşam alanlarımızda yaygınlaşmasına bağlı olarak Wi-Fi teknolojisini kullanan akıllı cihazların sayısı giderek artmaktadır. Örneğin günümüzde beyaz eşya üreticisi pek çok firma ürünlerine Wi-Fi haberleşme özellikleri kazandırarak kullanıcılara bir mobil uygulama üzerinden kullanım imkanları sunmaktadır. Wi-Fi teknolojisi ile birlikte ilave bir haberleşme altyapısına ya da veri toplayıcı cihazlara gerek duyulmadan sayaçların uzaktan okunabilmesi mümkündür. Bu avantajlarının yanı sıra Wi-Fi ağlarının isim ve şifre bilgilerinin kullanıcılar tarafından değiştirilebilmesi, Wi-Fi ağı üzerinden veri iletimi yapan cihazlara siber saldırılar yapılabilmesi gibi çeşitli dezavantajlar da bulunmaktadır.

2.7.7. WiMAX Teknolojisi

IEEE 802.16 standartındaki WiMAX teknolojisi genel olarak 2.5GHz, 3.5GHz ve 5.5GHz spektrumlarını kullanarak geniş bant veri iletişimi gerçekleştirebilmektedir [44,45]. 50 km'ye varan kapsama alanı ve 70 Mbps seviyelerine varan veri iletim hızıyla birlikte geniş alanlarda oldukça etkinlik sağlanabilir. WiMAX ile birlikte internet erişimi olmayan kırsal alanlarda haberleşme sağlanabilir. Bu teknolojiyle birlikte dağıtım otomasyonu uygulamalarının ve sayaçların uzaktan okunması işlemlerinin önü açılacaktır. Örneğin kırsal yaşam bölgesindeki tüm sayaçların WiMAX iletişimini kullanarak trafoya konumlandırılan veri toplayıcı cihazlarla iletişim kurması senaryoları gerçekleştirilebilir. Bu sayede veri toplayıcı üniteler de veri yönetim merkezi ile çift

yönlü haberleşmeyi sağlayacaktır. Bu kapsamda literatürde bazı çalışmalar yer almaktadır [46,47].

2.8. Haberleşme Protokollerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda, yukarıda detaylı olarak incelenen haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Her bir haberleşme teknolojisi kendi içinde çeşitli avantajları ve dezavantajları bünyesinde barındırmaktadır. Elektrik dağıtım firmaları, akıllı sayaç kurulumu yapacağı bölgenin yapısını ve fiziksel şartlarını göz önünde bulundurarak pilot uygulamalarla mevcut haberleşme teknolojilerinden en uygun olanını tercih ederek kurulumlarını gerçekleştirmektedir. Tablo 2.2’de mevcut haberleşme teknolojileri kendi aralarında avantaj ve dezavantajlarına göre karşılaştırılmıştır [29].

Tablo 2.2. Haberleşme teknolojilerinin kendi aralarında karşılaştırılması

Haberleşme Teknolojisi	Veri İletim Kapasitesi	Kapsama Alanı	Kurulum Maliyeti	İşletme Maliyeti
PLC	+	+	-	+
GSM/GPRS	-	+	+	-
RF	+	-	-	+
PSTN/DSL	+	+	+	-
Wi-Fi	+	+	+	+

Şekil 2.9’da ise haberleşme teknolojileri, akıllı şebekelerde kullanım alanlarına göre kategorize edilmiştir [36].

✓ : Kullanımda

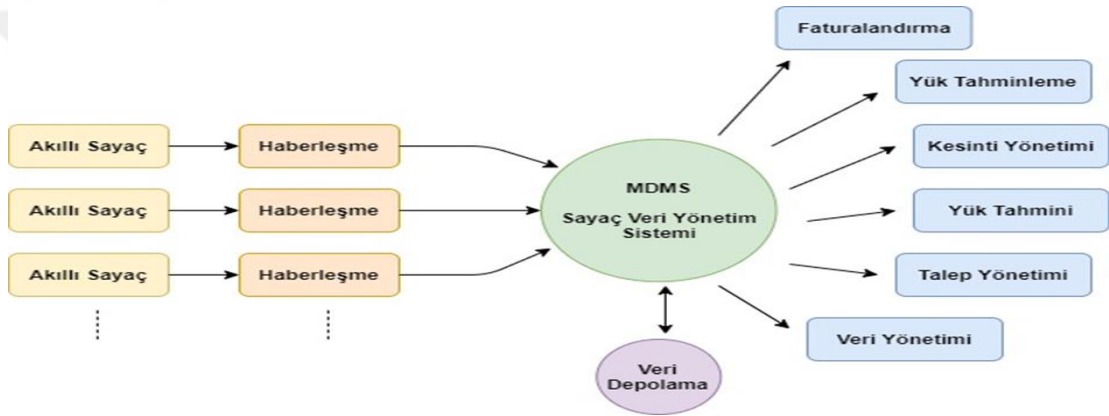
✗ : Henüz kullanımda değil, üzerinde araştırmalar sürmektedir.

Haberleşme Teknolojisi	ÜRETİM		İLETİM		DAĞITIM			MÜŞTERİLER		
	Geleneksel Üretim	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tabanlı Dağıtık Üretim	İletim Hattı İzleme ve Koruma	İzleme ve Kontrol Uygulamaları	Trafo Merkezi Otomasyonu ve Koruma	Dağıtım Hattı İzleme ve Koruma	Ekipman İzleme ve Koruma	Ev Otomasyonu ve Kontrol	Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol	Otomatik Sayaç Okuma Uygulamaları
PLC	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ZigBee	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Wi-Fi	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
WIMAX	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
GSM / GPRS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Şekil 2.9. Haberleşme teknolojilerinin akıllı şebekelerdeki kullanım alanları

2.9. Sayaç Veri Yönetim Sistemleri

Sayaç veri yönetim sistemleri, bir haberleşme yazılımı (Head-End) sayesinde tüm sayaç verilerinin toplanıp işlenmesini, sahadaki veri toplayıcı cihazların ve modemlerin durumlarının detaylı olarak izlenebilmesini ve sayaçların uzaktan yönetilebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede sayaçlardan toplanan verilerin işlenebilmesi, raporlanabilmesi, faturalandırma hizmetleri ve sayaç otomasyonu ihtiyaçları yerine getirilebilmektedir. Head-End yazılımıyla birlikte tüm istatistiksel veriler grafiksel olarak gösterilmektedir. Bu yapıda, kullanıcılar bir web portal arayüzü ile birlikte kendi tüketim verilerini takip edebilmektedir. Aşağıdaki şekilde sayaç veri yönetim sisteminin işlevleri yer almaktadır [28].



Şekil 2.10. Sayaç veri yönetim sistemi yetkinlikleri

2.10. Ülkemizde Akıllı Sayaç Uygulamaları

Ülkemizde OSOS uygulamaları EPDK tarafından yayınlanan yönetmelik ile birlikte 2011 yılından itibaren başlamıştır. Dağıtım firmaları belirli tüketim limitinin üzerinde yer alan aboneleri OSOS kapsamına almışlardır [48]. 31 Aralık 2013 tarihinden itibaren ise sayaç mülkiyetlerinin dağıtım firmalarına ait olması kararlaştırılmıştır [49]. Sayaçların 10 yıllık süreler sonunda kalibrasyonlarının yapılması ya da yenileri ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, damga süresi dolan elektronik sayaçların yerine akıllı sayaçların takılmasıyla ülkemizdeki akıllı sayaç dönüşümünün hızlandırılması öngörülmektedir.

Akıllı sayaç yaygınlaştırma çalışmalarıyla birlikte ülkemizde akıllı sayaç ürünlerinin yerli imkanlarla üretilmesi, yerli ve ulusal çapta bir haberleşme protokolü

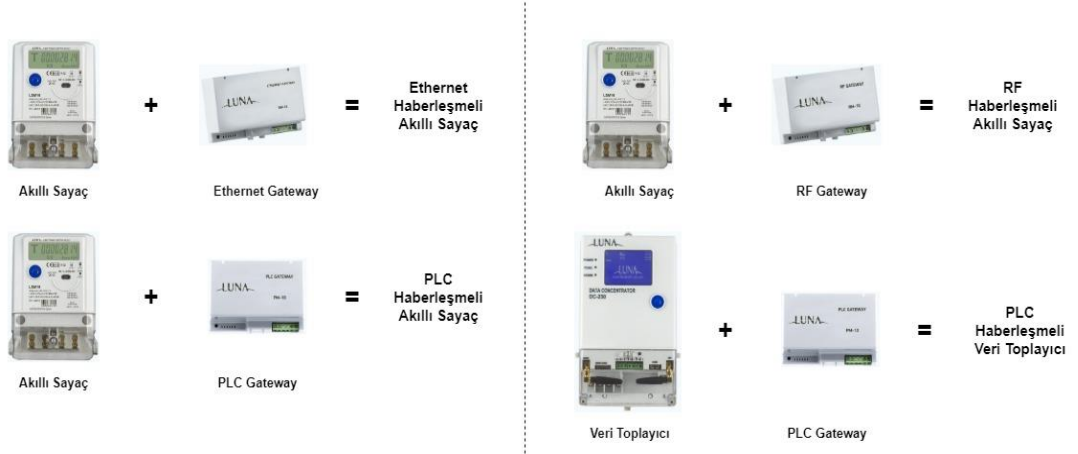
geliştirilmesi gibi hedefler ortaya konmuştur. 2035 yılına kadar elektrik abonelerinin en az %80'inin akıllı sayaç kullanımına geçişinin sağlanması ve kayıp-kaçak enerji kullanımının %8 seviyelerine düşürülmesi hedeflenmiştir [25].

Ülkemizde akıllı sayaçlarla ilgili pilot uygulamalar sürdürülmektedir. Akıllı sayaç topolojisinde yer alan sayaç ve haberleşme ünitelerinin sahip olduğu özellikler Şekil 2.11'de yer almaktadır [50].



Şekil 2.11. Akıllı sayaç ve haberleşme ünitelerinin sahip olduğu özellikler

Yukarıdaki şekilde görüleceği üzere, veri toplayıcıları ve gateway cihazları haberleşme için büyük öneme sahiptir. Gateway cihazlarının tak-çıkartılabilir yapıda kolayca monte edilebilme özellikleriyle birlikte, sayaçlara, modemlere ve veri toplama ünitelerine daha farklı haberleşme protokolünde iletişim kurabilme özelliği kazandırılmaktadır. Şekil 2.12'de buna ait bir örnek verilmiştir [51].



Şekil 2.12. Haberleşme modülleri

2.11. Avrupa Birliği Ülkelerinde Akıllı Sayaç Uygulamaları

Avrupa birliği konseyi tarafında 2009 yılında yayınlanan 2009/72/EC elektrik direktifiyle birlikte enerji verimliliğinin sağlanmasında kritik öneme sahip akıllı sayaçların kullanımlarının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Bu kapsamda fayda maliyet analizleri gerçekleştirilerek akıllı sayaçlarla ilgili uygulamalar halen devam etmektedir. Tablo 2.3’de Avrupa birliği ülkelerindeki mevcut akıllı sayaç adetleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Avrupa Birliği ÷lkelerindeki akıllı sayaç kullanım oranları [52]

÷lkeler	Mevcut Sayaç Sayısı	2018 itibariyle Toplam Kurulu Akıllı Sayaç Sayısı	2017 yılında Kurulmuş Yapılan Akıllı Sayaç Sayısı	2018 itibariyle Akıllı Sayaçların Oranı	2017 yılında Kurulmuş Yapılan Akıllı Sayaçların Oranı
Avusturya	6,148,094	728,477	214,671	%11.8	%3.5
Belçika	5,975,000				
Bulgaristan	4,700,000				
Hırvatistan	2,424,060	55,000	23,000	%2.3	%0.9
Kıbrıs	546,500	0	0	%0	-
Çek Cumhuriyeti	5,712,550				
Danimarka	3,361,816	2,324,439	2,324,439	%69.1	-
Estonya	707,900	700,000	5,752	%98.9	%0.8
Finlandiya	3,557,500	3,551,500	0	%99.8	-
Fransa	40,743,844	9,045,000	6,257,000	%22.2	%15.4
Almanya	50,700,000	0	0	%0	-
Yunanistan	7,485,000	195,000	50,000	%2.6	%0.7
Macaristan	7,500,000	75,000	0	%1.0	-
İrlanda	2,200,000				
İtalya	36,789,000	36,237,165	0	%98.5	-
Letonya	981,633	356,358	112,430	%36.3	%11.5
Litvanya	1,722,925	40,687	3,915	%2.4	-
Lüksemburg	300,499	75,847	75,847	%25.2	%25.2
Malta	317,747	309,287	15,634	%97.3	%4.9
Hollanda	8,600,000	4,000,000	1,114,000	%46.5	%13
Polonya	17,719,000	1,469,661	62,800	%8.3	%0.4
Portekiz	6,000,000	1,500,000	600,000	%25.0	%10
Romanya	9,237,788	442,206	159,618	%4.8	%1.7
Slovakya	2,513,743	127,325	50,458	%5.1	%2.0
Slovenya	935,333	544,332	65,028	%58.2	%7.0
İspanya	28,000,000	26,067,500	5,000,000	%93.1	%17.9
İsveç	5,300,000	5,300,000	0	%100.0	-
Birleşik Krallık	29,807,531	5,935,202	2,759,082	%19.9	%9.3
TOPLAM	289,987,463	99,079,986	18,893,674	%34.2	%6.5

İleriye dönük hedefler arasında ise, 2024 yılına kadar 243 milyon akıllı sayaca ulaşılarak toplamda %83.97 oranında akıllı sayaç kullanım oranına ulaşılmaması hedeflenmektedir. Aynı şekilde 2030 yılına kadar 266 milyon akıllı sayaca ulaşılarak toplamda %91.57 oranında akıllı sayaç kullanımına erişilmesi amaçlanmaktadır [52].

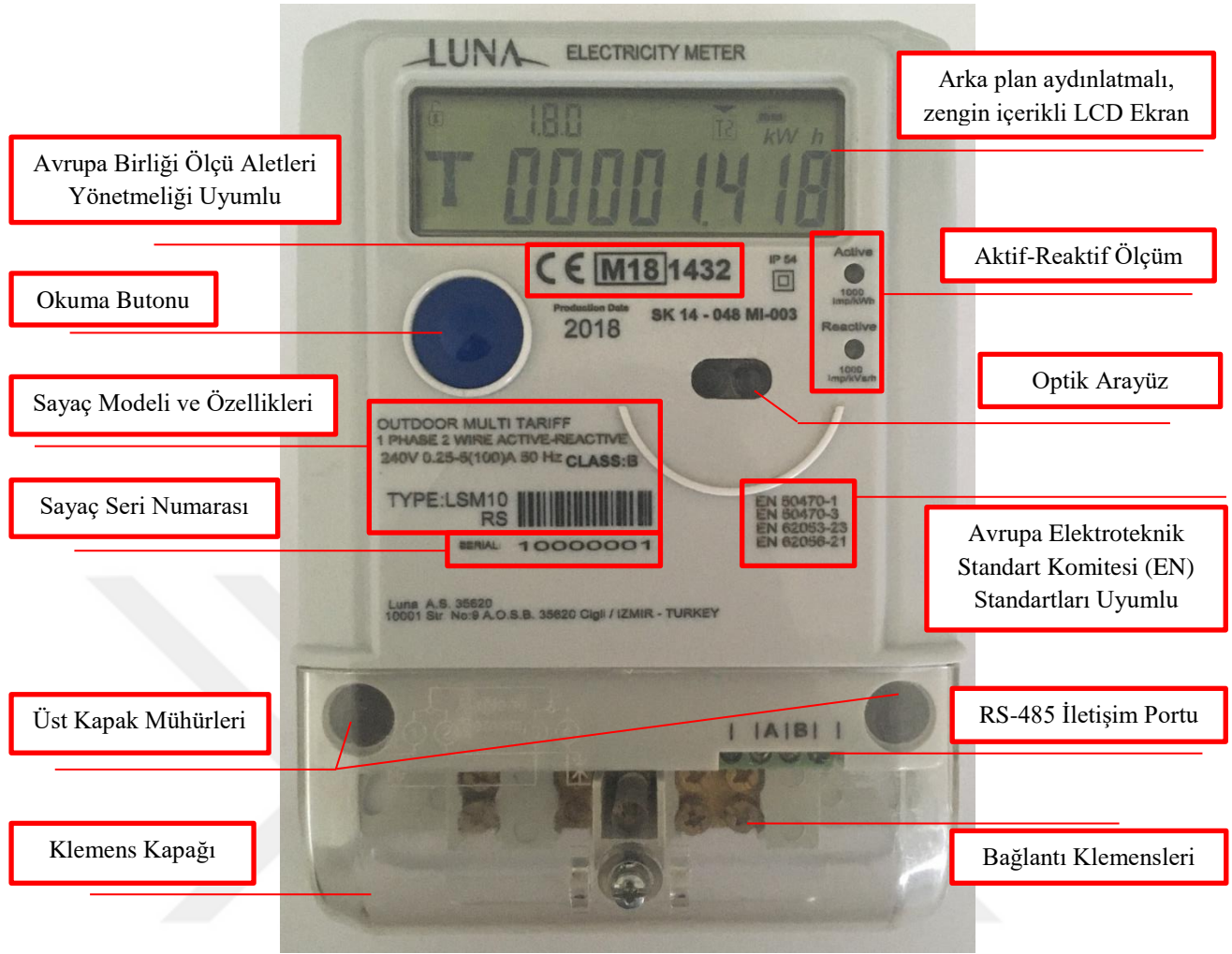
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu tez kapsamında Wi-Fi haberleşme yeteneğine sahip bir akıllı elektrik sayacı ile elektrikli ev aletlerinin tüketim bilgilerini ölçebilen ve aynı zamanda uzaktan yönetilebilen akıllı enerji ölçüm modülleri geliştirilmiştir. Kullanıcılar için geliştirilen mobil uygulama sayesinde hem akıllı sayacın hem de akıllı enerji ölçüm modüllerinin verileri anlık ve geçmişe yönelik olarak takip edilmiştir.

Bu bölümde öncelikle akıllı sayaçta kullanılan Wi-Fi modülü ve konfigürasyon arayüzü ile haberleşme algoritmaları tanıtılmış, geliştirilen akıllı enerji ölçüm modüllerinin tasarımı ve çalışma algoritmaları ile geliştirilen mobil uygulama hakkında bilgilere yer verilmiştir.

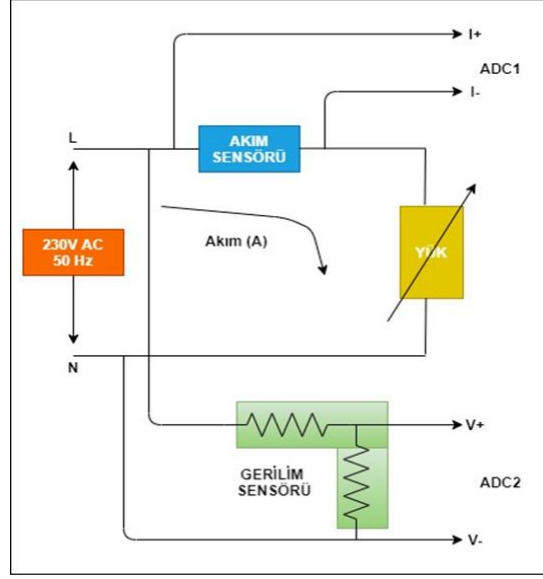
3.1. Akıllı Sayaç

Bu tez çalışmasında Luna Elektrik Elektronik San.Tic.A.Ş. firmasının RS-485 haberleşme portuna sahip LSM10 tipinde bir akıllı elektronik elektrik sayacı kullanılmıştır [51]. Kullanılan akıllı sayaç ve üzerinde yer alan bilgilere ait açıklamalar Şekil 3.1’de verilmiştir. Akıllı sayaç, TEDAŞ tarafından yayınlanan Elektronik Elektrik Sayaçları Teknik Şartnamesindeki ilgili standartlara [53] ve 2014/32/AB ile tanımlanan Ölçü Aletleri Yönetmeliği’ne uyumludur [54]. Tüm elektronik elektrik sayaçlarının kalite kontrolü ve kalibrasyon işlemlerinin sonrasında üst kapakları mühürlenmektedir. Bunun yanı sıra sayaca yapılacak yetkisiz müdahalelerin önlenmesi amacıyla dağıtım şirketi yetkilileri tarafından sayaçların klemens kapaklarına mühür takılabilmektedir.

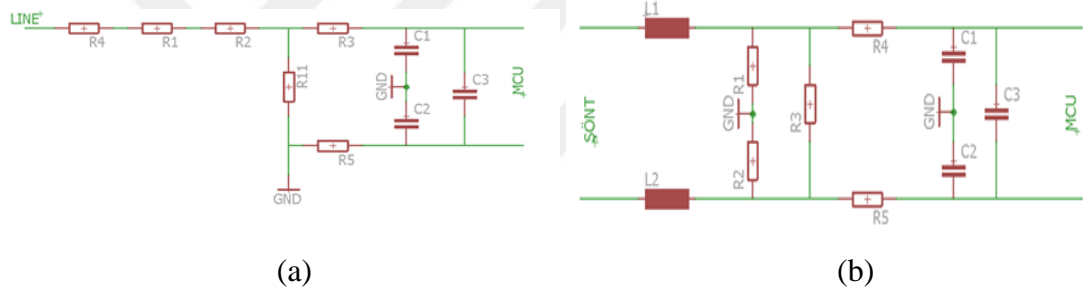


Şekil 3.1. LSM10 akıllı sayaç

Elektronik elektrik sayaçlarının ölçüm katlarının tipik olarak bağlantıları Şekil 3.2’de verilmiştir. Sayaç devresinde gerilim ölçümü gerilim bölücü dirençler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.3.(a)’da gösterildiği gibi 230VAC seviyelerinde olan giriş gerilimi mV mertebelerine düşürülmektedir. Mikroişlemci bu gerilim değerini kazanç sabitleriyle çarparak ölçüm işlemini gerçekleştirmektedir. Akım ölçüm işlemi ise şönt direnç vasıtasıyla yapılmaktadır. Geçen akım, gerilim sinyaline çevrilir. Elde edilen gerilim ise MCU’ya gitmeden önce Şekil 3.3.(b)’de gösterilen filtre devresinden geçmektedir. MCU’ya giren mV seviyelerindeki akım sinyali belirli kazanç sabitiyle çarpılarak akım değeri olarak ölçülmektedir [55]. Sayaçta nötr akımının ölçülmesi için de ayrı bir ölçüm katmanı yer almaktadır.



Şekil 3.2. Elektronik elektrik sayaçları tipik ölçüm yapısı



Şekil 3.3. Akıllı sayaç gerilim ölçümü (a) ve akım ölçümü (b) devreleri

3.1.1. Akıllı Sayaç Gerilim ve Akım Ölçümleri

Akıllı sayaçta gerilim ve akım ölçümleri belirli bir sayıda örnekleme alınarak gerçekleştirilmektedir. Akıllı sayaçtaki örnekleme hızı 4096 Hz'dir. MCU'nun akım-gerilim ölçümü aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır [55].

$$V_{RMS} = K_v * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{sample} v^2(n)}{sample\ count}} \quad (3.1)$$

$$I_{RMS} = K_i * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{sample} i^2(n)}{sample\ count}} \quad (3.2)$$

Burada;

I_{RMS} = Yük akımının RMS değeri

V_{RMS} = Gerilimin RMS değeri

K_i = Akımın kazanç çarpanı

K_v = Gerilimin kazanç çarpanı

Sample Count = 1 saniyede örneklenen sinyal sayısı

$I(n)$ = 1 saniyedeki n. akım değeri

$V(n)$ = 1 saniyedeki n. gerilim değeri'ni ifade etmektedir.

3.1.2. Akıllı Sayaç Aktif ve Reaktif Güç Ölçümleri

Aktif ve reaktif güçler, ölçülen akım ve gerilim örneklemelelerinden yola çıkılarak aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır [55].

$$P_{ACT} = K_p * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{sample\ count} v(n)*i(n)}{sample\ count}} \quad (3.3)$$

$$P_{REACT} = K_p * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{sample\ count} v_{90}(n)*i(n)}{sample\ count}} \quad (3.4)$$

Burada;

P_{ACT} = Aktif güç değeri

P_{REACT} = Reaktif güç değeri

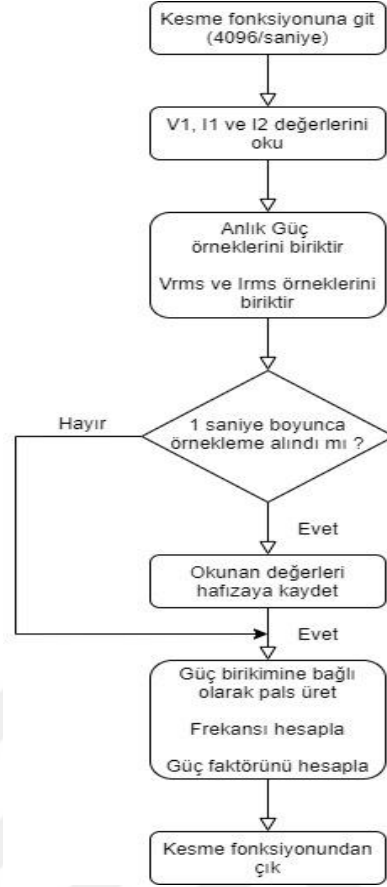
K_p = Güç için kazanç çarpanı

Sample Count = 1 saniyede örneklenen sinyal sayısı

$v_{(90)}$ = Örneklenen gerilim sinyalinin 90 derece ötelenmiş değerini ifade etmektedir.

3.1.3. Akıllı Sayaç Ölçümleri Akış Diyagramı

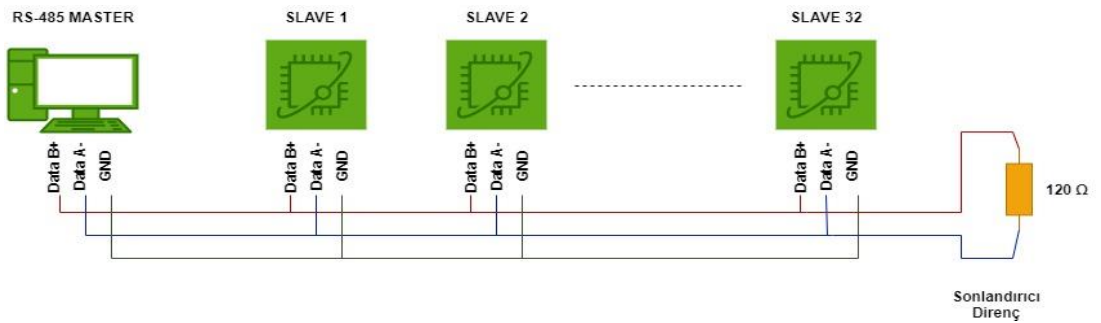
Akıllı sayaç akım ve gerilim ölçümlerini, 4096 Hz örnekleme hızı ile kesme fonksiyonlarına giderek gerçekleştirmektedir. Her bir kesme fonksiyonunda okunan değerler biriktirilir. 1 saniyede toplam 4096 örnek alındığında bu değerler kullanılarak V_{RMS} , I_{RMS} , güç ve enerji değerleri hesaplanır ve sayacın hafızasına kaydedilir. Bu işleyiş yapısının akış diyagramı Şekil 3.4'te yer almaktadır [55].



Şekil 3.4. Akıllı sayaç enerji ölçümü akış diyagramı

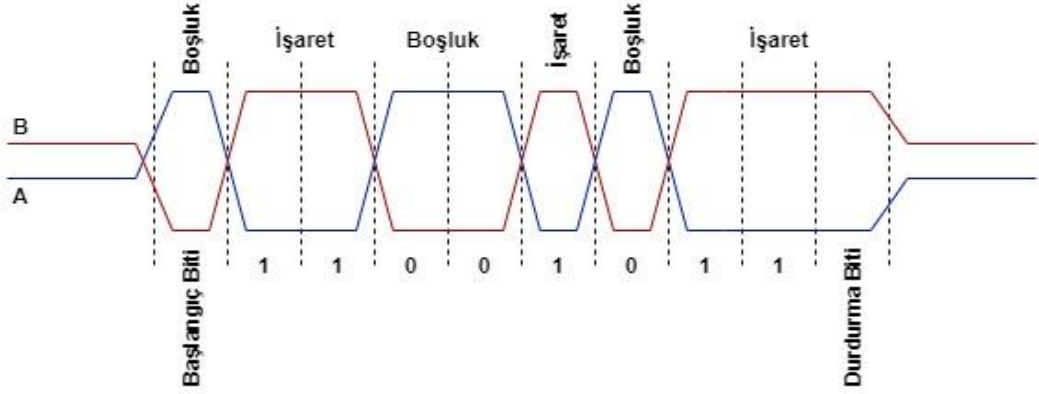
3.1.4. RS-485 Haberleşmesi

RS-485 ya da bilinen diğer adıyla EIA485 (Electronic Industries Alliance) seri haberleşme sistemlerinde kullanılan bir standarttır. RS-485 haberleşmesinde düşük mesafelerde 10Mbps veri iletim hızlarına ulaşılabilir. Düşük veri iletim hızlarında ise 1200m'ye varan mesafelerde iletişim sağlanabilmektedir [56]. Şekil 3.5'te RS-485 iletişimi yapan cihazlar arasındaki bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 3.5. RS-485 haberleşmesi

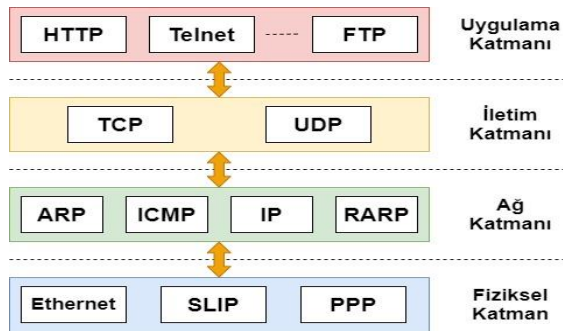
RS-485 haberleşme yönteminde master yapıdaki tek bir ana sürücü cihaza 32 adete kadar slave yapıdaki alıcı cihaz bağlanabilmektedir. İletişimin sona erdiği noktaya sonlandırıcı direnç takılarak iletişim sonlandırılır. RS-485 haberleşmesindeki veri iletimi Şekil 3.6’da verilen şemada görülmektedir.



Şekil 3.6. RS-485 iletişimi örnek karakter çerçevesi

3.2. TCP/IP Protokolü

TCP/IP protokolü, üst katmanında TCP (Transmission Control Protocol), alt katmanında ise IP (İnternet Protokolü) barındıran kurallar dizisini ifade etmektedir. TCP katmanı verilerin paketlere ayrılarak hedef adrese iletilmesini ve hedef adreste yeniden birleştirilerek alınmasını sağlamaktadır. IP katmanı ise verileri taşıyan paketlerin istenilen ağ adresine yönlendirilmesinden sorumludur [57]. TCP/IP protokolü fiziksel katmanı, ağ katmanı, iletim katmanı ve uygulama katmanı olmak üzere 4 temel katmandan oluşmaktadır. Şekil 3.7’de TCP/IP protokolü yapısı verilmiştir [58].



Şekil 3.7. TCP/IP protokolü yapısı

3.2.1. TCP/IP Uygulama Katmanı ve Port Yönlendirmesi

TCP/IP yapısının uygulama katmanında, kullanılan verilerin formatına göre farklı protokoller görev yapabilmektedir. Uygulama katmanındaki her bir protokol, iletim katmanı ile belirli portlar üzerinden iletişim sağlamaktadır. Tablo 3.1’de bu protokollerin bazılarına yer verilmiştir.

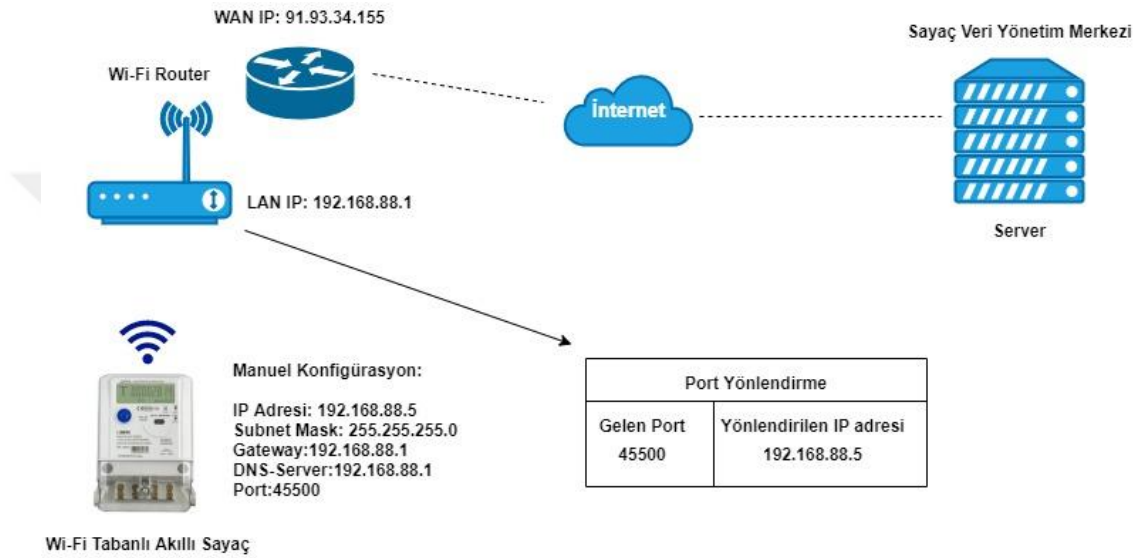
Tablo 3.1. TCP/IP Uygulama katmanında yer alan bazı protokoller

Protokol İsmi	Görevi	Tanımlanan Port
File Transfer Protocol (FTP)	Dosya alma ve gönderme işlemlerini sağlar.	21
TELNET protokolü	İnternet ağındaki bir makinaya uzaktan bağlantı kurulmasını ve giriş yapılmasını sağlar.	23
Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)	Elektronik posta iletişimini sağlar.	25
Hyper Text Transfer Protocol (HTTP)	Ağ üzerinden internet sayfalarının görüntülenmesini sağlar.	80

Belirli protokoller için tanımlanmış olan bu portlar dışındaki portlar ise kullanıcılar tarafından TCP/IP haberleşmesi yapılabilmesi amacıyla kullanılabilir. TCP/IP haberleşmesinde, sunucu ve istemci yapısında farklı cihazlar arasında TCP soketleriyle iletişim kurulur. Bir TCP soket IP adresi ve port bilgilerinden oluşmaktadır.

Yerel alan ağında yer alan bir bilgisayara ya da cihaza geniş alan ağı üzerindeki başka bilgisayarlar ya da cihazlar tarafından erişim sağlanabilmesi için NAT (Network Address Translation) yöntemi kullanılmaktadır [57]. Günümüzde kullanılan IPv4 adresleme yönteminde her bir cihazın kendi IP adresi ile internete açılması mümkün olmadığından, alternatif bir çözüm olarak NAT yöntemi geliştirilmiştir. NAT yönteminde, cihazlarımız bağlı oldukları yönlendirici modemler vasıtasıyla internet erişimine kavuşmaktadır. Yönlendirici modeme bağlı olan her bir cihaza yerel alan ağında farklı bir IP adresi atanmasına rağmen cihazları internete çıkaran IP adresi yönlendirici modemin WAN IP adresidir. IoT teknolojileriyle birlikte günümüzde internete bağlanan cihazların sayısı katlanarak artmaktadır. İlerleyen yıllarda IPv6 adresleme yöntemine geçilmesiyle birlikte her bir cihazın kendi IP adresi ile internete erişimi mümkün hale gelebilecektir.

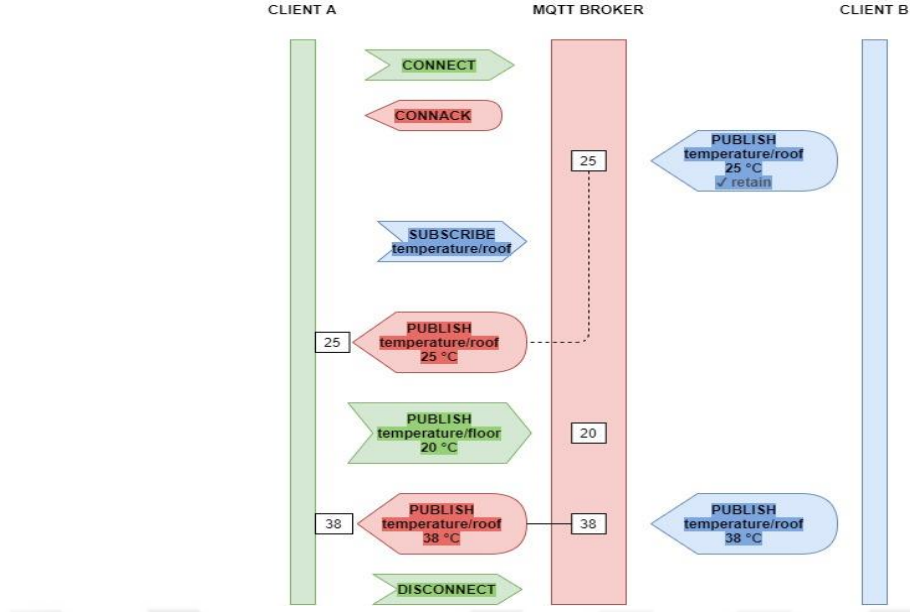
Mevcut durumdaki NAT yöntemi baz alındığında, bu tez çalışmasında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacının TCP/IP protokolü ile uzaktan okunabilmesi ve yönetilebilmesi için sayacın bağlı olduğu Wi-Fi modemde manuel olarak port yönlendirilmesi yapılması gerekmektedir. Böylece Wi-Fi modeme yönlendirme yapılan porttan gelen verilerin akıllı sayaca yönlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu tez kapsamında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı sayacın uzaktan okunmasına dair şematik gösterim Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Wi-Fi modemde port yönlendirmesi yapılması

3.3. MQTT Protokolü

MQTT protokolü, nesnelerin interneti kapsamında makinalar arasında iletişimi sağlayan mesaj tabanlı bir protokoldür. Bu protokolle birlikte TCP/IP bağlantısı kullanarak publish (yayın) - subscriber (abone) yapısında iletişim kurulmaktadır [59]. Haberleşmenin sağlanmasında client (istemci) ve broker olmak üzere iki ana bileşen görev almaktadır. Elektronik cihazlar, mobil uygulamalar ya da web tabanlı uygulamalar ile MQTT istemci yapısında paylaşımlar yapılabilmektedir. MQTT broker ise sistemdeki MQTT istemcisi yapısındaki cihazların paylaşımlarının toplanması ve belirli kurallar çerçevesinde cihazlar arasında iletilmesini sağlayan bir bulut platformudur. Şekil 3.9’da MQTT protokolünün çalışma yapısı yer almaktadır [60].



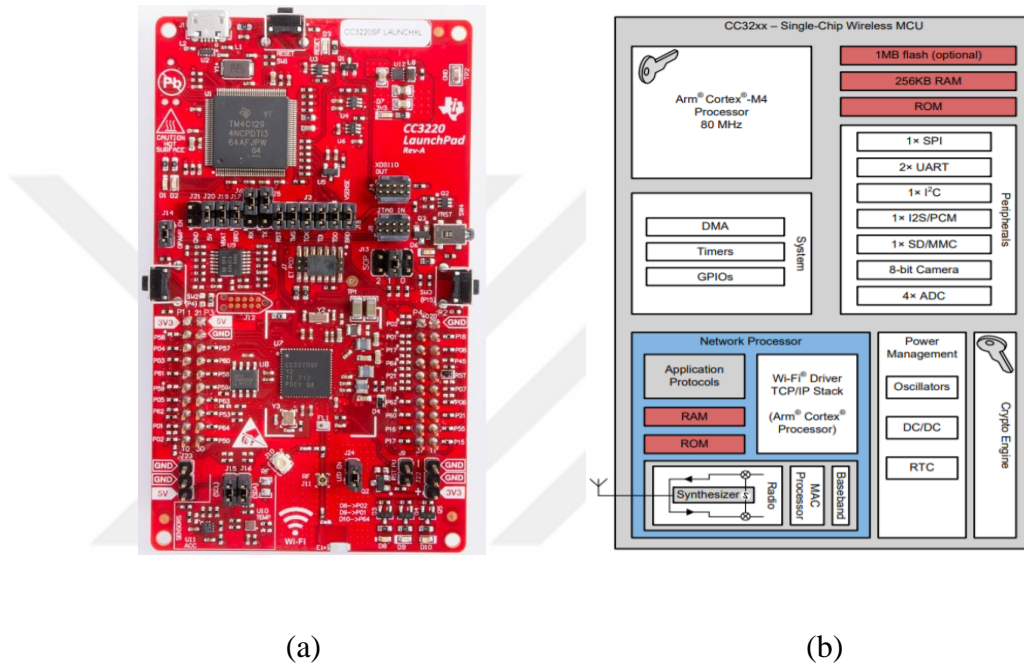
Şekil 3.9. MQTT protokolü çalışma yapısı

Yukarıdaki şekilde yer alan sistemde MQTT broker ve iki adet MQTT istemcisi yer almaktadır. Haberleşme akışına bakıldığında, öncelikle A istemcisinin MQTT broker'a bağlantı sağladığı görülmektedir. Akabinde ise A istemcisi, B istemcisinin paylaşım yaptığı konuya abone olarak bu konu üzerinde yapılan paylaşımlara erişim sağlamıştır. Bu yapı kullanılarak bir bulut sistemi üzerinden çok sayıda cihazın birbirleriyle haberleşmesi mümkün olmaktadır.

Günümüzde AWS, Azure ve Google Cloud Platform başta olmak üzere çok sayıda bulut bilişim hizmeti veren firma MQTT protokolünü desteklemektedir. Eclipse Vakfı'nın 2019 yılı IoT anketi sonuçlarına göre MQTT protokolü nesnelerin interneti projelerinde en çok kullanılan iletişim protokollerinden biri olmuştur. Aynı anket sonuçlarına göre, Wi-Fi teknolojisi günümüzde nesnelerin interneti projelerinde en yaygın kullanılan bağlantı protokolleri arasında yer almaktadır [61]. Bu tezde geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacının ve akıllı enerji ölçüm modüllerinin bir mobil uygulama ile takip edilebilmesi ve yönetilebilmesi için MQTT protokolü kullanılmıştır.

3.4. Texas Instruments CC3220SF Wifi Geliştirme Kartı

Bu tez çalışması kapsamında akıllı sayaç verilerinin RS-485 portundan dinlenerek Wi-Fi üzerinden çift yönlü haberleşmenin sağlanması amacıyla Texas Instruments firmasının SimpleLink™ Wi-Fi® CC3220SF wireless microcontroller LaunchPad™ geliştirme kartı kullanılmıştır. Bu geliştirme kartı üzerinde Arm® Cortex®-M4 çekirdeğine ve 80 MHz çalışma frekansına sahip tek çipli wireless MCU bulunmaktadır. Şekil 3.10'da bu geliştirme kartına ait görsel yer almaktadır [62].



Şekil 3.10. CC3220SF geliştirme kartı (a) ve donanımına ait genel görünüm (b)

CC3220SF Wi-Fi geliştirme kartı, aşağıdaki özellikleri bünyesinde barındırmaktadır [62]:

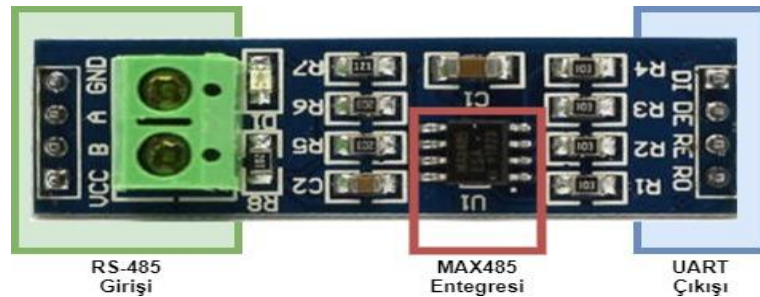
- 256 KB RAM
- 1 MB Flash hafıza
- IEEE 802.11b/g/n Station çalışma modları
- IEEE 802.11b/g Access Point (AP) çalışma modları
- WPA2 kişisel ve kurumsal Güvenlik yapısı: WEP, WPA™ / WPA2™ PSK, WPA2 kurumsal (802.1 x)
- IPv4 ve IPv6 TCP/IP Stack yapısı
- Eş zamanlı olarak 16 adet TCP veya UDP soketiyle iletişim kurabilme

- Eş zamanlı olarak 6 adet TLS veya SSL güvenli soketiyle iletişim kurabilme
- Statik ve Dinamik IP adresleme yapısı
- Gelişmiş IoT ağ güvenliği
- Yazılım IP koruması ve güvenli depolama
- Gelişmiş düşük güç tüketim modları

Günümüzde kablosuz haberleşmede güvenliğin sağlanabilmesi için sıklıkla kriptolu veri alışverişi tercih edilmektedir. CC3220SF Wi-Fi modülü gelişmiş güvenlik önlemlerini sağlayabilmesi amacıyla bünyesinde donanım kripto motoru barındırmaktadır. Bu sayede uluslararası kriptolama metotları olan AES, DES, 3DES, SHA2, MD5 ve CRC gibi kriptolama yöntemleri çok hızlı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Yazılım IP koruması özelliği sayesinde yazılıma yapılacak dış müdahalelerin algılanması, yazılımın klonlanmasına karşı koruma, dosya sistemi güvenliği ve Wi-Fi modülüne kaydedilen kişisel Wi-Fi ağı bilgilerinin güvenli bir şekilde depolanması sağlanır. Ayrıca bu modül, özellikle batarya ile çalışan uygulamalar için oldukça önemli olan düşük güç tüketimi yeteneklerine sahiptir.

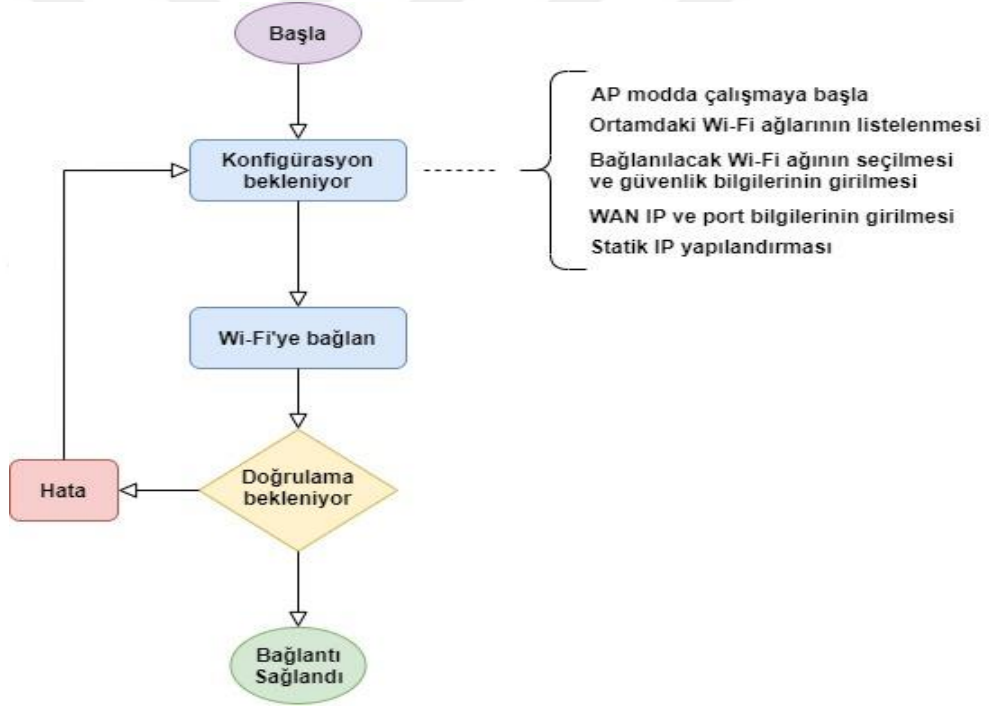
Akıllı sayaç verilerinin CC3220SF Wi-Fi geliştirme kartı ile RS-485 portu üzerinden dinlenebilmesi için RS485-TTL UART dönüştürücü kullanılmıştır. Bu dönüştürücü RS-485 iletişimi için kullanılan düşük güç tüketimine sahip MAX485 entegresini bünyesinde barındırır. Bu modül ile birlikte 2.5 Mbps seviyelerine varan iletim hızlarında veri alışverişi sağlanabilmektedir. Şekil 3.11’de RS485-TTL UART dönüştürücüye ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.11. RS485-TTL Uart Dönüştürücü

3.4.1. Akıllı Sayaç Wi-Fi Konfigürasyonu

Akıllı sayacın ortamdaki Wi-Fi ağına bağlanabilmesi ve manuel olarak Wi-Fi konfigürasyonlarının yapılabilmesi için AP (Access Point) mod konfigürasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile Wi-Fi modülü çalışmasına bir modem olarak başlayarak kendi Wi-Fi ağını kurmaktadır. Akabinde herhangi bir mobil cihaz ile bu ağa bağlanıldığında Wi-Fi modülünün sunmuş olduğu konfigürasyon sayfalarına erişim sağlanarak konfigürasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu konfigürasyon sayfaları JavaScript, HTML ve CSS dillerinde hazırlanarak Wi-Fi modülünün flash hafızasına kaydedilmiştir. Bu sayede kullanıcıya interaktif bir arayüz sunulmuştur. İlgili konfigürasyon sayfaları bu tez çalışmasının 4. kısmı olan araştırma bulguları ve tartışma bölümünde detaylı olarak verilmiştir. Şekil 3.12’de konfigürasyon işlemine ait blok diyagramı yer almaktadır.



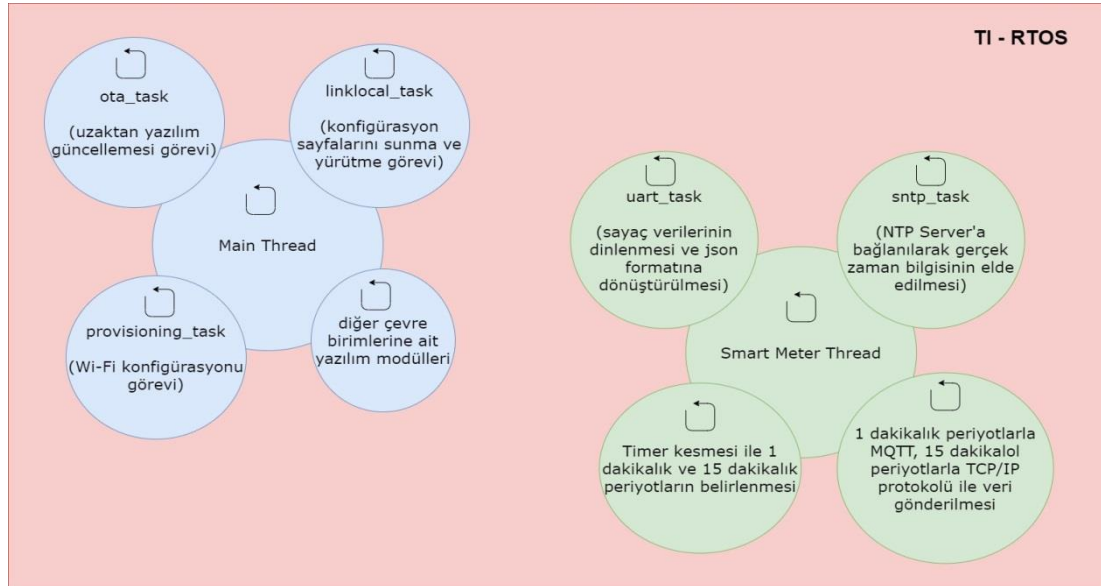
Şekil 3.12. Akıllı sayaç Wi-Fi konfigürasyonu

3.4.2. Akıllı Sayaç Verilerinin Okunması ve Haberleşme Algoritması

Günümüzde gömülü sistemlerde yaygın olarak gerçek zamanlı işletim sistemleri (RTOS) kullanılmaya başlanmıştır. RTOS olarak ticari amaçlı ya da açık kaynak yapıda pek çok gerçek zamanlı işletim sistemi mevcuttur. RTOS, gerçek

zamanlı uygulamalar için geliştirilen ve çok sayıda görevi yerine getirebilen bir mekanizmadır. RTOS'ta thread olarak isimlendirilen yapılar sayesinde birden fazla yazılım modülü eş zamanlı olarak çalışabilmektedir. Bu sayede yazılım modülleri arasında senkronizasyon sağlanması, kesme ve olay yönetimleri, iç görevler arasında haberleşmenin sağlanması ve bellek yönetimi gibi kabiliyetlerle çok daha gelişmiş düzeyde ve yüksek performanslı uygulamalar oluşturulabilmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan CC3220SF Wi-Fi modülü TI-RTOS mekanizmasıyla programlanmıştır. Bu sayede aynı anda hem akıllı sayaç verilerinin dinlenmesi, hem kullanıcı konfigürasyon sayfalarının sunulması, hem de çeşitli yazılım modüllerinin kendi görevlerini eş zamanlı olarak yürütmesi mümkün olmaktadır.

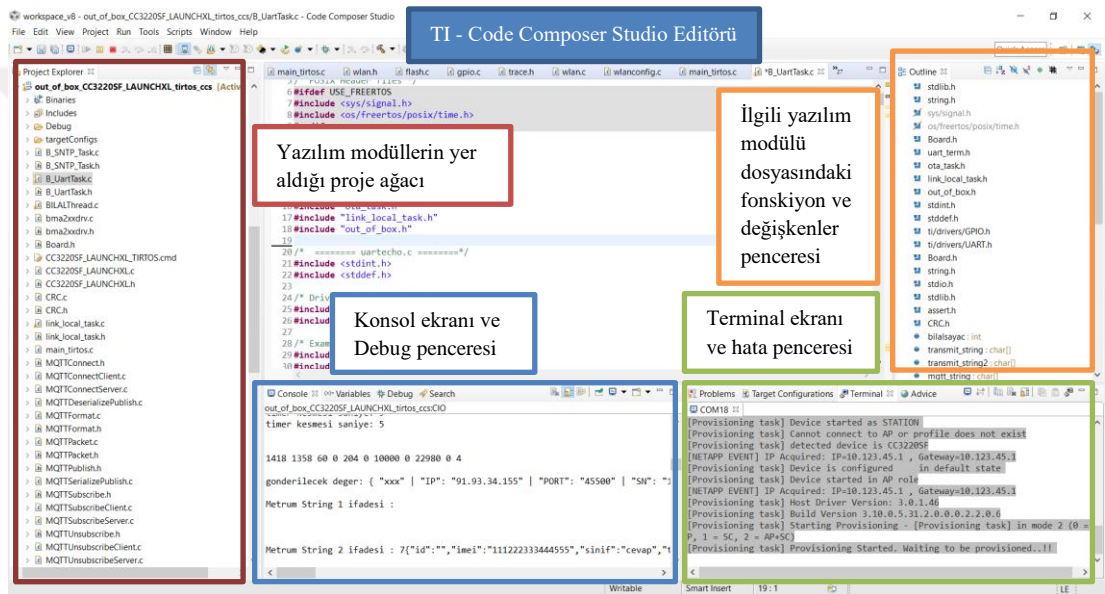
Akıllı sayaç verileri RS-485 portu üzerinden 9600 baudrate hız, 7 data biti, 1 parity biti ve 1 stop biti yapılandırmasıyla birlikte Wi-Fi modülünün UART çevre birimi ile dinlenmiştir. Tasarlanan sistemde sayaç verileri 15 dakikalık periyotlarla TCP/IP haberleşmesi kullanılarak bir sunucuya aktarılmıştır. Ayrıca 1 dakikalık periyotlarla MQTT haberleşmesiyle paylaşım yapılmakta ve kullanıcı mobil uygulamasıyla akıllı sayaç verileri takip edilebilmektedir. Şekil 3.13'de bu kapsamda geliştirilen yazılım mimarisine yer verilmiştir.



Şekil 3.13. TI-RTOS mimarisi ile geliştirilen yazılım diyagramı

Geliştirilen sistemde Network Time Protocol (NTP) kullanılarak gerçek zaman ve tarih bilgisi elde edilmektedir. Bu sayede Wi-Fi tabanlı akıllı sayaçların tarih ve saat bilgilerinin dışarıdan bir emir verilmeksizin otomatik olarak güncellenebilmesi mümkün hale gelecektir.

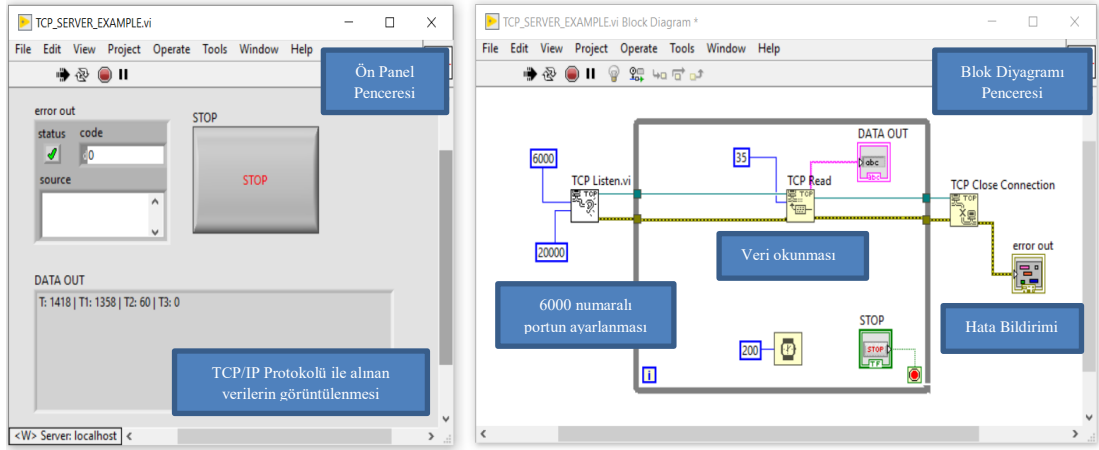
CC3220SF Wi-Fi modülüne ait yazılım Code Composer Studio editörü kullanılarak C dilinde gerçekleştirilmiştir. Code Composer Studio editörü kullanılarak Texas Instruments firmasının mikrodenetleyici ürünleri programlanabilmektedir. Şekil 3.14'te bu editöre ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.14. Code Composer Studio editörü

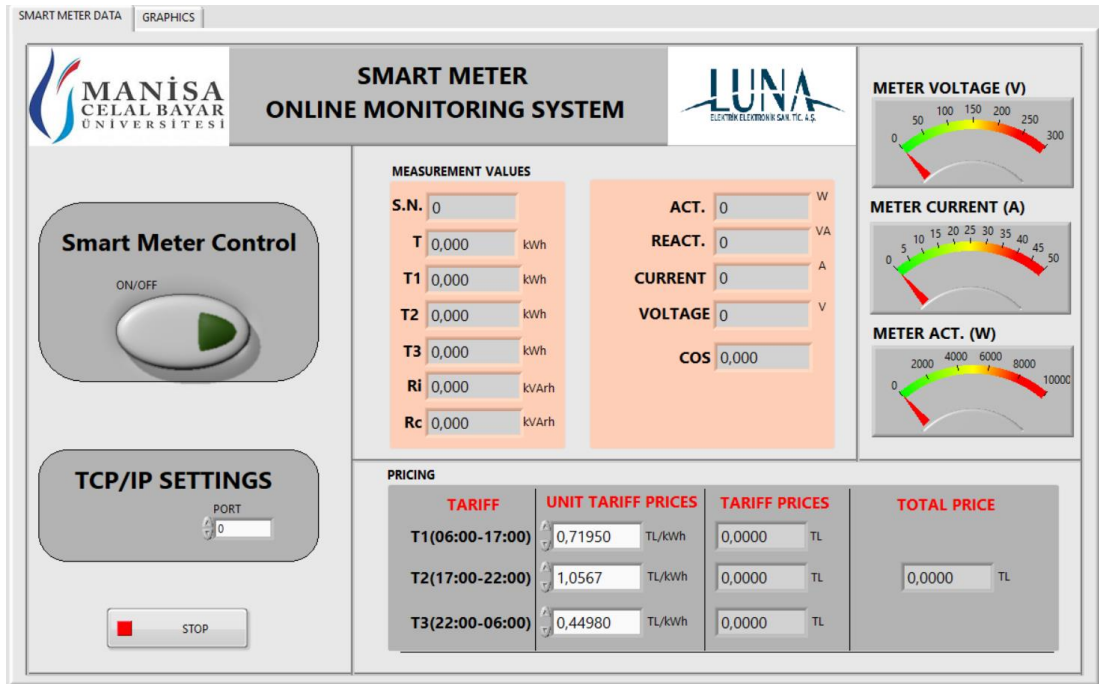
3.5. LabVIEW™ Ortamında TCP Server Oluşturulması

Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacı verilerinin TCP/IP protokolü ile iletilmesi ve grafiksel olarak izlenebilmesi amacıyla NI LabVIEW™ programında bir arayüz geliştirilmiştir. Geliştirilen bu arayüz, sayaç verilerinin uzaktan okunabilmesini sağlayan bir server yapısını temsil etmektedir. NI LabVIEW™ programı test, ölçme ve kontrol sistemleri geliştirilmesi amacıyla kullanılan grafiksel programlama arabirimidir. NI LabVIEW™ programı ön panel kısmında tasarlanan arayüz, blok diyagramı kısmında ise programın oluşturduğu fonksiyon blokları yer almaktadır. LabVIEW™ programında TCP/IP protokolü ile veri alınmasını sağlayan örnek bir blok diyagramı ve görsel arayüz Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. LabVIEW ortamında TCP server oluşturulması örneği

Şekil 3.16’da ise akıllı sayaç verilerinin TCP/IP protokolü ile okunabilmesi amacıyla NI LabVIEW™ programında geliştirilen arayüz yer almaktadır. Bu arayüz sayesinde, sayaca ait anlık akım, gerilim, aktif-reaktif güç değerleri, aktif - reaktif tüketim ile güç katsayısı değerlerinin hem nümerik hem de grafiksel olarak görüntülenmesi, Microsoft Excel formatında raporlanması ve enerji tarif dilimlerine göre fiyatlandırılması yapılmıştır.

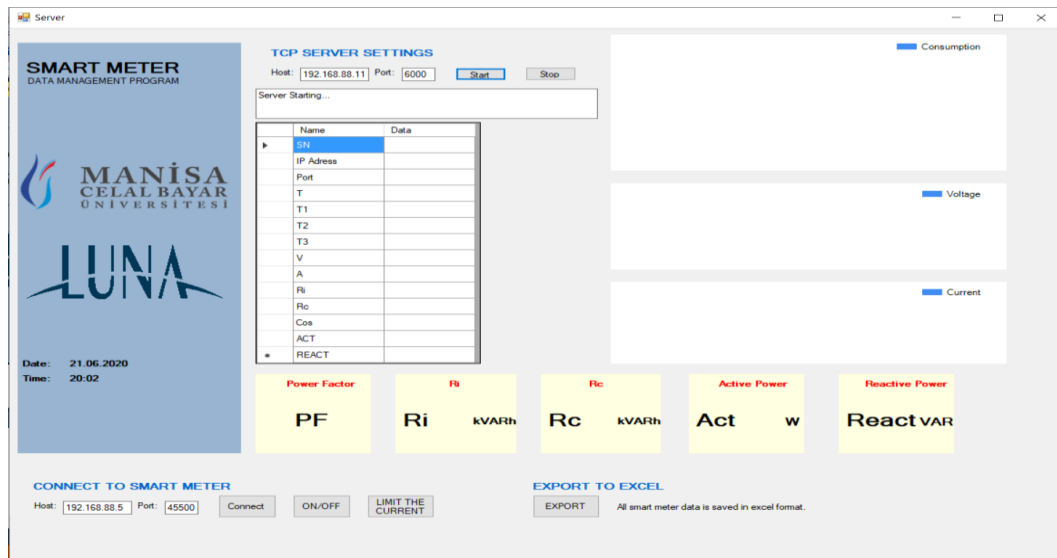


Şekil 3.16. LabVIEW ortamında hazırlanan online takip arayüzü

3.6. C# Ortamında TCP Server Oluşturulması

Microsoft tarafından geliştirilen C#, nesneye yönelik programlama dilidir. Bu programlama dili ile web servislerinin yazılması, Windows tabanlı uygulamaların geliştirilmesi gibi gelişmiş endüstriyel programlar hazırlanabilmektedir. Bu tez kapsamında, Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç verilerinin uzaktan okunabilmesi ve sayacın uzaktan aç-kapa ve akım sınırlaması gibi özelliklerle yönetilebilmesi için C# ortamında temel anlamda bir server uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama ile birlikte, sayaç verilerinin anlık olarak okunması, grafiksel olarak görüntülenmesi ve sayaca TCP/IP protokolü ile uzaktan erişim sağlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen uygulamada, Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacı 192.168.88.5 LAN IP adresine ve 45500 numaralı porta sahiptir. Daha önce de ifade edildiği gibi, akıllı sayacın bağlı olduğu Wi-Fi modemde ilgili port yönlendirmesi yapıldığı için bu akıllı sayaca uzak bir server'dan 91.93.34.155 WAN IP adresi ve 45500 numaralı port bilgisi ile erişim sağlanabilmektedir. C# ortamında geliştirilen uygulamada, akıllı sayaç ile aynı Wi-Fi ağına bağlı olduğu için akıllı sayacın LAN IP adresi ve port bilgisi kullanılarak sayaca TCP/IP protokolü üzerinden erişim sağlanmıştır. Şekil 3.17'de Microsoft Visual Studio editörü ile C# ortamında hazırlanan arayüz verilmiştir.

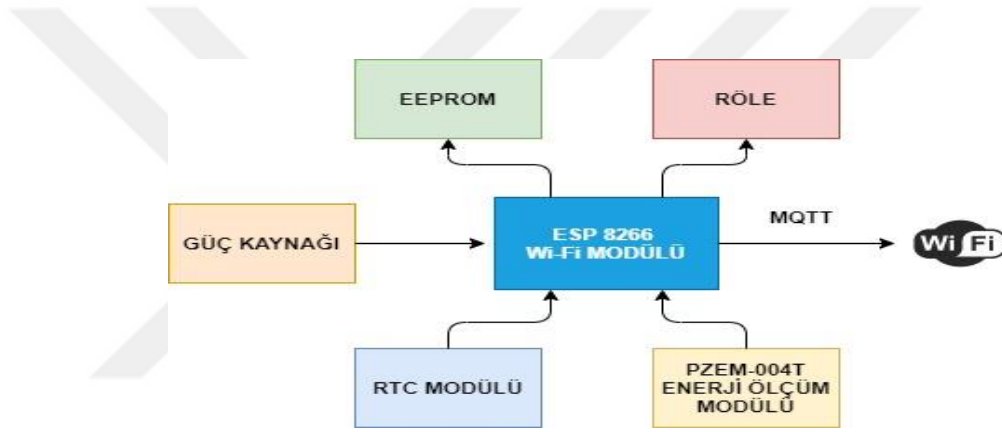


Şekil 3.17. C# ortamında hazırlanan akıllı sayaç online izleme ve kontrol arayüzü

İlgili arayüz programı ile sayaç verilerinin takip edilmesi, raporlanması ve uzaktan yönetilebilmesine ait detaylı bilgiler bu tez çalışmasının 4. kısmı olan araştırma bulguları ve tartışma bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3.7. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Geliştirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında bir diğer çıktı olarak Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modül tak-çalıştır yapıda olup bağlı olduğu elektrikli ev aletlerinin elektriksel parametrelerini yüksek doğrulukla ölçebilme, bağlı olduğu elektrikli ev aletinin tüketim profilini çıkarabilme ve uzaktan yönetilebilme gibi özellikleri bünyesinde barındırmaktadır. Wi-Fi tabanlı enerji ölçüm modülüne ait blok diyagramı Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü blok diyagramı

3.7.1. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Donanım Bileşenleri

Bu kısımda, Şekil 3.17’de verilen blok diyagramda yer alan donanım bileşenleri tanıtılacaktır.

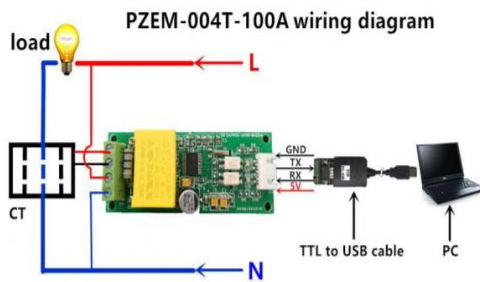
- **ESP8266 Wi-Fi Geliştirme Kartı:** Espressif firmasının ESP-12E modelindeki Wi-Fi modülünü üzerinde barındırmaktadır. Bu modül, 32-bit düşük güç tüketimli işlemciye ve TCP/IP stack desteğine sahiptir. 2.4 GHz frekans bandında çalışan bu modül, IEEE 802.11 b/g/n protokollerini desteklemektedir [63]. ESP8266 Wi-Fi geliştirme kartları, günümüzde nesnelerin interneti projelerinde en sıklıkla kullanılan haberleşme modülleri arasında yer almaktadır. Düşük maliyet ve yüksek performans özellikleriyle

birlikte Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülünde kullanılmıştır. Şekil 3.19’da ESP8266 Wi-Fi geliştirme kartına ait görsel yer almaktadır.

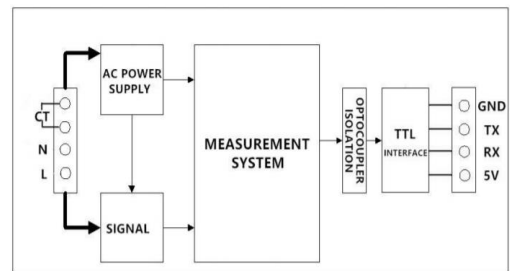


Şekil 3.19. ESP8266 Wi-Fi geliştirme kartı

- **PZEM-004T Enerji Ölçüm Modülü:** Bu modül akım, gerilim, frekans, aktif güç ve güç katsayısı gibi elektriksel parametrelerin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş bir enerji ölçüm modülüdür. Modül verileri, seri port üzerinden bilgisayar ya da çeşitli gömülü sistem kartları ile okunabilmektedir. 100A ve 22000W anma değerlerine kadar ölçüm yapabilen bu modül, 45-65Hz aralığındaki frekans değerleri ile 80-260VAC aralığındaki gerilim değerlerini ölçebilme yeteneklerine sahiptir. Bu modüle ait görsel ve fonksiyonel blok diyagramı Şekil 3.20’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.20. PZEM-004T enerji ölçüm modülü (a) ve fonksiyonel blok diyagramı (b)

- **HLK-PM01 Güç Kaynağı Modülü:** Bu modül 100-240 VAC aralığındaki giriş gerilimini $5\pm 0.2\text{VDC}$ tam nominal çıkış gerilimi aralığına dönüştürebilmektedir [64]. Bu sayede AA ile beslemesi olan ve DA çalışma gerilimine ihtiyaç duyulan projeler için oldukça pratik kullanım sağlanmaktadır. Enerji ölçüm modülünün tak-çalıştır yapıda olmasını sağlayan bu güç modülü ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji karşılanmaktadır. Şekil 3.21’de HLK-PM01 güç kaynağı modülüne ait görsel yer almaktadır.



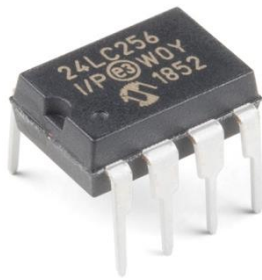
Şekil 3.21. HLK-PM01 güç kaynağı modülü

- **DS1302 RTC Modülü:** Bu modül üzerindeki pil sayesinde tarih ve saat bilgilerini sürekli olarak hafızasında tutabilmektedir. Wi-Fi tabanlı enerji ölçüm modülü, Wi-Fi bağlantısıyla internete erişim sağladığı an NTP server’a bağlanarak saat ve tarih bilgilerini edinebilmekte ve DS1302 RTC modülünün bilgilerini güncellemektedir. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülünün internet erişimi olmayan zamanlarda da gündüz, puant ve gece yük dilimlerindeki tüketim bilgilerini ölçebilmesi amacıyla bu RTC modülü kullanılmıştır. Şekil 3.22’de bu modüle ait görsel yer almaktadır.



Şekil 3.22. DS1302 RTC modülü

- **24LC256 EEPROM Entegresi:** EEPROM, elektriksel olarak yazılıp silinebilen depolama birimini ifade etmektedir. 256Kbit hafızaya sahip olan bu modül ile birlikte akıllı enerji ölçüm modülünün ölçtüğü toplam tüketim değeri, gündüz tarif dilimi tüketim değeri, puant yük tarif dilimi tüketim değeri ve gece tarif dilimi tüketim değerlerinin kaydedilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede akıllı enerji ölçüm modülünün enerjisi kesilse bile tüketim değerleri sürekli kalıcı olmaktadır. Tüketim verilerinin kaydedilmesi için ikinci bir alternatif yöntem ise ESP8266 Wi-Fi modülünün flash hafızasını kullanmaktır. Bu tez kapsamında geliştirilen akıllı enerji ölçüm modülü için harici bir EEPROM entegresi kullanılması kararlaştırılmıştır. Şekil 3.23'te bu entegreye ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.23. 24LC256 EEPROM entegresi

- **5VDC Mini Röle:** Röle elektromekanik bir anahtardır. Elektrik sinyali ile kontrol edilir ve mekanik olarak kontaklarını hareket ettirerek yüke enerji verilmesini ya da yüke verilen enerjinin kesilmesini sağlar. Akıllı enerji ölçüm modülünün bağlı olduğu elektrikli cihazı açma-kesme ya da zaman

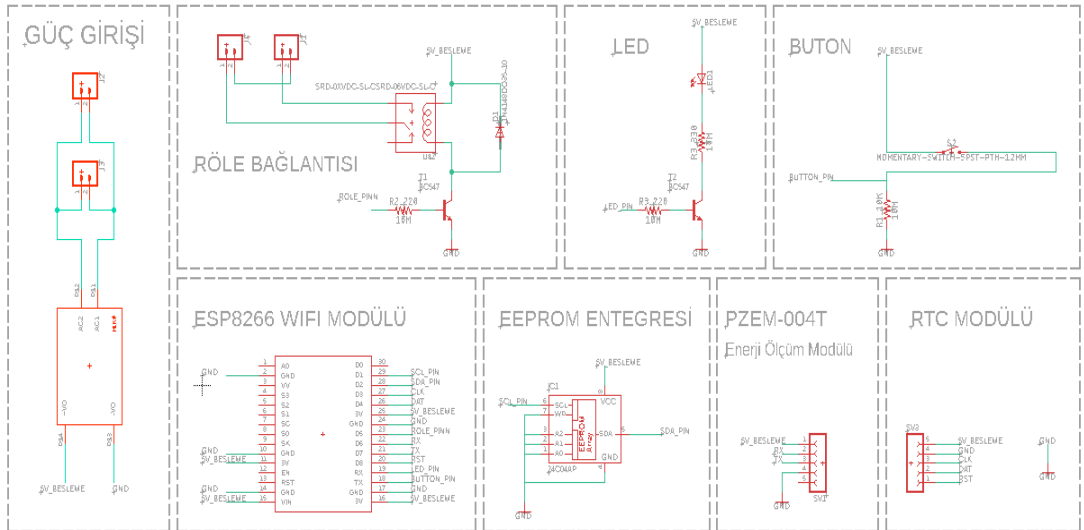
ayarlı olarak çalıştırabilme gibi özellikleri sağlayabilmesi amacıyla 5VDC çalışma gerilimine sahip ve 10A yük akımını kontrol edebilen bir röle kullanılmıştır. Şekil 3.24'te kullanılan röleye ait bir görsel yer almaktadır.



Şekil 3.24. 5VDC mini röle

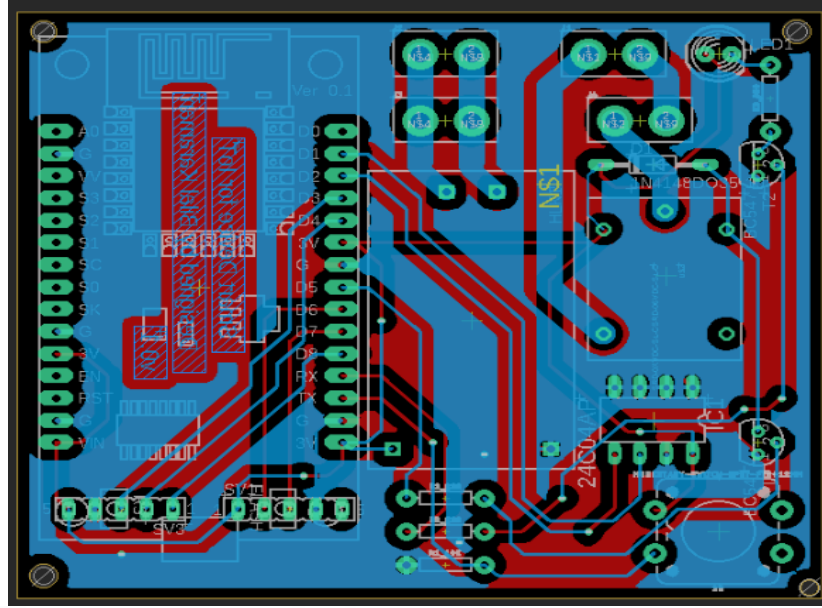
3.7.2. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü PCB Tasarımı

Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü donanım bileşenleri referans alınarak Autodesk EAGLE paket programıyla devre kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25'te devre kartı tasarımı verilmiştir.



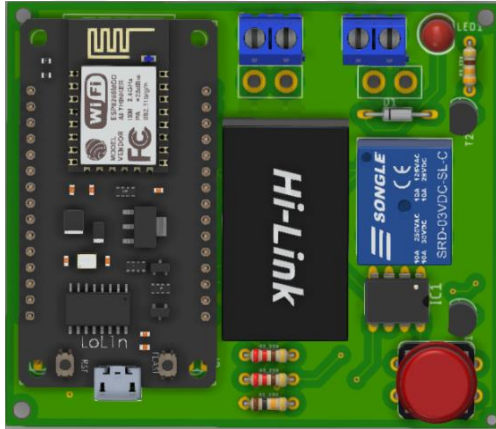
Şekil 3.25. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü devre kartı tasarımı

Devre kartı tasarımının akabinde PCB kart tasarımı gerçekleştirilmiştir. PCB tasarımı çift katlı yapıya sahiptir. Şekil 3.26'da tasarlanan PCB kart gösterilmiştir.

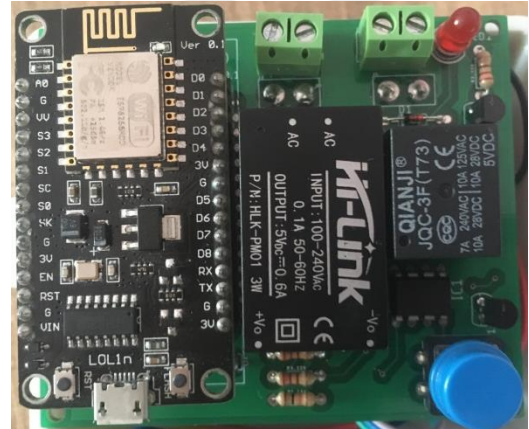


Şekil 3.26. PCB kart tasarımı

Şekil 3.27.'de ise PCB kart tasarımına ait 3 boyutlu görünüm ve üretiminin akabinde tümleştirme faaliyetleri tamamlanan PCB kartına yer verilmiştir.



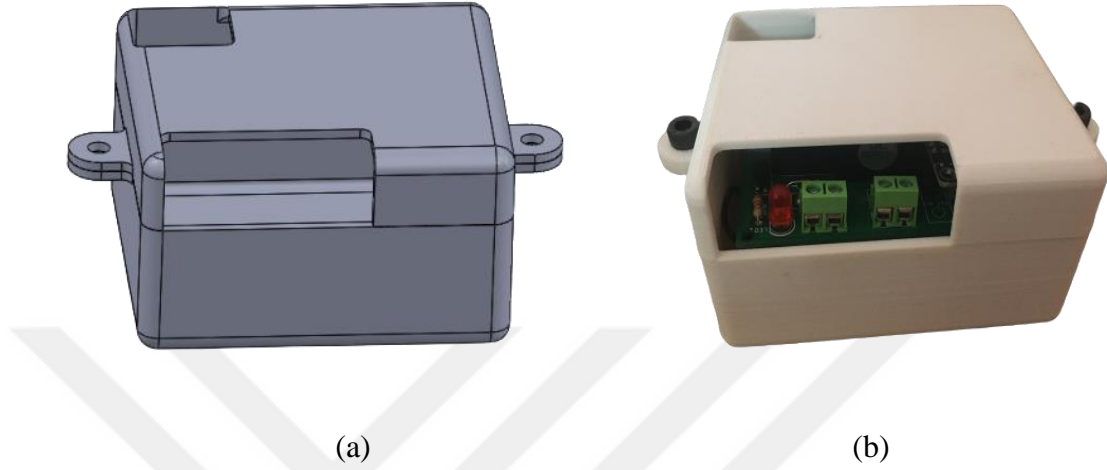
(a)



(b)

Şekil 3.27. 3 boyutlu PCB tasarımı (a) ve tümleştirme faaliyetleri tamamlanan PCB kartına ait görünüm (b)

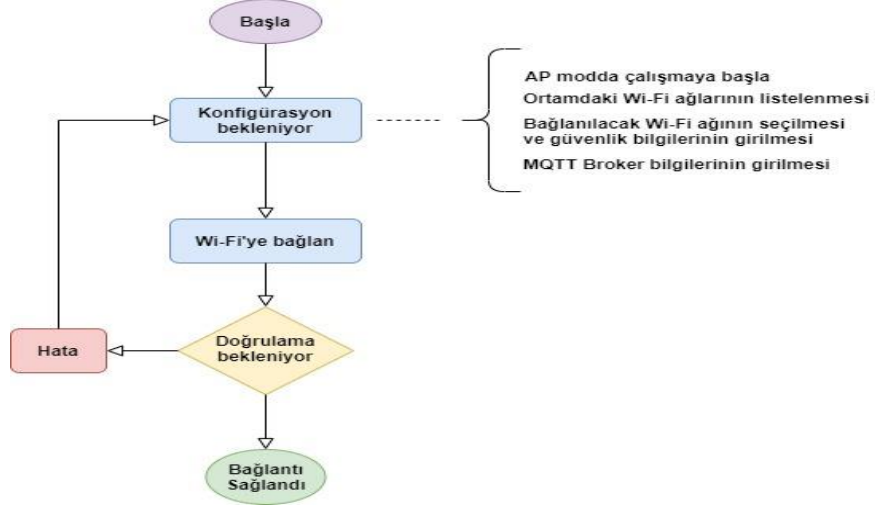
Tümleştirme faaliyetleri tamamlanan akıllı enerji ölçüm modülüne ait PCB kart için mekanik gövde kutusu tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.28’de mekanik gövde kutusu tasarımı ve montajı tamamlanan akıllı enerji ölçüm modülüne dair görseller yer almaktadır.



Şekil 3.28. PCB kart için mekanik gövde kutusu tasarımı (a) ve montajı (b)

3.7.3. Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Wi-Fi Konfigürasyonu

Akıllı sayaçta olduğu gibi Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülünün de Wi-Fi konfigürasyon işleminin gerçekleştirilebilmesi için AP (Access Point) mod konfigürasyon yöntemi kullanılmıştır. Modül, çalışmasına bir modem olarak başlayarak kendi Wi-Fi ağını kurmaktadır. Herhangi bir mobil cihaz ile bu ağa bağlanıldığında Wi-Fi modülünün sunmuş olduğu konfigürasyon sayfasına otomatik olarak erişim sağlanarak konfigürasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. İlgili konfigürasyon sayfaları bu tez çalışmasının 4. kısmı olan araştırma bulguları ve tartışma bölümünde detaylı olarak verilmiştir. Şekil 3.29’da konfigürasyon işlemine ait blok diyagramı yer almaktadır.

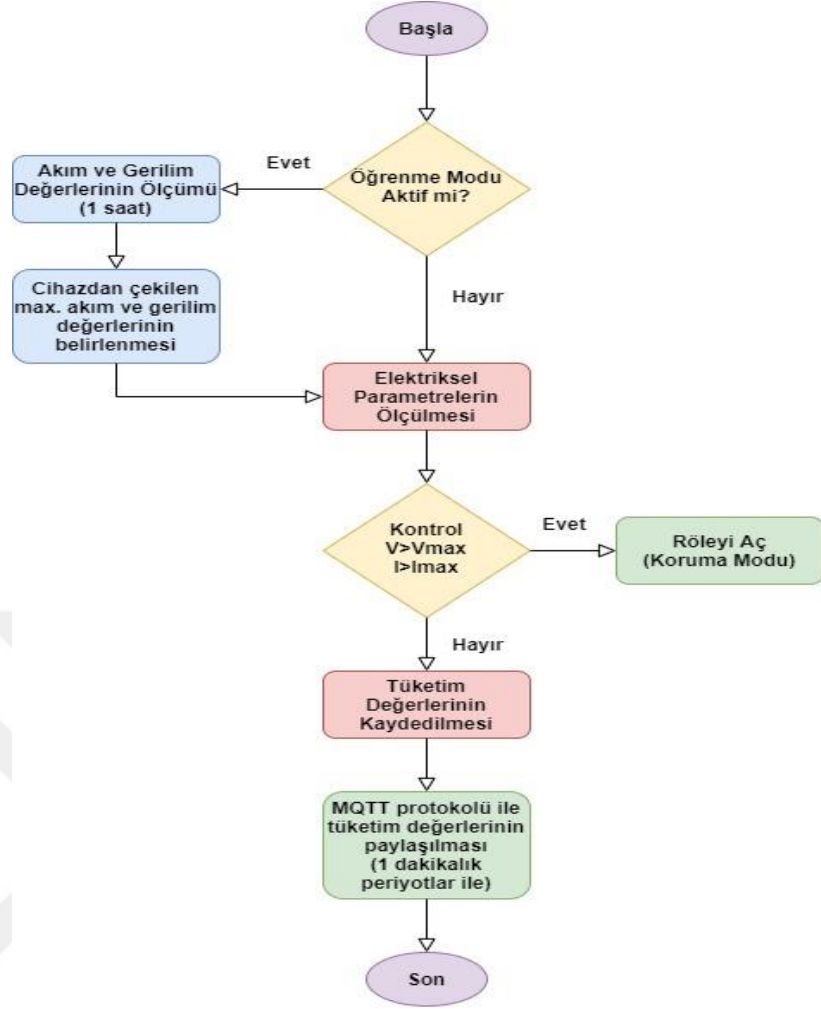


Şekil 3.29. Akıllı enerji ölçüm modülü Wi-Fi konfigürasyonu

3.7.4. Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Çalışma Algoritması

Bu tez kapsamında geliştirilen akıllı enerji ölçüm modülü bağlı olduğu elektrikli cihazın yük profilini çıkarabilme özelliğine sahiptir. Bağlı olduğu cihazın gerilim ve akım değerlerini 1 saat boyunca ölçerek maximum gerilim ve akım değerlerinin tespit edilmesi sağlanır. Bu değerler modülün hafızasına kaydedilerek, elektrikli cihazın bu eşik değerlerinin yüzde 20'sinden fazla gerilime maruz kaldığı ya da akım çektiği tespit edilirse koruma moduna geçilerek cihazın enerjisi kesilir. Bu sayede bağlı olduğu elektrikli cihaza özel koruma işlemi sağlanmış olur. Akıllı enerji ölçüm modülü üzerindeki kullanıcı butonuna 10 saniye boyunca basılmasıyla birlikte öğrenme modu aktif edilerek modülün öğrenme moduna geçmesi sağlanmaktadır. Bu sayede akıllı enerji ölçüm modülünün daha farklı cihazlara bağlanması ve yük profillerini oluşturması sağlanmaktadır.

Geliştirilen bu modül, kullanıcı mobil uygulaması tarafından MQTT protokolü ile uzaktan açma-kesme ya da zaman ayarlı şekilde çalıştırılabilme şeklinde yönetilebilme özelliklerine sahiptir. Bunun yanında, 1 dakikalık periyotlarla gerilim, akım, aktif güç, frekans, güç faktörü, içinde bulunan aydaki aktif çalışma süresi, T, T1, T2 ve T3 tarif dilimlerindeki tüketim verileri kullanıcı mobil uygulamasına iletilmektedir. Şekil 3.30'da akıllı enerji ölçüm modülünün adaptif koruma özelliği akış diyagramına yer verilmiştir.

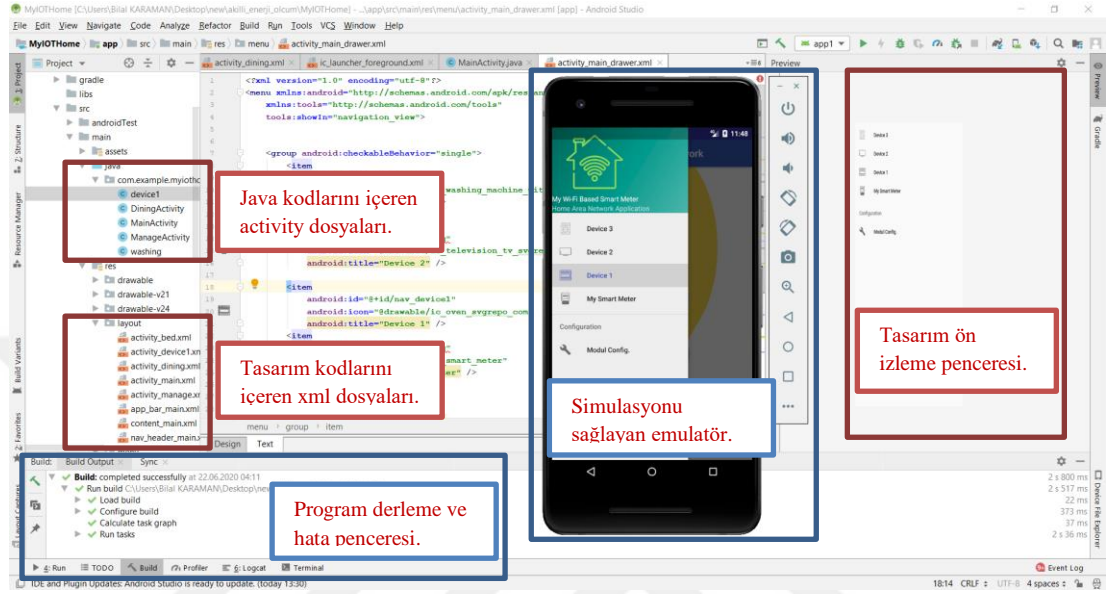


Şekil 3.30. Akıllı enerji ölçüm modülü adaptif koruma akış diyagramı

3.8. Android Studio Ortamında Mobil Uygulama Geliştirilmesi

Android Studio editörü, Android işletim sistemi tabanlı uygulamaların geliştirilebildiği bir programlama aracıdır. Android Studio’da ana programlama dili Java’dır. Bunun yanında Kotlin dili ile de uygulamalar geliştirilebilmektedir. Android Studio ortamında uygulama geliştirilirken XML kodları ile bir tasarım meydana getirilir. Java kodları ile de uygulamada activity olarak isimlendirilen her bir ekrana ait program kodları yazılmaktadır. XML kodları kullanıcıya görsel arayüz sunması itibarıyla front-end (ön yüz), Java kodları ise arka planda çalışarak uygulamalara ait görevlerin yerine getirilmesi, haberleşme ve veri keydetme gibi fonksiyonel özellikleri yürütmesi itibarıyla back-end (arka yüz) olarak tanımlanabilir.

Bu tez kapsamında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacı ve Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modüllerinin verilerinin takip edilebilmesi amacıyla Android Studio ortamında bir kullanıcı mobil uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulamaya ait görsel Şekil 3.31’de verilmiştir.



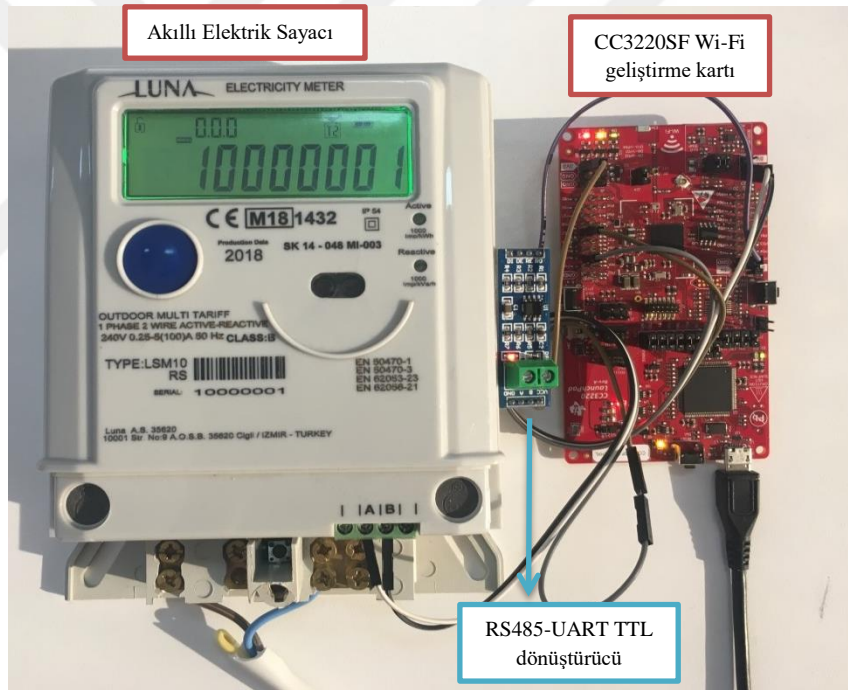
Şekil 3.31. Android Studio ortamında mobil uygulama geliştirilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde Wi-Fi tabanlı akıllı elektrik sayacının konfigürasyon işlemlerine ve TCP/IP protokolü ile veri aktarımına dair çalışma örneklerine yer verilmiştir. Akabinde Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülünün çalışması ve ölçüm doğruluğu testleri paylaşılmıştır. Son olarak, kullanıcı mobil uygulaması ile hem akıllı sayaç verilerinin takip edilmesi hem de akıllı enerji ölçüm modüllerinin verilerinin takip edilerek uzaktan yönetilmesi sağlanmıştır.

4.1. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacının Konfigürasyonu

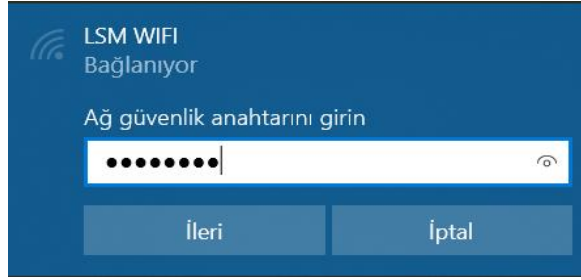
Bu tez kapsamında kullanılan RS-485 çıkışlı akıllı elektrik sayacı verilerinin CC3220SF Wi-Fi geliştirme kartı ile okunmasına ait görsel Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Akıllı sayaç verilerinin Wi-Fi geliştirme kartı ile okunması

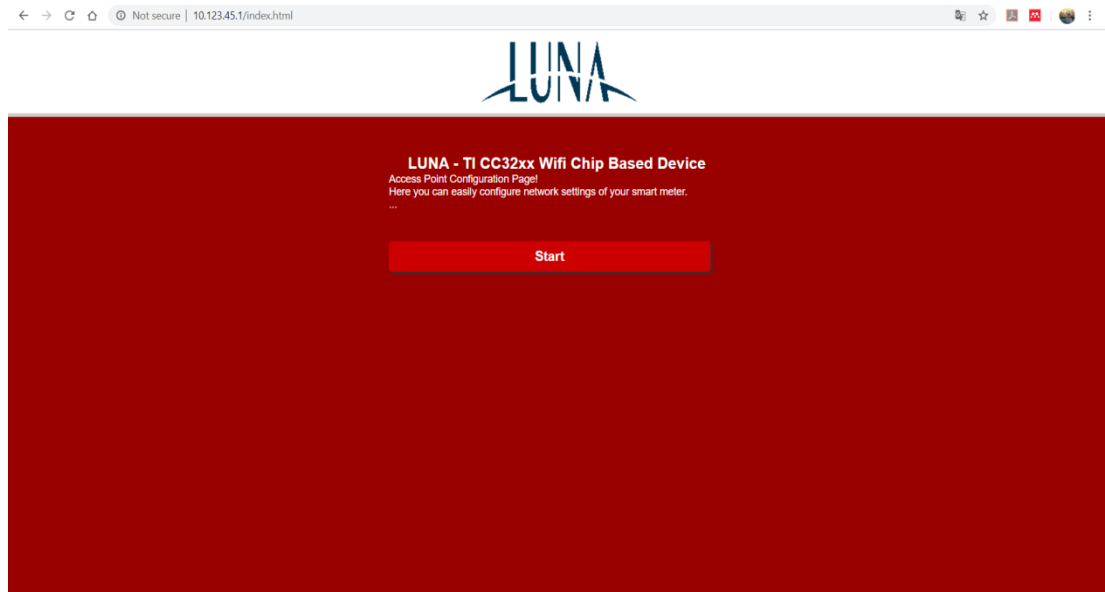
Akıllı sayacın Wi-Fi konfigürasyonlarının yapılabilmesi için sayaç bir Wi-Fi modem olarak çalışmasına başlayarak kendi Wi-Fi ağını kurmaktadır. LSM WIFI ismiyle görüntülenen Wi-Fi ağına herhangi bir mobil cihaz ile bağlanılarak, modülün sunmuş olduğu konfigürasyon sayfalarına erişim sağlanabilmektedir. Bu modül, Wi-Fi Alliance tarafından geliştirilen WPA/WPA2 (Wi-Fi Protected Access) güvenilir

kablosuz ağ şifreleme yapısına sahiptir. Modülün Wi-Fi ağına dahil olabilmek için şifre bilgisi girilir. Şekil 4.2’de bu işleme ait görsel yer almaktadır.



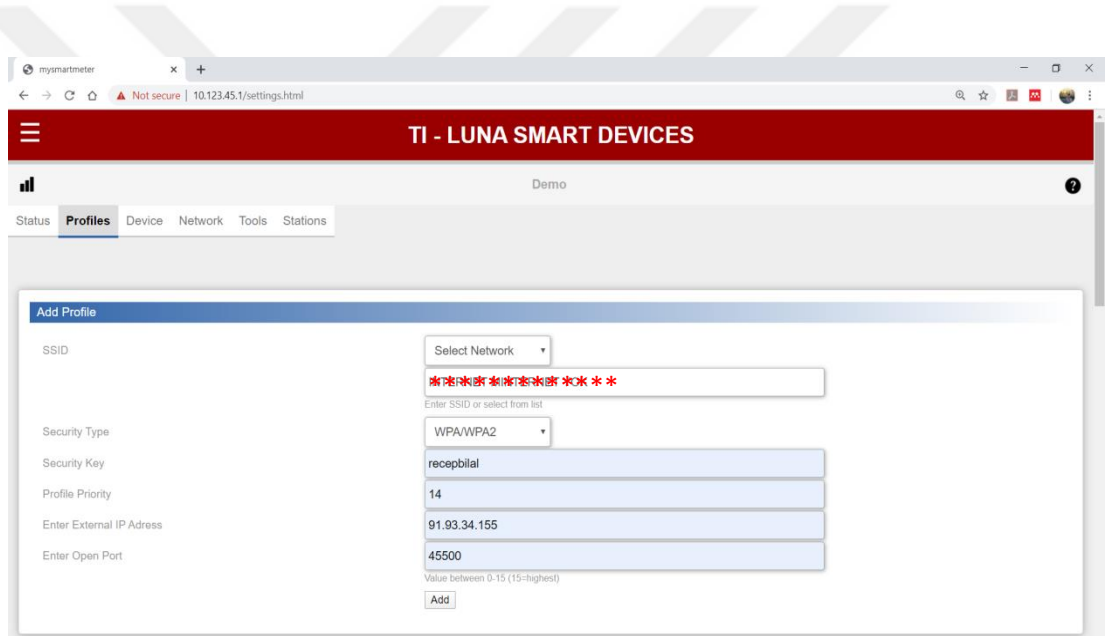
Şekil 4.2. LSM WIFI ağına bağlanması

Kullanıcı, modülün sunmuş olduğu Wi-Fi ağına dahil olduğunda otomatik olarak konfigürasyon sayfasına yönlendirilmektedir. Konfigürasyon sayfaları JavaScript, CSS ve HTML dillerinde yazılarak Wi-Fi modülünün flash hafızasına kaydedilmiştir. CSS ve HTML dilleri web sayfalarının tasarımlarında kullanıldıkları için front-end (ön yüz) geliştirme dilleri, JavaScript ise arka planda çalışan ve uygulamaları gerçekleştiren kod yapısına sahip olduğu için back-end (arka yüz) geliştirme dili olarak nitelendirilebilmektedir. Şekil 4.3’te ilgili konfigürasyon arayüzü verilmiştir.



Şekil 4.3. Akıllı sayaç Wi-Fi konfigürasyon arayüzü

Geliştirilen sistemde, modülün sunduğu konfigürasyon sayfalarına “mysmartmeter” alan adıyla erişim sağlanması da mümkündür. Profiller sekmesi altında ortamdaki Wi-Fi ağları taranarak listelenmektedir. Bu Wi-Fi ağlarından herhangi biri seçilerek şifre bilgisi girilir. Wi-Fi modülü 16 farklı ağı ve şifre bilgilerini hafızasında tutabilme özelliğine sahiptir. Wi-Fi konfigürasyonu yapılırken kaydedilecek Wi-Fi ağının öncelik ataması yapılması gerekmektedir. En düşük öncelikli Wi-Fi ağı için 0, en yüksek öncelikli Wi-Fi ağı için ise 15 yazılarak öncelik ataması yapılmaktadır. Son olarak, akıllı sayaç Wi-Fi modülünün bağlanacağı modemde yönlendirme yapılan port bilgisi ve modem WAN IP adresi girilerek kaydetme işlemi tamamlanmaktadır. İlgili konfigürasyon penceresi Şekil 4.4’te yer almaktadır.



The screenshot shows a web browser window with the URL '10.123.45.1/settings.html'. The page title is 'TI - LUNA SMART DEVICES'. The main content area is titled 'Add Profile' and contains the following fields:

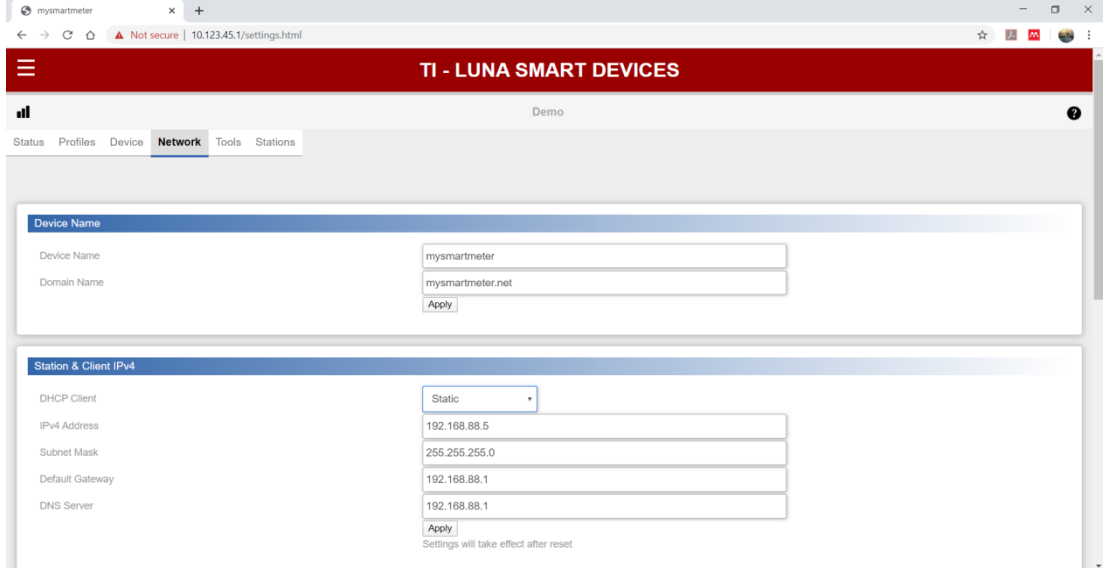
SSID	Select Network
Security Type	WPA/WPA2
Security Key	recepbilal
Profile Priority	14
Enter External IP Address	91.93.34.155
Enter Open Port	45500

Value between 0-15 (15=highest)

Add

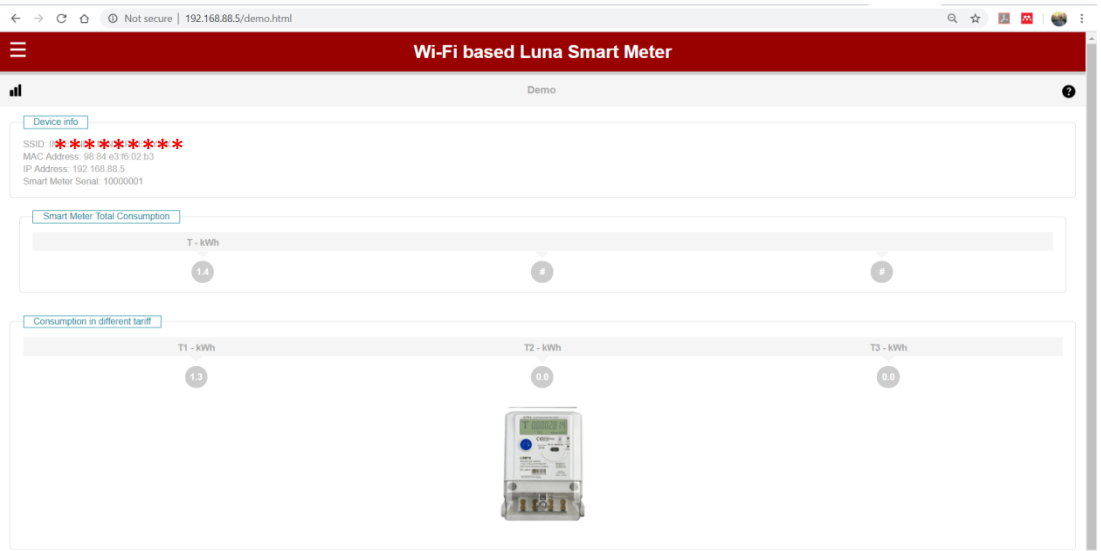
Şekil 4.4. Akıllı sayaç Wi-Fi modülüne yeni ağ profili eklenmesi

Akıllı sayaç Wi-Fi modülünün ağ profilinin kaydedilmesinin akabinde statik IP yapılandırmasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Modülün bağlanacağı Wi-Fi modemde hangi IP adresi için port yönlendirme yapıldıysa, akıllı sayaç Wi-Fi modülümüzün bu IP adresine atanması gerekmektedir. Geliştirilen sistemdeki network sekmesi altında Statik IP yapılandırması gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.5’te bu işlem penceresine yer verilmiştir.



Şekil 4.5. Akıllı sayaç Wi-Fi modülü statik IP yapılandırması

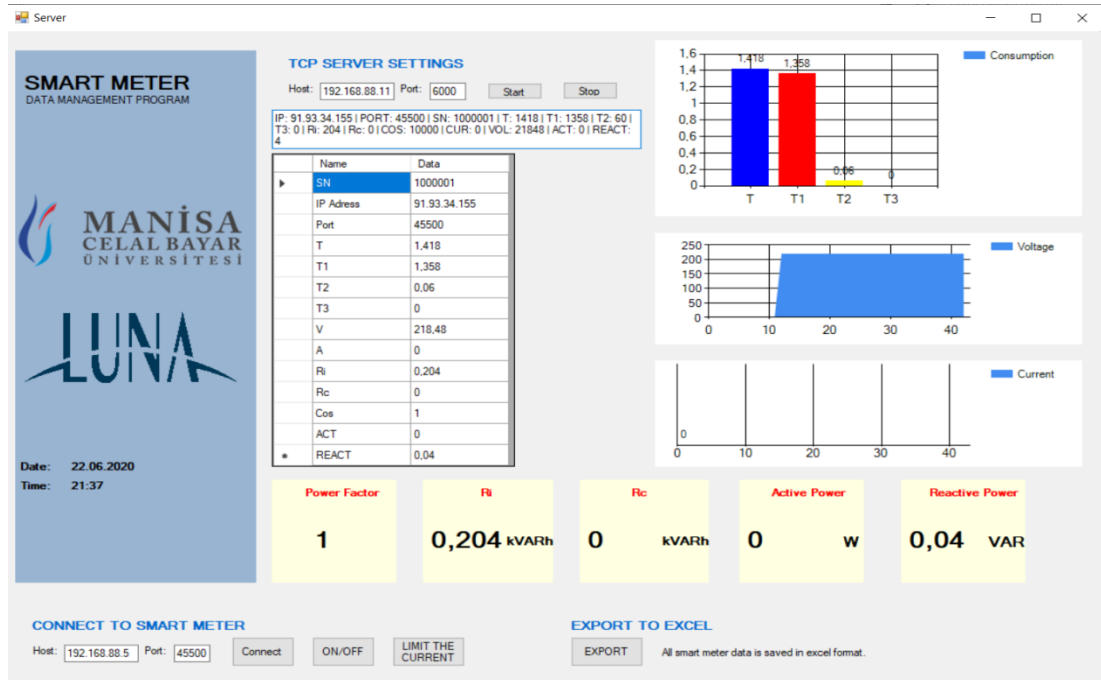
Yukarıda ifade edilen işlem adımları akabinde Wi-Fi modülünün enerjisinin kesilip yeniden enerjilendirilmesiyle birlikte ortamdaki Wi-Fi ağına sorunsuz olarak bağlantı sağlanmıştır. Akıllı sayaca bağlanan Wi-Fi modülü ile aynı ağda olmak kaydıyla, internet tarayıcısına Wi-Fi modülüne statik olarak tahsis edilen 192.168.88.5 IP adresi girildiğinde akıllı sayacın tüketim verileri ile kimlik bilgileri anlık olarak görüntülenebilmektedir. Şekil 4.6’da akıllı sayaç verilerinin görüntülediği internet arayüzü görülmektedir.



Şekil 4.6. Akıllı sayaç verilerinin internet tarayıcısında görüntülenmesi

4.2. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacının C# Ortamında Oluşturulan Server ile Uzaktan Yönetilmesi

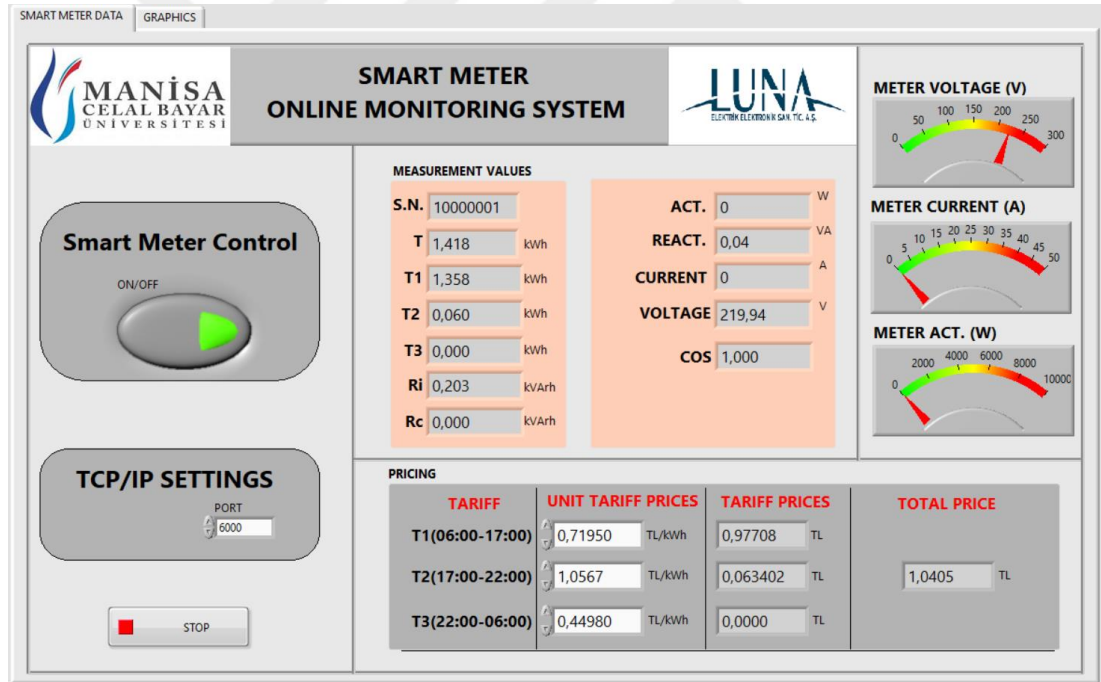
Bu çalışmada ortaya konulan yöntemle Wi-Fi tabanlı akıllı sayacın TCP/IP protokolü ile okunması ve açma-kesme gibi özelliklerle yönetilebilmesi amacıyla C# ortamında basit anlamda bir server geliştirilmiştir. Sayaca uzak bir serverdan bağlanmak istendiğinde WAN IP ve port bilgisi ile bağlantı sağlanabilmektedir. C# ortamında geliştirilen uygulamada ise akıllı sayaç ile aynı ortamdaki Wi-Fi ağında bulunduğu için LAN IP ve port bilgisi ile sayaca erişim sağlanarak açma-kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra, Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç 6000 numaralı port üzerinden C# ortamında geliştirilen TCP server uygulamasına verilerini göndermiştir. Bu sayede hem grafiksel olarak hem de bir liste şeklinde tüm sayaç verileri izlenmiştir. Bu tez kapsamında akıllı sayaca kazandırılan bir diğer özellik ise akım sınırlama özelliğidir. Ülkemizde faturasını ödemeyen aboneler için akım sınırlaması gibi bir uygulama mevcut değildir. Bu tez çalışmasında geliştirilen sisteme bu özellik eklenerek sayacın akım sınırlaması moduna geçirilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.7’de C# ortamında hazırlanan TCP server uygulaması ile akıllı sayaç verilerinin okunması ait görsele yer verilmiştir.



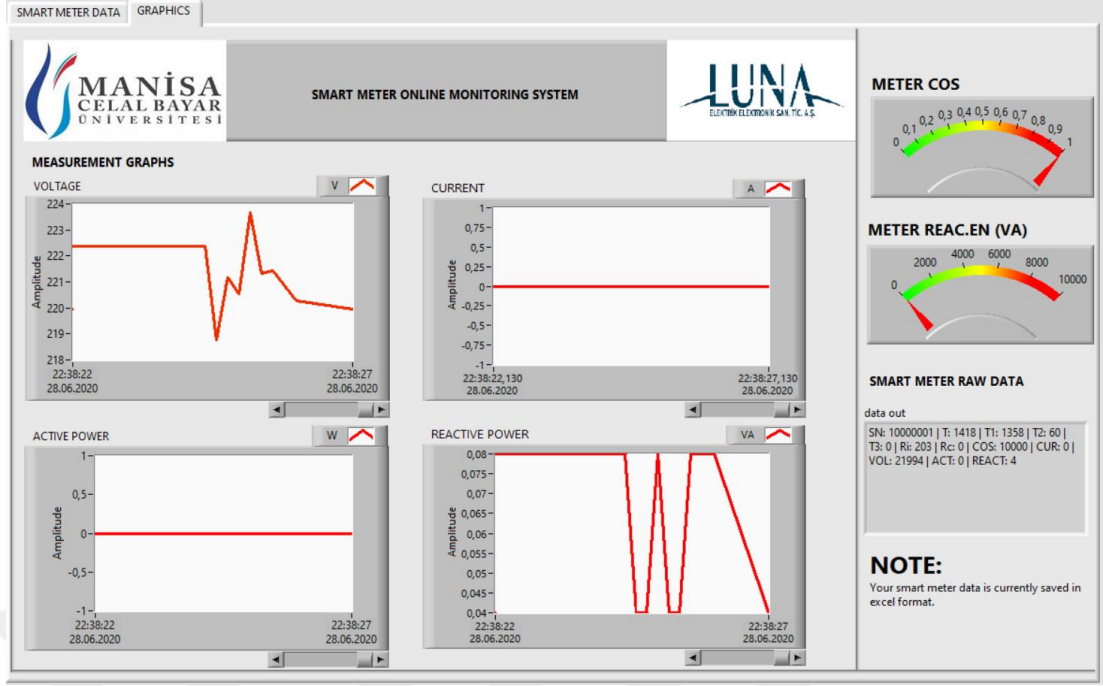
Şekil 4.7. C# ortamında akıllı sayaç verilerinin grafiksel olarak izlenmesi

4.3. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Elektrik Sayacı Verilerinin LabVIEW™ Ortamında Oluşturulan Server ile Okunması

Akıllı sayaç verilerinin okunabilmesi amacıyla geliştirilen bir diğer yöntem de LabVIEW™ ortamında oluşturulan TCP server uygulamasıdır. Bu uygulama ile birlikte akıllı sayaç verilerine yine aynı şekilde TCP/IP protokolü kullanılarak 6000 numaralı port üzerinden erişim sağlanmıştır. Akıllı sayaç verilerinin hem grafiksel olarak izlenmesinin yanısıra farklı tarif dilimleri göz önünde bulundurularak fiyatlandırılması yapılmış ve akıllı sayaca ait tüm verilerin ve fiyatlandırma bilgilerinin bir excel dosyası formatında raporlanması sağlanmıştır. Şekil 4.8’de LabVIEW ortamında Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç verilerinin okunmasına dair arayüz verilmiştir. Şekil 4.9’da gerilim, akım, aktif güç ve reaktif güç gibi bileşenlerin görüntülediği grafiksel arayüz yer almaktadır. Şekil 4.10’da ise akıllı sayaçtan alınan verilerin excel formatında raporlanmasına ait görsele yer verilmiştir.



Şekil 4.8. LabVIEW ortamında akıllı sayaç verilerinin okunması



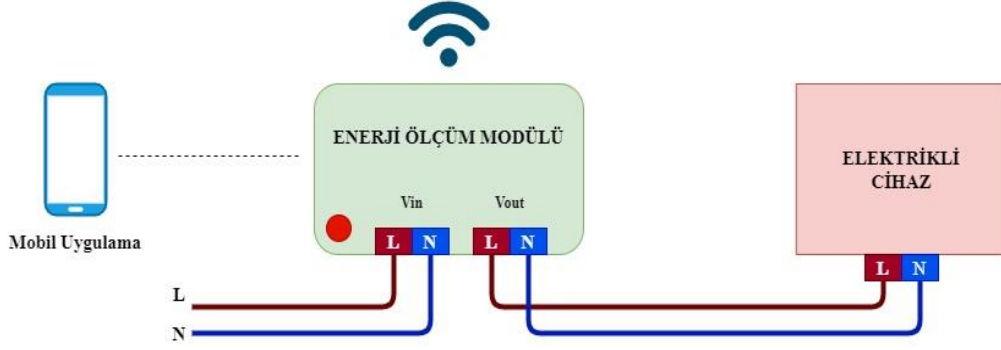
Şekil 4.9. LabVIEW ortamında akıllı sayaç verilerinin grafiksel olarak izlenmesi

Date	Serial Number	T (kWh)	T1 (kWh)	T2 (kWh)	T3 (kWh)	Ri (kVArh)	Rc (kVArh)	COS	CURR (A)	VOLT (V)	ACT. (W)	REACT. (VA)	T1 PRICE (TL)	T2 PRICE (TL)	T3 PRICE (TL)	TOTAL PRICE (TL)
28.06.2020 22:38	10000001	1,418	1,358	0,06	0	0,204	0	1	0	219,94	0	0,04	0,977	0,063	0	1,04
28.06.2020 22:38	10000001	1,418	1,358	0,06	0	0,204	0	1	0	219,94	0	0,04	0,977	0,063	0	1,04
28.06.2020 22:38	10000001	1,418	1,358	0,06	0	0,204	0	1	0	219,94	0	0,04	0,977	0,063	0	1,04

Şekil 4.10. Akıllı sayaç verilerinin excel formatında raporlanması

4.4. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü

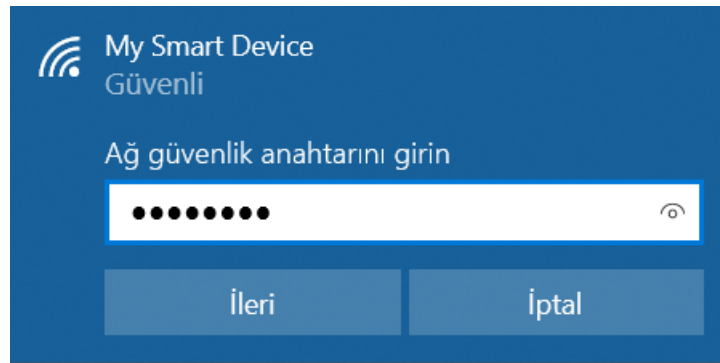
Bu çalışma kapsamında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülünün bağlantısına ait görüntü Şekil 4.11'de yer almaktadır. Geliştirilen bu modül tak çalıştır yapıda olup bağlı olduğu elektrikli cihaza ait gerilim, akım, aktif güç, güç faktörü gibi elektriksel parametreleri ölçebilmektedir. Bunun yanında aylık bazlı olarak gündüz, puant ve gece tarif dilimlerindeki tüketim bilgilerini kaydedebilmektedir. Bu modül, bir mobil uygulama ile uzaktan zaman ayarlı olarak ya da açma-kapama şeklinde yönetilebilir özelliklerine sahiptir.



Şekil 4.11. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü bağlantısı

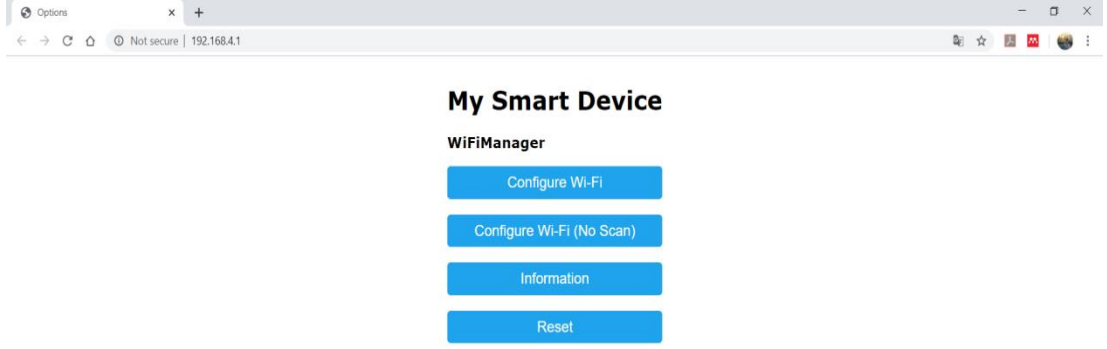
4.4. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Konfigürasyonu

Akıllı sayaç Wi-Fi konfigürasyonu yönteminde olduğu gibi Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülleri için de AP mod konfigürasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, modül bir Wi-Fi modem olarak çalışmasına başlayarak kendi Wi-Fi ağını kurmaktadır. My Smart Device ismiyle görüntülenen Wi-Fi ağına herhangi bir mobil cihaz ile bağlanılarak, modülün sunmuş olduğu konfigürasyon sayfalarına erişim sağlanabilmektedir. Bu modül, Wi-Fi Alliance tarafından geliştirilen WPA/WPA2 güvenilir kablosuz ağ şifreleme yapısına sahiptir. Modülün Wi-Fi ağına dahil olabilmek için şifre bilgisi girilir. Şekil 4.12’de bu işleme ait görsel yer almaktadır.



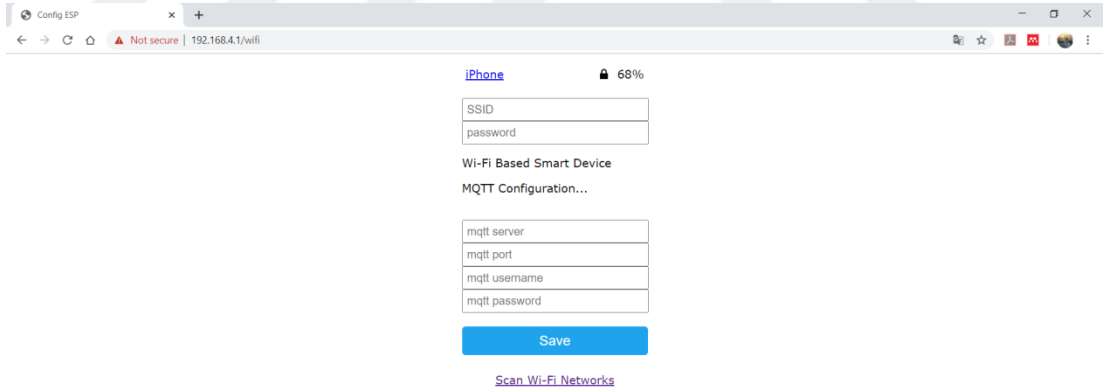
Şekil 4.12. My Smart Device isimli ağa bağlanması

Enerji ölçüm modülünün sunduğu Wi-Fi ağına bağlanılmasının akabinde kullanıcı otomatik olarak konfigürasyon arayüzüne yönlendirilmektedir. Açılan bu pencereye ait görsel Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü konfigürasyon sayfası

Konfigürasyon arayüzünde ortamdaki Wi-Fi ağları listelenmektedir. Bağlanılmak istenilen Wi-Fi ağı seçilerek şifre bilgisi girilmektedir. Bunun yanında, modülün kullanacağı MQTT broker servisinin kimlik bilgileri de girilmelidir. Bu tez kapsamında uygulamaları geliştirilen modüller ve kullanıcı mobil uygulaması için CloudMQTT servisi kullanılmıştır [65]. Şekil 4.14'te yer alan konfigürasyon penceresinden tüm bilgiler girilebilmektedir.

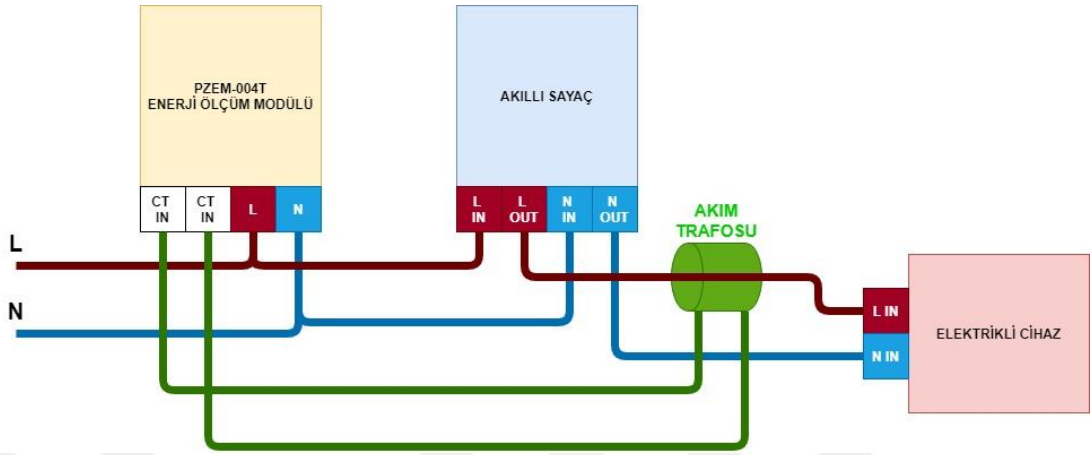


Şekil 4.14. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü konfigürasyon arayüzü

4.5. Wi-Fi Tabanlı Akıllı Enerji Ölçüm Modülü Testleri

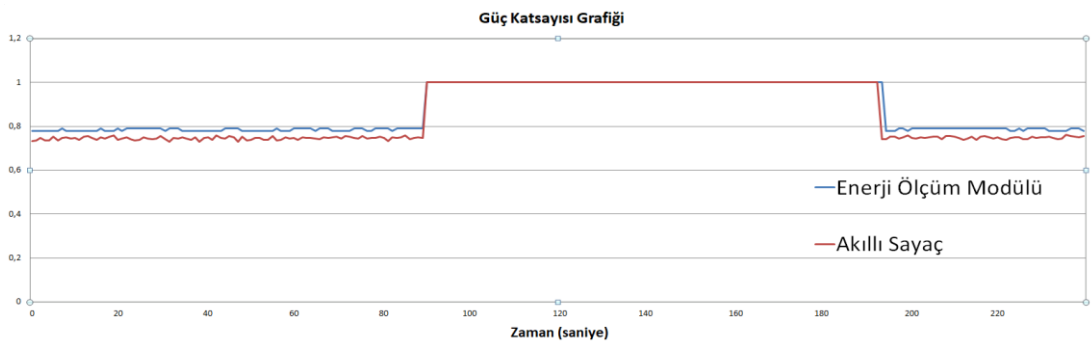
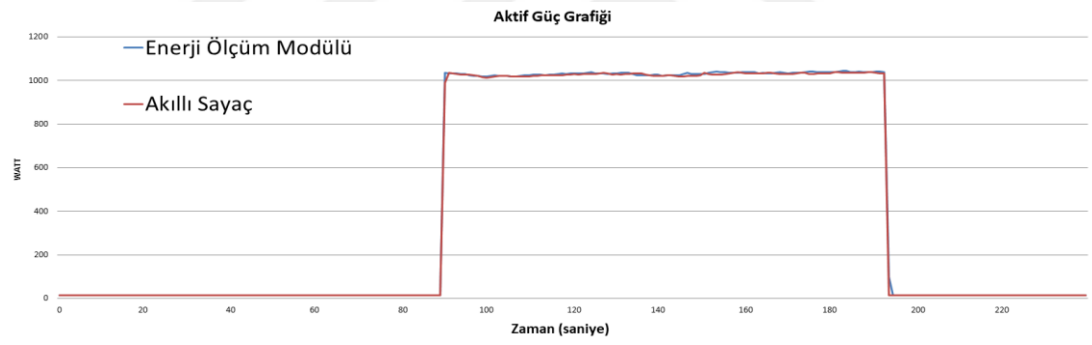
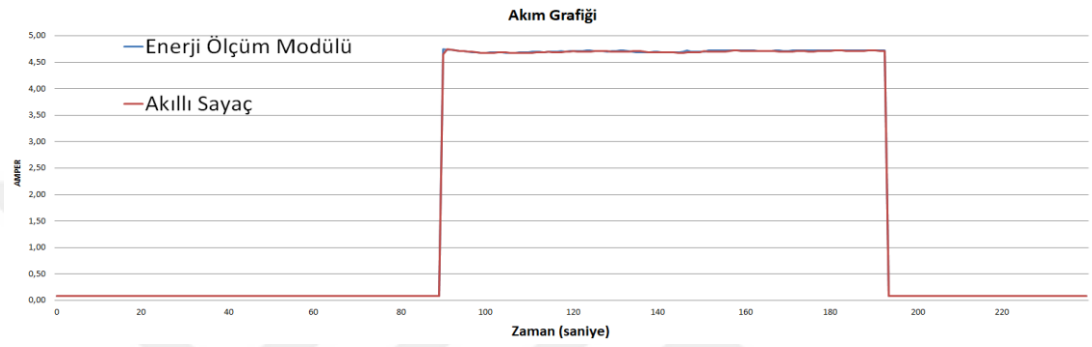
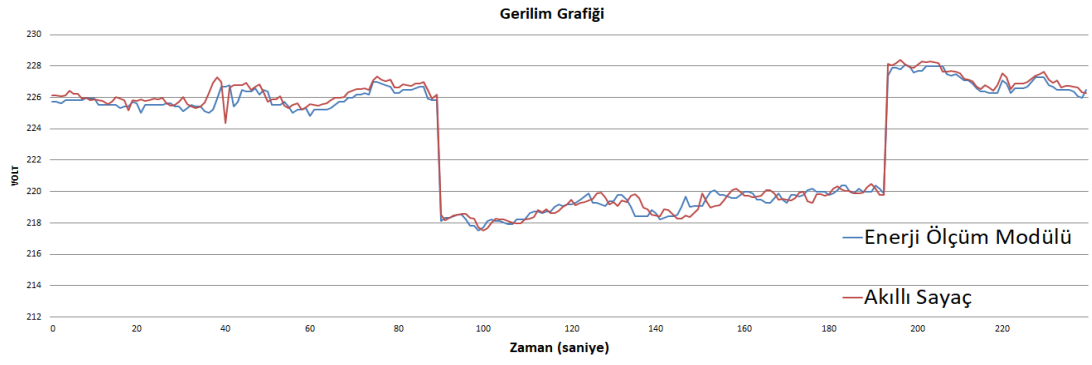
Bu kısımda enerji ölçüm modüllerinin ölçüm doğruluğu testlerine yer verilmiştir. Test işlemi için Şekil 4.15'te yer alan test devresi kurulmuştur. Bu test devresinde, akıllı enerji ölçüm modülünün akım trafosu yükün çektiği akımı ölçecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu sayede hem akıllı sayaç hem de enerji ölçüm modülü test işlemi yapılan cihazın elektriksel parametre ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Akıllı

sayaç ve enerji ölçüm modülünden 1 S/s örnekleme hızında ölçüm verileri alınarak kaydedilmiş ve akabinde ölçüm sonuçlarına ait grafikler oluşturulmuştur.



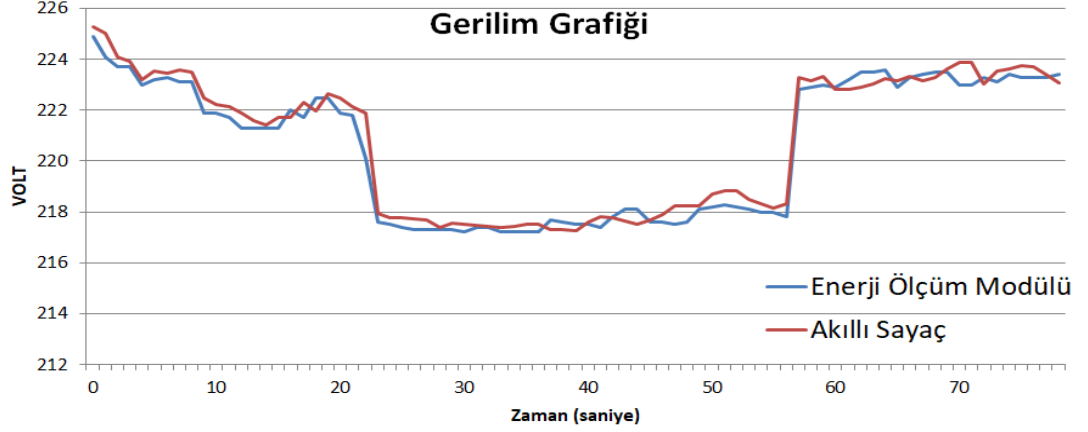
Şekil 4.15. Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü test devresi

İlk ölçüm testi 1100W ve 2000W ısıtma gücüne sahip iki farklı kademesi olan elektrikli ısıtıcı ile gerçekleştirilmiştir. Bu ısıtıcının sadece fanının çalıştırılması ve birinci kademe ısıtma seviyesinde çalıştırılmasına ait ölçüm verileri toplam 240 saniye boyunca kayıt altına alınmıştır. Hem akıllı sayaçtan hem de enerji ölçüm modülünden alınan veriler Şekil 4.16'da yer almaktadır.

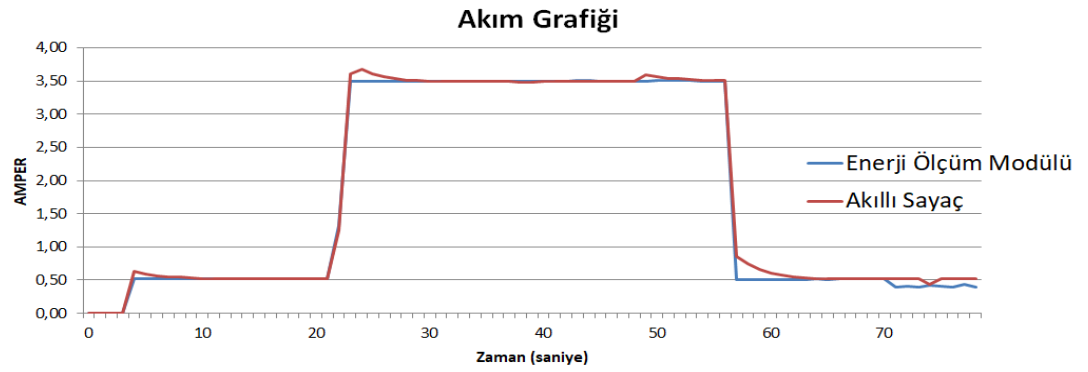


Şekil 4.16. Elektrikli ısıtıcı ile yapılan gerilim testi (a), akım testi (b), aktif güç testi (c) ve güç katsayısı testi (d) grafikleri

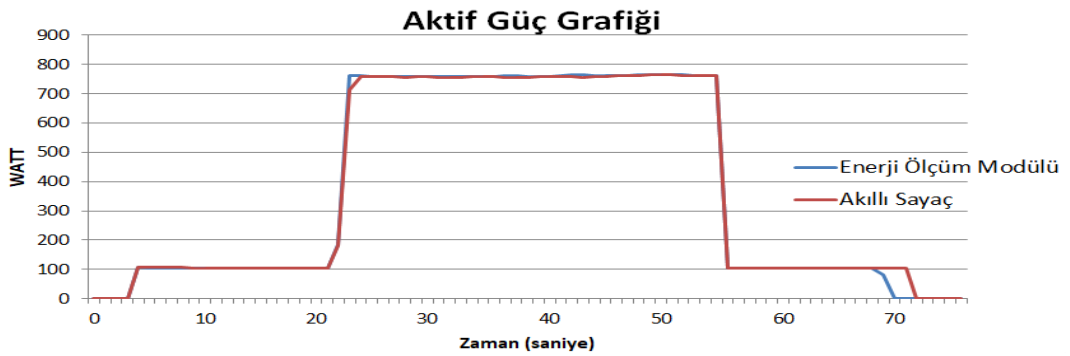
İkinci ölçüm testi ise saç kurutma makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Saç kurutma makinasının farklı kademelerde çalıştırılmasına ait ölçüm verileri toplam 80 saniye boyunca kayıt altına alınmıştır. Bu teste ait hem akıllı sayaçtan hem de enerji ölçüm modülünden alınan veriler Şekil 4.17’de yer almaktadır.



(a)



(b)



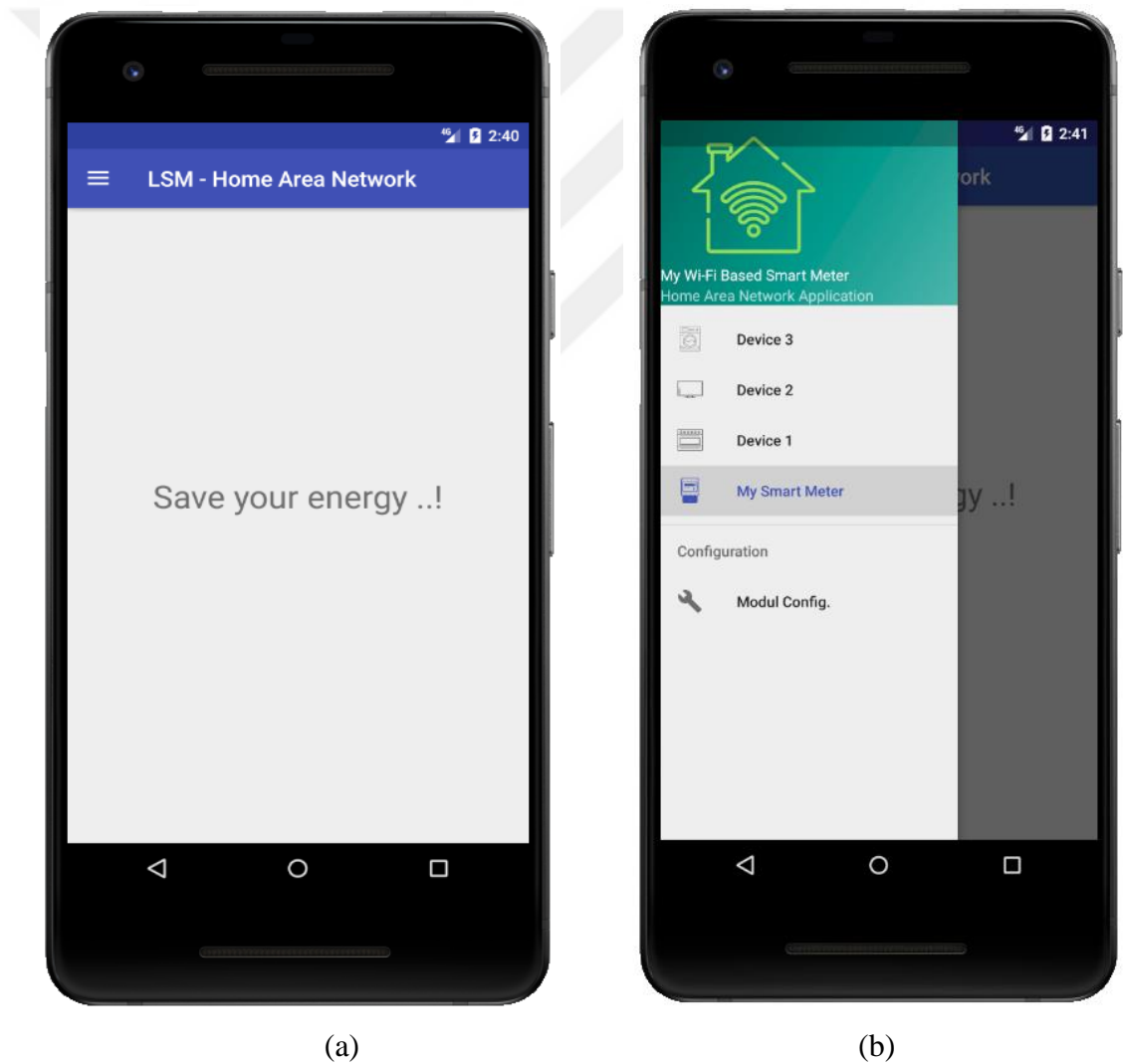
(c)

Şekil 4.17. Saç kurutma makinesi ile yapılan gerilim testi (a), akım testi (b) ve aktif güç testi grafikleri

Gerçekleştirilen bu testlere ait grafiklere bakıldığında enerji ölçüm modülünün ölçüm verilerinin akıllı sayacın ölçüm verileri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

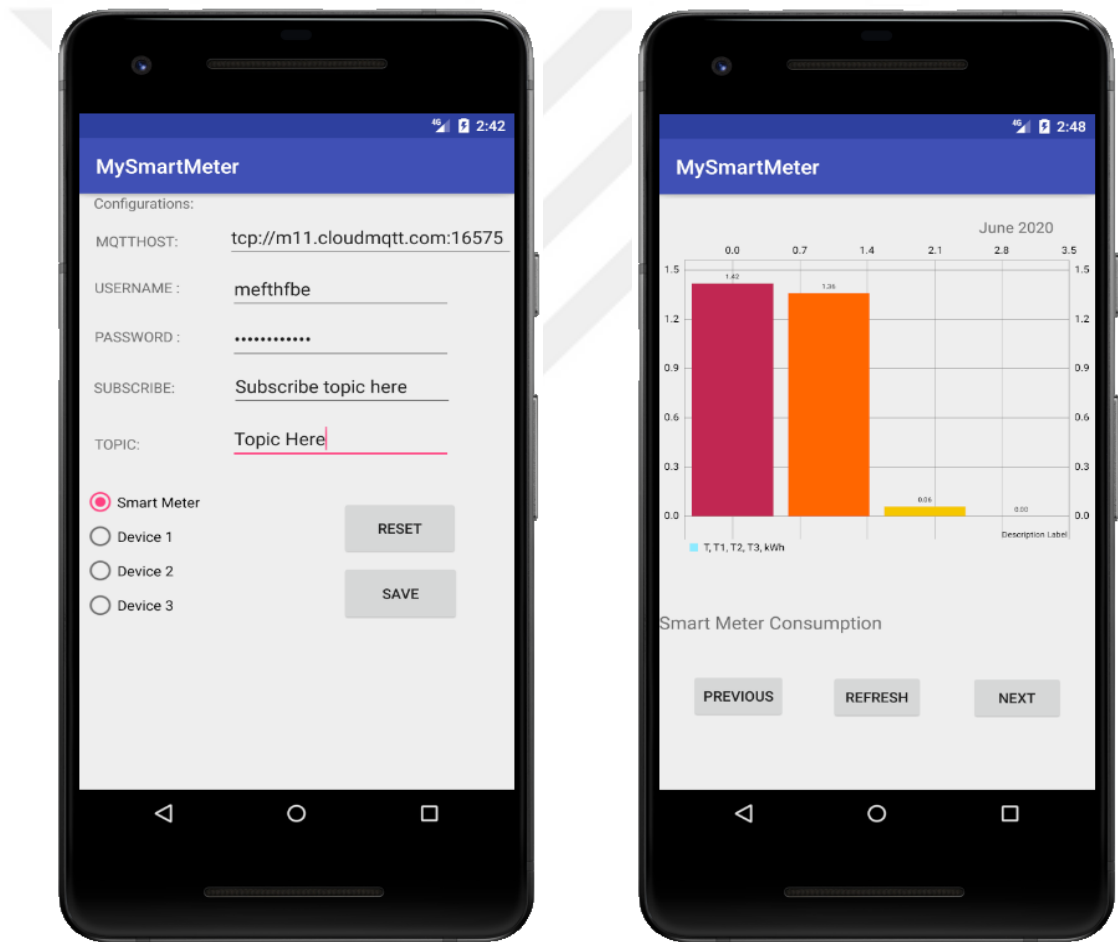
4.6. Android Studio Ortamında Geliştirilen Kullanıcı Mobil Uygulaması

Bu kısımda Android Studio ortamında geliştirilen kullanıcı mobil uygulamasına ait arayüzlere yer verilmiştir. Bu uygulama ile birlikte hem Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç verilerine hem de Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modüllerinin her birine uzaktan erişim sağlanabilmektedir. Şekil 4.18’de geliştirilen uygulamanın ana ekranına ve menü ekranına ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 4.18. Kullanıcı mobil uygulaması ana ekranı (a) ve menü ekranı (b)

Kullanıcı mobil uygulamasının menü ekranından akıllı sayaç ve enerji ölçüm modüllerinden herhangi biri seçilerek ilgili cihazın verilerine anlık olarak erişim sağlanabilmektedir. Kullanıcı mobil uygulaması da MQTT istemcisi olarak ilgili cihazlara erişim sağladığı için, mobil uygulamada her bir cihaza ait MQTT broker servisi kimlik bilgilerinin kaydedilmesi gerekmektedir. Bu işlemin tek bir sefere mahsus olmak üzere yapılması ve kaydedilmesi yeterlidir. Şekil 4.19.(a)'da konfigürasyon arayüzüne yer verilmiştir. Bu sayfada, kimlik bilgileri girilecek olan cihaz seçilerek gerekli bilgilerin girilmesi ve kaydedilmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.19.(b)'de ise akıllı sayaç tüketim verilerinin aylık olarak izlenebildiği sayfa yer almaktadır.

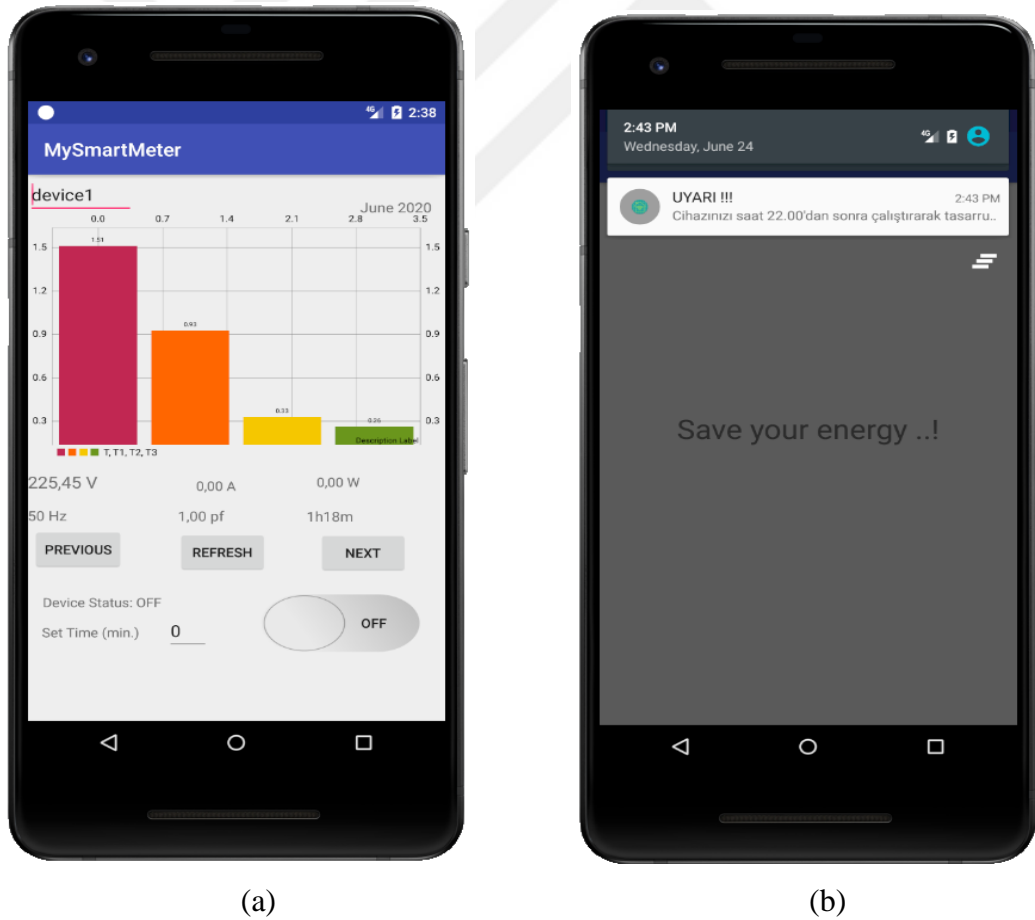


(a)

(b)

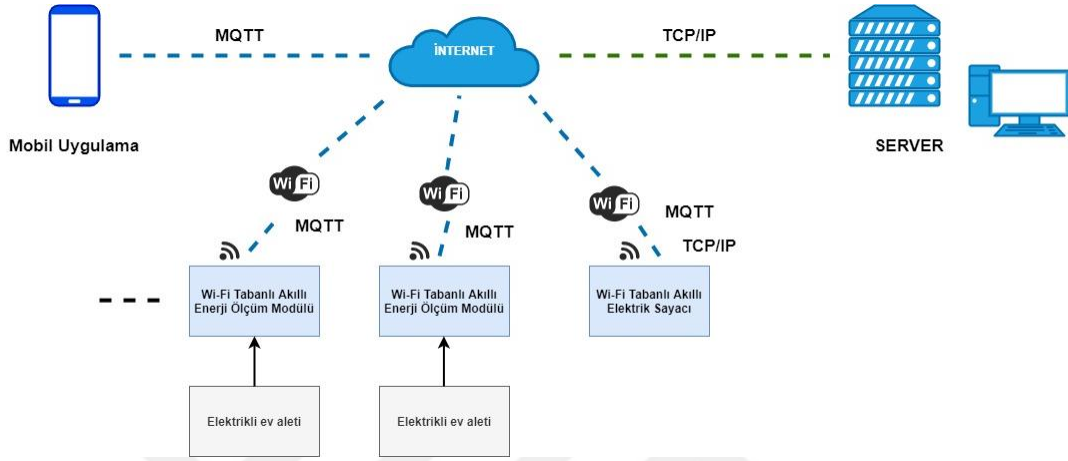
Şekil 4.19. Kullanıcı mobil uygulaması konfigürasyon ekranı (a) ve akıllı sayaç tüketim verileri takip ekranı (b)

Mobil uygulama ile her bir akıllı enerji ölçüm modülüne uzaktan erişim sağlanması mümkündür. Her bir enerji ölçüm modülünün bağlı olduğu elektrikli cihaza ait tüketim bilgileri geçmişe yönelik olarak görüntülenebilmektedir. Bunun yanında her bir cihaza ait anlık olarak gerilim, akım, aktif güç, frekans, güç faktörü, çalışma durumu ve içinde bulunulan aydaki toplam çalışma süresi bilgilerine ulaşılabilmektedir. Mobil uygulama vasıtasıyla akıllı enerji ölçüm modülleri zaman ayarlı olarak ya da açma-kapama şeklinde uzaktan yönetilebilmektedir. Şekil 4.20.(a)'da akıllı enerji ölçüm modülü verilerinin anlık olarak izlendiği sayfaya ait görsel yer almaktadır. Tüketici farkındalığının artırılması amacıyla, akıllı enerji ölçüm modülünün bağlı olduğu elektrikli cihaz gece tarif dilimi dışında çalıştırıldıysa kullanıcı mobil uygulamasına bildirim gönderilerek tüketimin gece tarif dilimine yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.20.(b)'de ise kullanıcı mobil uygulamasına gönderilen bildirim yer verilmiştir.



Şekil 4.20. Akıllı enerji ölçüm modülü takip ekranı (a) ve kullanıcıyı yönlendiren bildirim ekranı (b)

Bu tez kapsamında geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı sayacın ve akıllı enerji ölçüm modüllerinin mobil uygulama ile tek bir platformdan takip edilip yönetilebilmelerini sağlayan haberleşme protokollerine ait blok diyagramı Şekil 4.21’de yer almaktadır. Bu yapıda, Wi-Fi tabanlı akıllı sayaç ise bir sayaç veri yönetim merkezine endeks bilgilerini gönderebilmektedir.

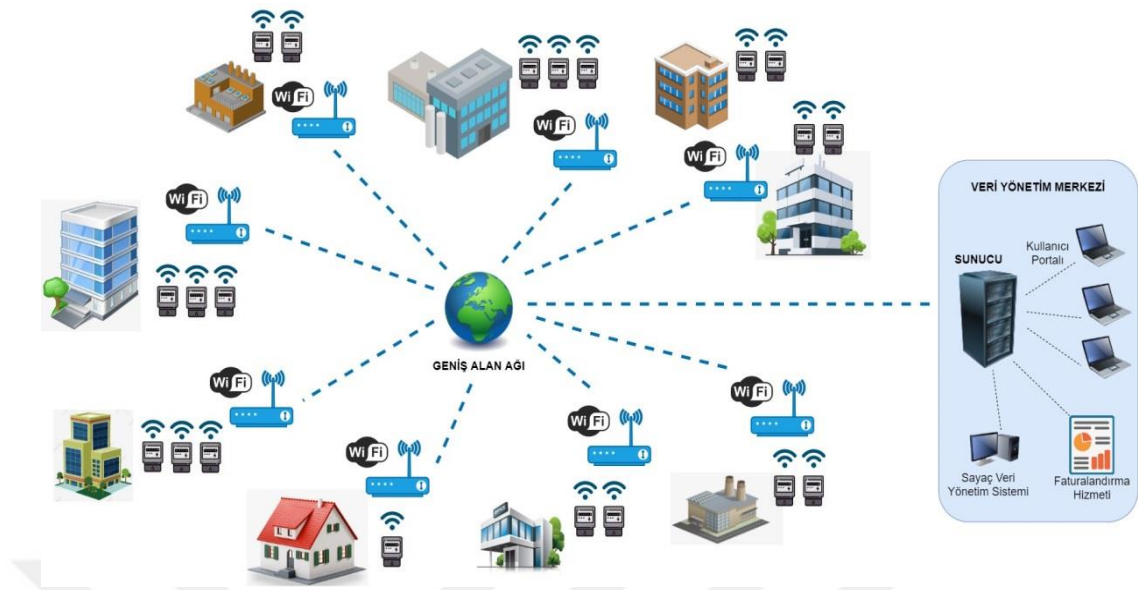


Şekil 4.21. Akıllı sayaç ve akıllı enerji ölçüm modüllerinin uzaktan yönetilmesi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında akıllı şebeke ve akıllı bina uygulamaları için Wi-Fi haberleşme sistemlerine sahip bir akıllı sayaç uygulaması geliştirilmiştir. Bu akıllı sayacın Wi-Fi üzerinden bir server ile çift yönlü olarak haberleştirilmesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, geliştirilen Wi-Fi tabanlı akıllı enerji ölçüm modülü sayesinde, elektrikli ev aletlerinin uzaktan yönetilmesi ve tüketimlerinin anlık olarak izlenebilmesi sağlanmıştır. Akıllı enerji ölçüm modülü, bağlı olduğu cihazın tüketim profilini öğrenme ve tüketim profili dışında bir enerji harcaması tespit edildiğinde cihazın enerjisini kesme özelliğine sahiptir. Geliştirilen mobil uygulama üzerinden tüketicilerin akıllı sayaç teknolojileriyle etkileşimlerinin artırılması ve tüketim farkındalığı ile enerjinin verimli kullanılmasına yönelik bir yöntem sunulmuştur. Akıllı sayaçlarla birlikte akıllı ev aletlerinin etkinliklerinin artırılmasını amaçlayan bu yöntem ile tüketicilerin enerji tasarrufuna ve enerji tüketiminin daha düşük bedellendirildiği gece tarif diliminde tüketim sergilemelerine yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Günümüzde Wi-Fi teknolojisinin yaşam alanlarımızda kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Wi-Fi özelliğine sahip akıllı sayaçlar büyük alışveriş merkezleri, toplu konut siteleri, villa kentler gibi ortak Wi-Fi ağının bulunduğu ortamlardaki müşteriler ve mağazaların sayaçlarının uzaktan okunması, erişimi ve kontrolü için ek bir masraf ya da altyapı gerektirmeyen basit yapıda bir çözüm getirecektir. Bu tez kapsamında önerilen akıllı sayaçlarda Wi-Fi haberleşme altyapısı Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Akıllı sayaçlarda Wi-Fi haberleşme altyapısı

Günümüzde nesnelerin interneti teknolojilerine sahip ürünlerde güvenlik en önde gelen kaygılardan bir tanesidir. Akıllı sayaçlar bir elektrik şebekesindeki ilk ve en önemli bilgileri üretmektedir. Bu nedenle elektrik sayaçlarına yapılacak usulsüz müdahalelerle birlikte sayaç verilerine müdahale edilmesi ve sayaç veri merkezine doğruluğu değiştirilmiş verilerin gönderilmesine neden olacaktır. Wi-Fi haberleşmesine sahip akıllı sayaçlar ile sayaç veri merkezi arasında her sayaç üreticisi firmanın kendi belirlemiş olduğu yapıda JSON formatında veri gönderilmesi ilk öneridir. Bunun yanında akıllı sayaçlar ile sayaç veri merkezi arasında SSL/TLS yapısında güvenli bir şekilde veri iletimi sağlanması bir diğer önerilen yöntemdir. Akıllı sayaç teknolojilerinde kontrol merkezleriyle kriptolu veri iletişimi sağlanmaktadır. Wi-Fi tabanlı akıllı sayaçların sayaç veri merkezleriyle iletişimde uluslararası standartlara sahip yüksek güvenli AES, BLOWFISH, DES, 3DES veya RSA gibi güncel kriptolama algoritmalarından birini kullanması bir başka çözüm önerisi olacaktır.

Bu tez önerisinde önerilen Wi-Fi teknolojisi ile haberleşme yönteminde sayaçların bağlanacağı Wi-Fi modemlerde port yönlendirmesi yapılması gerekmektedir. Bu işlem için de internet sağlayıcı servislerden sabit IP satın alınması gerekmektedir. Sabit yapıda IP satın alma işleminin her ay bir ücrete tabi tutulması

bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, akıllı sayaçların bağlandığı Wi-Fi modemlerinin enerjisinin kesilmesi ya da şifresinin değiştirilmesi gibi durumlarda sayaçların Wi-Fi bağlantılarının kopması da bir başka dezavantajdır.

Wi-Fi ağı üzerinden veri alışverişi yapan cihazlara siber saldırılar yaparak veri trafiğinin dinlenmesi, Wi-Fi modemlere siber saldırılar yapılarak bağlantılarının etkisizleştirilmesi gibi diğer senaryolar da akıllı sayaç teknolojilerinde Wi-Fi teknolojisinin kullanımı için bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı sayaç sistemlerinde alternatif iletişim ağlarının değerlendirilmesi önemli bir konudur. Bu kapsamda, bir bina içinde yer alan sayaç panosundaki tüm sayaçların GSM, PLC ya da RF modemlerle Wi-Fi teknolojisi üzerinden haberleşmesinin sağlanması ve mesh yapıda ağ kurulması önemli bir çözüm önerisi olabilir. Bu sistemde su sayaçlarının da Wi-Fi ağı ile elektrik sayaçlarının bağlandığı modeme veri göndermesi ve bir bina içindeki farklı hizmetteki sayaçların tek bir modem üzerinden okunması maliyet anlamında daha uygun bir çözüm getirebilecektir.

Ülkemizde henüz uygulaması olmamasına rağmen ön ödemeli sayaç teknolojisi dünyada bazı ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır. Ön ödemeli sayaç teknolojisinde RFID kartlar ile sayaçlara kredi yüklenmesi söz konusudur. Wi-Fi teknolojisi ile ön ödemeli sayaçların güvenli ve interaktif bir arayüz sunması sayesinde bir mobil cihaz üzerinden kredi yükleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Bu sayede RFID kartlarıyla gerçekleştirilen yöntemle interaktif ve daha basit yapıda bir alternatif üretilebilecektir. Bunun yanında hibrit haberleşme sistemine sahip akıllı sayaçlar giderek popüler konuma gelmektedir. Akıllı sayaç ürünlerine Wi-Fi modüllerinin ilave edilerek uzaktan OTA (Over the Air) güncellemelerinin gerçekleştirilmesi de bir diğer avantaj olarak nitelendirilebilir.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntemlere alternatifler üretilmesi, Wi-Fi teknolojilerinin akıllı sayaç ürünlerinde kullanımları ve tüketicilerin akıllı sayaç teknolojilerinden daha etkin olarak faydalanmaları mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] B. W. J. Rose, The Case for WiFi Smart Meters. (Web Sayfası: <http://www.wjrconsulting.com/files/51834863.pdf>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [2] Al-Turjman, F., Abujubbeh, M. IoT-enabled smart grid via SM: An overview. *Future Generation Computer Systems*. 2019, 96, 579-590.
- [3] Abate, F., Carratù, M., Liguori, C., Paciello, V. A low cost smart power meter for IoT. *Measurement*. 2019, 136, 59-66.
- [4] Štastný, L., Franek, L., Fiedler, P. Wireless communications in smart metering. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013, 12(1), 330-335.
- [5] Li, L., Xiaoguang, H., Jian, H., Ketai, H. Design of new architecture of AMR system in Smart Grid. 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, June, 2011, Beijing, China, (2025-2029).
- [6] Parvez, I., Khan, T., Sarwat, A. I., Parvez, Z. LAA-LTE and WiFi based smart grid metering infrastructure in 3.5 GHz band. In 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, December 21-23, 2017, Dhaka, Bangladesh, (151-155).
- [7] Shafeeq, M. Design and Implementation of Automatic Electric Meter Using Wi-Fi Technology. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2017, 43 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [8] Bayındır, R. and Demirtaş, K. Akıllı Şebekeler: Elektronik Sayaç Uygulamaları. *Politeknik Dergisi*. 2014, 17(2), 75-82.
- [9] Duman, H. Elektrik Sayaçlarının Kablosuz Algılayıcı Ağ Tabanlı Bir Sistem ile Uzaktan İzlenmesi ve Kontrolü. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2018, 100 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Kocaman, B. Teknik Olmayan Enerji Kayıplarının Azaltılmasında PLC Sayaçlarının Önemi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2018, 7(2), 220-230.
- [11] Karakaş, H. Akıllı Sayaç Kullanımının Türkiye’de Konutlarda Elektrik Tüketimi ve Harcamaları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2017, 113 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [12] García, V. de la F. Evaluation of new Electricity Meters Communication protocol. Lund University, Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund, 2012, 116 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [13] Soman, S. Analysis and Characterization of Wireless Smart Power Meter. Colorado State University, Department of Electrical and Computer Engineering, Colorado, 2014, 106 s. (Yüksek Lisans Tezi).

- [14] Jiang, Z. Design and Implementation of a Smart Meter Prototype Using AVR465 Microcontroller. Vaasa University of Applied Sciences, Degree Programme in Information Technology, Vaasa, 2015, 37 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [15] Güçlü, B., Bayrakçı, H. C., Süzen, A. A. Elektrik Sayaçlarının Uzaktan Okunması Ve Enerji Analizi. SDU International Journal of Technological Science. 2018, 10(3).
- [16] Saikia, L. C., Das, H., Choudhury, N. D., Malakar, T. GPRS enabled smart energy meter with in-home display and application of time of use pricing. IEEE Annual India Conference (INDICON), December 16-18, 2016, Bangalore, India, (1-5).
- [17] Mendi, Y. M., Akinc, H., Başalan, İ., Atlı, D., Civelek, Y. Design and Implementation of Smart Meters with Hybride Communication System Architecture. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), September 29-October 2, 2019, Bucharest, Romania, (1-5).
- [18] Hlaing, W., Thepphaeng, S., Nontaboot, V., Tangsunantham, N., Sangsuwan, T., Pira, C. Implementation of WiFi-based single phase smart meter for Internet of Things (IoT). International Electrical Engineering Congress, March 8-10, 2017, Thailand, (1-4).
- [19] Rajesh, B. R., Kumar, S. M., Sharief, N. Z., Kothari, S., Ezhilarasan, K. IoT based automatic energy metering system with prepaid/postpaid configurability. International Conference On Smart Technologies For Smart Nation, August 17-19, 2017, Bengaluru, India, (592-595).
- [20] Kul, B., Şen, M. Energy saving IoT-based advanced load limiter. XXVI International Scientific Conference Electronics, September 13-15, 2017, Sozopol, Bulgaria, (1-5).
- [21] Muhendra, R., Rinaldi, A., Budiman, M. Development of wifi mesh infrastructure for Internet of Things applications. Procedia engineering. 2017, 170, 332-337.
- [22] Kıral, G. E. Akıllı Şebekelerde Enerji Yönetimi İçin Akıllı Priz Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2014, 83 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [23] Usta, O., Yumak, K. Akıllı Elektrik Şebekeleri ve Veri İletişimi-Smart Grid and Data Communication. TMMOB EMO Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 2013.
- [24] International Energy Agency World Energy Outlook 2019 raporu. (Web Sayfası: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [25] Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi, ELDER, EPDK. (Web Sayfası: <https://www.akkilisebekelerturkiye.org/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [26] Dileep, G. A survey on smart grid technologies and applications. Renewable

Energy. 2020, 146, 2589-2625.

- [27] Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G., Demirtas, K. Smart grid technologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, 66, 499-516.
- [28] Barai, G. R., Krishnan, S., & Venkatesh, B. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid-a review. *IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, October 26-28, 2015, London, Ontario, Canada, (138-145).
- [29] Deloitte Türkiye Yayınları, Akıllı Sayaç Sistemleri: Avrupa uygulamaları analizi ve Türkiye uygulamaları üzerine düşünceler. (Web Sayfası: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy-resources/akıllı-sayac-sistemleri.pdf>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [30] Malik, O. P. Evolution of power systems into smarter networks. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*. 2013, 24(1-2), 139-147.
- [31] Avancini, D. B., Rodrigues, J. J., Martins, S. G., Rabêlo, R. A., Al-Muhtadi, J., Solic, P. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 217, 702-715.
- [32] Sun, Q., Li, H., Ma, Z., Wang, C., Campillo, J., Zhang, Q., Guo, J. A comprehensive review of smart energy meters in intelligent energy networks. *IEEE Internet of Things Journal*. 2015, 3(4), 464-479.
- [33] Sharma, K., Saini, L. M. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, 49, 720-735.
- [34] Dağıtım Şirketlerince Kurulacak Osos Kapsamına Dahil Edilecek Sayaçların, Haberleşme Donanımının ve İlave Teçhizat ve Altyapının Ortak Asgari Teknik Özellikleri. (Web Sayfası: <https://www.epdk.org.tr/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [35] Demirbaş, Ş., Bal, G., Gülönü, R. Enerji Hatları Üzerinden Elektrik Sayacının Okunması Ve Deneysel Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*. 2016, 4(1), 1-11.
- [36] Usman, A., & Shami, S. H. Evolution of communication technologies for smart grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, 19, 191-199.
- [37] Galli, S., & Lys, T. Next generation narrowband (under 500 kHz) power line communications (PLC) standards. *China Communications*. 2015, 12(3), 1-8.
- [38] Usta, O., Sonsuz, K., Eksi, S. Akıllı Sayaç Okunma Sistemleri için Alternatif İletişim Ağlarının Değerlendirilmesi. 13. Ulusal Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Kongresi, 2008, Ankara.
- [39] Carratù, M., Ferro, M., Paciello, V., Pietrosanto, A., Sommella, P. Performance analysis of wm-bus networks for smart metering. *IEEE Sensors Journal*. 2017, 17(23), 7849-7856.

- [40] Ke, C. H., Hsieh, S. Y., Lin, T. C., Ho, T. H. Efficiency network construction of advanced metering infrastructure using Zigbee. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 2018, 18(4), 801-813.
- [41] Parvez, I., Sundararajan, A., Sarwat, A. I. Frequency band for HAN and NAN communication in Smart Grid. *IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, December 9-12, 2014 Orlando, Florida, USA, (6–10).
- [42] Luan, S. W., Teng, J. H., Chan, S. Y., Hwang, L. C. Development of a smart power meter for AMI based on ZigBee communication. *International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, November 2-5, 2009, Taipei, Taiwan, (661-665).
- [43] Somkaew, W., Thepphaeng, S., Pirak, C. Data security implementation over ZigBee networks for AMI systems. *11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, May 14-17, 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand, (1-5).
- [44] Daravath, V., Daravath, A. WIMAX (IEEE 802.16) broad band technology for smart grid applications. In *2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, April 2-4, 2015, Melmaruvathur, Tamilnadu, India, (1273-1275).
- [45] Gangwar, A. K., Alam, M. S. A miniaturized quad-band antenna with slotted patch for WiMAX/WLAN/GSM applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*. 2019, 112, 152911.
- [46] Sivaneasan, B., Kumar, K. N., So, P. L., Gunawan, E. A hybrid PLC-WiMAX based communication system for advanced metering infrastructure. *10th International Power & Energy Conference (IPEC)*, Dec 12-14, 2012, Ho Chi Minh City, Vietnam, (386-390).
- [47] Khan, R. H., Khan, J. Y. A heterogeneous WiMAX-WLAN network for AMI communications in the smart grid. *IEEE Third International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Nov 5-8, 2012, Tainan, Taiwan (710-715).
- [48] Öztemür, M., Soysal, B. Akıllı Şebekeler Yolunda Akıllı Sayaçlar. *Akıllı Şebekeler Sempozyumu*, 26-27 Nisan 2013, Ankara.
- [49] 6446 Güncel Elektrik Piyasası Kanunu. (Web Sayfası: <https://www.epdk.org.tr/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [50] Akıllı Sayaç Pilot Projesi. (Web Sayfası: <http://www.elder.org.tr/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [51] Luna Akıllı Sayaçlar | Smart Meters. (Web Sayfası: <https://www.lunatr.com/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [52] European smart metering benchmark - Benchmarking Smart Metering Deployment in the EU-28. (Web Sayfası: [https://www.vert.lt/SiteAssets/teises-aktai/EU28 Smart Metering Benchmark](https://www.vert.lt/SiteAssets/teises-aktai/EU28_Smart_Metering_Benchmark))

- Revised Final Report.pdf) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [53] Elektronik Elektrik Sayaçları Teknik Şartnamesi. (Web Sayfası: <https://www.tedas.gov.tr/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [54] Ölçü Aletleri Yönetmeliği. (Web Sayfası: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/06/20160629-22.htm>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [55] Implementation of a Single-Phase Electronic Watt-Hour Meter Using the MSP430F6736 (A). (Web Sayfası: <http://www.ti.com/lit/an/slaa517e/slaa517e.pdf>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [56] RS-485. (Web Sayfası: <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-485>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [57] Akkuş, S., Gömülü Sistem Tabanlı, Kriptolu Tcp/Ip Veri Haberleşmesi Uygulaması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2016, 93 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [58] RiLi, H. Research and application of TCP/IP protocol in embedded system. IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, May 27-29, 2011, Xi'an, China, (584-587).
- [59] MQTT github. (Web Sayfası: <https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [60] MQTT. (Web Sayfası: <https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [61] Eclipse Foundation, Eclipse IoT Developer Survey 2019. (Web Sayfası: <https://iot.eclipse.org/community/resources/iot-surveys/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [62] Texas Instruments, CC3220R, CC3220S, and CC3220SF SimpleLink™ Wi-Fi® Single-Chip Wireless MCU Solutions. (Web Sayfası: https://www.ti.com/lit/ds/swas035b/swas035b.pdf?ts=1593175032002&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [63] ESP8266 Series Development Boards. (Web Sayfası: <https://www.espressif.com/en/products/hardware/development-boards>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [64] HLK-PM01 Datasheet. (Web Sayfası: <https://datasheetspdf.com/datasheet/HLK-PM01.html>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [65] CloudMQTT- Hosted message broker for the Internet of Things. (Web Sayfası: <https://www.cloudmqtt.com/>) (Erişim Tarihi: Haziran 2020).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilal KARAMAN

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1995

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : bilal.karaman@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Hasan Türek Anadolu Lisesi, 2013

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2017

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ...

Mesleki Deneyim

Manisa Celal Bayar Üniversitesi 2018-...(halen)

Yayımları

Karaman, B., Taskin, S., Toprak, Y., Tuncer, A., Autonomous Photovoltaic Panel Cleaning Robot. Manisa Celal Bayar University, Usitem 1. International University Industry Cooperation, R&D and Innovation Congress, 18-19 December, 2017, (10).

Karaman, B., & TAŞKIN, S. WI-FI TABANLI AKILLI ENERJİ ÖLÇÜM MODÜLÜ ve MOBİL TAKİP UYGULAMASI GELİŞTİRİLMESİ, 2019.