

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KLASİK ELEKTRİK SAYAÇLARININ AKILLI
ŞEBEKELERE ENTEGRASYONU İÇİN YENİ BİR
YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAMURAN IŞIK

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSA ÇIBUK

EYLÜL 2024

BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KLASİK ELEKTRİK SAYAÇLARININ AKILLI
ŞEBEKELERE ENTEGRASYONU İÇİN YENİ BİR
YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAMURAN IŞIK
ORCID: 0009-0001-5502-6588

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSA ÇIBUK

EYLÜL 2024

BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisiyim. Hazırlamış olduğum “**Klasik Elektrik Sayaçlarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu için Yeni Bir Yaklaşım**” başlıklı tezde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi; kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı; bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 02/09/2024

İmza

Kamuran IŞIK

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK BEYANI

“Klasik Elektrik Sayaçlarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu için Yeni Bir Yaklaşım” başlıklı yüksek lisans tezi Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır. 02/09/2024

Tezi Hazırlayan

Danışman

İmza

Kamuran IŞIK

İmza

Doç. Dr. Musa ÇIBUK

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

İmza

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY SAYFASI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Kamuran IŞIK tarafından hazırlanan “**Klasik Elektrik Sayaçlarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu için Yeni Bir Yaklaşım**” adlı Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tez savunma sınavı, 02/09/2024 tarihinde yapılmış ve tezin oy birliği/ oy çokluğu ile kabul/ red edilmesine karar verilmiştir.

JÜRİ:

İMZA

Danışman: Doç. Dr. Musa ÇIBUK

(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Üye: Doç. Dr. Ümit BUDAK

(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Üye: Doç. Dr. Mustafa ULAŞ

(Fırat Üniversitesi)

.....

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun/....../2024 tarih ve sayılı kararıyla jüri tarafından kabul edilmiş bu çalışmanın yüksek lisans tezi olarak kabulü onaylanmıştır.

....../....../2024

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL

Enstitü Müdürü

T.C.

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**KLASİK ELEKTRİK SAYAÇLARININ AKILLI ŞEBEKELERE
ENTEGRASYONU İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM**

Kamuran IŞIK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Musa ÇIBUK

Eylül 2024

ÖZET

Bireysel enerji gereksinimi ve nüfus yoğunluğunun artış göstermesiyle orantılı olarak enerji talebinin artış göstermesi güvenli, verimli ve doğa dostu bir yanıt bulabilmesi gereksinimi, akıllı şebekelerin kullanımını gündeme getirmiştir. Akıllı şebekeler ve haberleşme bütün bir halde bulunan iki kavram olup birbiri üzerinde oldukça etki oluşturmaktadır. Akıllı şebekeler, teknolojinin gelişmesi ile birlikte günlük hayatta yerini almış, zaman içerisinde geliştirilmiş ve küresel bir hale dönüşmüştür. Bugün insan yaşamı için olmazsa olmaz sistemler arasında bulunan elektronik yapılar, teknolojinin ilerlemesiyle yerini gün geçtikçe sağlamlaştırmaktadır. Akıllı şebekelerin en önemli bileşenlerinden biri de akıllı sayaçlardır. Akıllı sayaçlar enerjinin doğru bir şekilde ölçülebilmesini ve çift taraflı bilgi akışını sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, Akıllı şebekelerin geleceği noktalar ve mevcut düzende yaşam üzerindeki önemine değinilmiştir. Birbirleri için vazgeçilmez unsur olan akıllı şebekeler ve haberleşme sistemlerine ilişkin temel noktalar ele alınmıştır. Örnek bir uygulama üzerinde, klasik sayaçların akıllı şebekelerin olmazsa olmazı olan akıllı sayaçlara dönüşümü gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Klasik elektrik sayaçları, akıllı elektrik sayaçları, akıllı şebekeler, haberleşme, enerji dağıtımı

Republic of Türkiye

Bitlis Eren University Graduate School

Department of Electrical and Electronics Engineering

**A NEW APPROACH FOR INTEGRATION OF CLASSICAL ELECTRICITY
COUNTERS INTO SMART GRIDS**

Master's Thesis

Kamuran IŞIK

Supervisor: Assoc. Prof. Musa ÇIBUK

September 2024

ABSTRACT

The increase in energy demand in proportion to the increase in individual energy needs and population density, and the need to find a safe, efficient and environmentally friendly response has brought the use of smart grids to the agenda. Smart grids and communication are two integrated concepts that have a significant impact on each other. Smart grids have taken their place in daily life with the development of technology, have been developed over time and have become global. Electronic structures, which are among the indispensable systems for human life today, are strengthening their place day by day with the advancement of technology. One of the most important components of smart grids is smart meters. Smart meters enable accurate energy measurement and two-way information flow.

In this thesis, the future of smart grids and their importance on life in the current order are mentioned. The basic points regarding smart grids and communication systems, which are indispensable for each other, are discussed. In an example application, the transformation of classical meters into smart meters, which are indispensable for smart grids, is demonstrated.

Keywords: Classic electricity meters, smart electricity meters, smart grids, communication, energy distribution

ÖNSÖZ

Enerji, haberleşme teknolojisi siber fiziksel sistemlerle yeni bir dünya başlatmıştır ve bu gelişime uyum gösterebilmenin yolu akıllı şebekelere altyapı yatırımlarıyla mümkündür. Uzun zamandır ağır ilerleyen elektrik sektörü, akıllı şebekeler ve beraberinde kaçınılmaz teknoloji olan haberleşme ile hızlı bir gelişim içerisine girmiştir. Akıllı şebekelere geçiş, enerji ve iş gücünde verimliliği arttıracak için önemlidir. Konuya ülkeler boyutunda bakacak olursak akıllı şebekeler ve haberleşmeyi çağın gerekliliğine uygun geliştirememiş ülkeler, bunu sağlamış ülkelerle yarışamayacakları düşünülmektedir. Kesintisiz enerji, kaliteli hizmet sunmak için akıllı şebekeler ve beraberinde gerekli olan haberleşme teknolojisini en son teknoloji ile insanlığa ve ülkemize katabilmek amacıyla var olan çalışmalar ışığında okuyuculara yeni fikirler katmak hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, ülkemizde yapılan akıllı şebeke çalışmalarına katkıda bulunmak hedeflenmektedir. Tez çalışması kapsamında klasik elektrik sayaçlarının akıllı şebekelere entegrasyonu için örnek bir uygulama yapılmış ve ülkemizdeki mevcut klasik sistemlerin akıllı şebekelere nasıl entegre edilebileceğine dair bir ışık tutulmuştur.

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde yardımlarını esirgemeyen, tez yönetimi boyunca yaşadığım problemlerin çözümünde tecrübesiyle beni yönlendiren ve aydınlata danışmanım Sayın Doç. Dr. Musa ÇIBUK'a ve anabilim dalı başkanım Sayın Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ'ye gönülden teşekkür ederim.

Kamuran IŞIK

02/09/2024

İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ.....	1
1.1	Araştırmanın Amacı	2
1.2	Araştırmanın Konusu	3
1.3	Literatür Özetleri.....	4
1.4	Araştırmanın Literatüre Katkıları.....	6
2	MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1	Klasik Şebekeler	7
2.2	Akıllı Şebekeler	7
2.2.1	Akıllı Şebekenin Tanımı ve Kapsamı	8
2.2.2	Dünyada Akıllı Şebeke Çalışmaları.....	12
2.2.3	Türkiye’de Akıllı Şebeke Çalışmaları	13
2.2.4	Akıllı Şebeke İhtiyacı	13
2.2.4.1	Güç Kalitesi	13
2.2.4.2	Artan Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu İhtiyacı	14
2.2.4.3	Teknolojik Gelişmeler	14
2.2.5	Akıllı Şebeke Teknolojileri	15
2.2.5.1	Gelişmiş Ölçüm Altyapısı.....	15
2.2.5.2	Talep Yanıtı.....	16
2.2.5.3	İşletme Verimliliği ve Optimal Sistem Yönetimi	17
2.2.5.4	Enerji Depolama Elemanları	17
2.2.6	Akıllı Şebeke Sorunları.....	18
2.2.6.1	Teknik Sorunlar	18
2.2.6.2	Ticari ve Finansal Sorunlar	19
2.2.6.3	Hukuki Sorunlar	20
2.2.7	Akıllı Şebekelerin Sağladığı Avantajlar.....	20

2.2.7.1	Enerji Depolama	20
2.2.7.2	Elektrik Kesintilerinin Öngörülmesi	21
2.2.7.3	Siber Güvenliğin Sağlanması	23
2.2.7.4	Karbon Salınımının Azaltılması	24
2.2.7.5	Elektrik Tüketiminde Düşük Fiyatlandırma	24
2.2.8	Akıllı Şebekelerin Kullanım Alanları	24
2.2.8.1	Akıllı Üretim	24
2.2.8.2	Akıllı İstasyonlar	25
2.2.8.3	Akıllı Dağıtım	25
2.2.8.4	Haberleşme	25
2.2.8.5	Akıllı Sayaçlar	25
2.2.9	Akıllı Şebekelerin Ekonomik Getirileri	26
2.2.9.1	Dağıtım Tarifesi	26
2.2.9.2	Kayıp Azaltma	26
2.2.9.3	Enerji Verimliliği	27
2.2.10	Akıllı Şebekelerin Geçmişten Günümüze Gelişimi	27
2.2.11	Akıllı Şebekelerin Gelecekteki Yeri ve Önemi	32
2.2.12	Akıllı Şebekelerde Haberleşme	34
2.2.12.1	Haberleşme Teknolojileri	34
2.2.12.2	Kablolu Haberleşme	37
2.2.12.3	Kablosuz Haberleşme	37
2.3	Sayaçlar	38
2.3.1	Elektrik Sayaçlarının Gelişimi	39
2.3.2	Zamana Göre Elektrik Sayacı Kullanımı	39
2.3.3	Klasik Sayaçlar	40
2.3.4	Akıllı Sayaçlar	41

2.4	IEC 62056-21 Protokolü	42
2.5	ESP32 NodeMCU.....	44
3	BULGULAR VE TARTIŞMA	46
3.1	Sayaç Okuma Sistemi	46
3.2	PCB Tasarımı.....	48
3.3	Sistemin Çalışması ve Yazılımı	52
3.4	Windows Yazılımı	54
3.5	ESP32 NodeMCU Konfigürasyonu	56
4	SONUÇ ve ÖNERİLER	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Akıllı şebeke ve klasik şebekenin karşılaştırması	11
Çizelge 2.2. Klasik şebeke ve akıllı şebeke karşılaştırması [52]	22
Çizelge 2.3. Akıllı şebekelerde kullanılan ve kullanılması beklenen haberleşme teknolojileri [60].....	36
Çizelge 2.4. Çok zamanlı abonelik tarifeleri	40
Çizelge 2.5. Bazı OBIS kodları.....	43



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Örnek akıllı şebeke modeli	9
Şekil 2.2. Akıllı Şebekenin Gelişimi [30]	15
Şekil 2.3. Gelişmiş ölçüm yapısı ve bileşenleri [33]	16
Şekil 2.4. Akıllı enerji dağıtım şebekesi katmansal ve sistemsel yapısı	27
Şekil 2.5. Örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısı [12]	33
Şekil 2.6. Örnek bir klasik elektrik sayacı	40
Şekil 2.7. IEC 62056-21 iletişim sırası	44
Şekil 2.8. NodeMCU v3	44
Şekil 2.9. NodeMCU pin diyagramı	45
Şekil 3.1. Elektrik sayaçlarında optik port	47
Şekil 3.2. Optik port haberleşme kablosu	47
Şekil 3.3. Optik port haberleşme kablosunun iç elektrik devre şeması	48
Şekil 3.4. Programlama anahtarı	49
Şekil 3.5. Tasarlanan prototip sistemin blok şeması	49
Şekil 3.6. Tasarlanan prototip sistemin devre şeması	50
Şekil 3.7. 74HC4052 entegre devresinin iç yapısı	51
Şekil 3.8. Geliştirilen prototipin baskı devre çizimi	51
Şekil 3.9. IEC62056-21 protokolü örnek haberleşme formatı	52
Şekil 3.10. Geliştirilen prototip yazılımının akış diyagramı	53
Şekil 3.11. Sistem yazılımı arayüzü	54
Şekil 3.12. Sistem yazılımı akış diyagramı	55
Şekil 3.13. NodeMCU parametre yükleme yazılımı	56
Şekil 3.14. Geliştirilen prototip sistemin örnek bir görseli	57

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
ACK	: İzin verildi/Onay Verildi (Acknowledgement)
AMR	: Otomatik Sayaç Okuma (Automatic Meter Reading)
AG	: Alçak Gerilim
AMI	: Gelişmiş Ölçüm Altyapısı (Advance Measurement Infrastructure)
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
ATM	: Eşzamansız Aktarım Modu (Asynchronous Transfer Mode)
BPL	: Geniş bant Güç Hattı (Broadband Power Line)
CAPEX	: İlk Yatırım Maliyeti veya Sermaye Maliyeti (Capital Expenditures)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
DSL	: Dijital Abonelik Hattı (Digital Subscriber Line)
EDAŞ	: Elektrik Dağıtım A.Ş.
EDGE	: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EDT	: Enerji Depolama Teknolojileri
EEPROM	: Elektrikle Silinebilen Programlanabilir Salt Okunur Hafıza
EGPRS	: Enhanced General Packet Radio Service
EMI	: Elektromanyetik Parazit (Electromagnetic Interference)
EMS	: Enerji Yönetim Sistemi (Energy Management System)
GND	: Toprak Ucu (Ground)
GPON	: Gigabit Passive Optical Network
GPRS	: Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)
GSM	: Mobil İletişim için Küresel Sistem
IDE	: Tümüleşik Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)

IP	: Internet Protokolü (Internet Protocol)
IR	: Kızılötesi (Infrared)
KhZ	: Kilo hertz
KVa	: Kilovolt amper
kWh	: Kilowatt Saat
LAN	: Yerel Alan Ağı (Local Area Network)
LCD	: Likit Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light-Emitting Diode)
MCU	: Mikro Kontrolcü Birim (Micro Controller Unit)
Mhz	: Megahertz
MW	: Megawatt
NACK	: İzin verilmedi/Onay Verilmedi (Not acknowledgement)
OBIS	: Nesne Tanımlama Sistemi (Object Identification System)
OG	: Orta Gerilim
PHEV	: Plug-in Hybrid Electrical Vehicle
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller)
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
QoS	: Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi (Quality of Service)
RF	: Radyo Frekans (Radio Frequency)
RX	: Alıcı (Receiver)
SCADA	: Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition)
SDH	: Senkronize Dijital Hiyerarşi (Synchronous Digital Hierarchy)
SG	: Akıllı Şebeke (Smart Grid)
SHED	: Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama
SMED	: Tek Dakikada Kalıp Değişimi (Single-Minute Exchange of Dies)

SMLC	: Akıllı Üretim Liderlik Koalisyonu
SoC	: Yongada Sistem (System on a Chip)
SONET	: Senkronize Optik Ağ (Synchronized Optic Network)
SSID	: Hizmet Seti Kimliği (Service Set Identifier)
TCP	: Aktarım Kontrol Protokolü (Transmission Control Protocol)
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
TX	: Gönderici (Transmitter)
UART	: Evrensel Asenkron Alıcı/Gönderici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
USB	: Evrensel Seri Yol (Universal Serial Bus)
Wi-Fi	: Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
WiMAX	: Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
WMN	: Kablosuz Örgü Ağı (Wireless Mesh Network)
WPAN	: Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network)
WSN	: Kablosuz Sensör Ağı (Wireless Sensor Network)
YG	: Yüksek Gerilim

1 GİRİŞ

Akıllı şebeke; tüketici ve tedarikçiler arasında aynı anda elektronik iletişimin gerçekleştirilmesi amacıyla oluşturulan izleme sistemleri ve akıllı sayaçların elektrik şebekelerine ilave edilerek bu şebekelerin takip edilmesi, güncel hale getirilmesi ve nitelikli şekilde enerji dağıtım sağlanırken, tüketici güvenliğinin mümkün olan en üst düzeyde çıkarılmasını amaçlayan bir yaklaşım şeklidir [1].

Akıllı şebekeler ekonomik bakımdan verim sağlayan, işgücünü azaltıcı, güvenli sunmayı ve yüksek kaliteyi amaç edinen, enerjiyi üretildiği noktadan tüketime entegre biçimde ve devam ettirilebilir aktarım sağlanan, uygun hale getiren, kendisi için yeterli olan sistemler şeklinde de tanımlanmaktadır [2].

Tüm canlılar arasında mümkün olan bilgi alışverişine haberleşme adı verilmektedir. İnsanoğlu var olduğundan beri haberleşme, insan yaşamı üzerinde etki eden önemli unsurlar arasında yer almaktadır. İnsanlar daima kendilerini ifade etme gereksinimi duymuşlardır. Özet olarak haberleşme, bir bilginin bir noktadan farklı bir noktaya taşınması şeklinde belirtilebilir.

Elektriğin insan hayatına dâhil olmasıyla birlikte pek çok anlamda daha iyi gelişim sağlanmıştır. Haberleşme alanına da yansıyan bu gelişmeler ile birlikte ilk elektrikli telgraf kurulmuştur. Bu haberleşme sırasında mors alfabesinden yararlanılmıştır[3].

Tüm bu gelişmelerin üzerine haberleşme için önemli bir adım olan telefon icat edilmiştir. Bu icadın çalışma disiplini ses dalgalarını ilk başta elektrik sinyallerine dönüştürmesi, bu sinyallerin farklı gönderme metotlarıyla uzak noktaya gönderilmesinden sonra, elektrik sinyallerinin tekrar kulakla algılanabilecek dalgalara dönüşmesi şeklindedir.

20. yy. da mobil iletişimi sağlamak amacıyla hücresel sistem kurma fikriyle birlikte çok sayıda haberleşme firmaları bu fikrin üzerine gelişmeler ortaya koymuştur. Bu yeni sistem GSM (Global System for Mobile Communications) şeklinde isimlendirilmiştir. Hücresel haberleşmenin maliyetinin düşük olması, esnekliği, hareketliliğe imkân tanınması, onun hızlı bir şekilde gelişim sağlaması ve yayılmasına yol açmıştır [4].

İlk GSM cep telefonlarının kullanıma sunulmasından bu yana onlara olan talebi artırmış ve zaman içerisinde bu teknolojinin hızla gelişmesine neden olmuştur. 2G (2. Generation) teknolojisi aşamalı olarak ilerleme kaydetmiş bugün 5G teknolojisine kadar ulaşmıştır [5].

Bugün elektrik şebekelerinin bağlı bulunduğu altyapı ve kaynakların doğa için zararlı yapıda, emniyetsiz ve yetersiz olması bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna bağlı olarak uzun zamandır, emniyetli, verimli ve çevre dostu şebekeye dönüşüm çalışmaları sürdürülmektedir. Bu çalışmalar ile birlikte akıllı şebeke kavramı ortaya çıkmaktadır. Üretici ve tüketiciyi ele alan bu kavram içeriğinde yer alan bir konu ise haberleşmedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çok sayıda farklı haberleşme teknolojisi oluşmuştur. Bu teknolojilerin kendilerine özgü standartları ve kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlar dikkate alınarak akıllı şebeke uygulaması açısından verimli ve uygun haberleşme sisteminin seçimini yapmak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, örnek bir uygulama üzerinde, yazılım programları ile klasik sayaçların akıllı şebekelerin olmazsa olmazı olan akıllı sayaçlara dönüşümü üzerinde çalışılmıştır. Bir şebekenin akıllı olarak nitelendirilebilmesi için, bu şebekede kullanılan ürünlerin, uygulanacak programlama yazılımları ve ek ürünlerle birleştirilerek oto kontrol sistemine dönüştürülmeleri ve dolayısıyla akıllı sistem modeline evrilmeleri gerekmektedir. Bu tezimizdeki en önemli unsur, klasik sayaçların bilgisayar yazılımları yardımı ile akıllı sayaçlar haline dönüştürülmeleri ve sistem kontrollerini yine kendi oto kontrolleri üzerinden sağlamalarını gerçekleştirilmesidir.

1.1 Araştırmanın Amacı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu, artan enerji talebi ve mevcut tesislerdeki üretim limitleri ile çift yönlü enerji alışverişi koordinasyonu gibi faktörler klasik şebekelerden akıllı şebekelere geçişi zorunlu kılmıştır. International Energy Agency (IEA)'nin 2019 yılında yayınlamış olduğu “World Energy Outlook” raporunda dünyadaki elektrik üretiminin 2040 yılına gelindiği zaman oldukça artış göstereceği belirtilmiştir. Aynı şekilde küresel elektrik enerjisi talebinin de oldukça yüksek seviyelere ulaşabileceği ifade edilmiştir. 2019 yılında yayınlanan bu rapordaki maddelere bakıldığında küresel olarak artan enerji talebinin karşılanabilmesi amacıyla mevcut üretim kaynaklarının dağıtılmış üretim sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple üretim tesislerinin

entegrasyonunun sağlanması ve bu entegrasyonla birlikte hizmet verebilmesi için akıllı şebekelere gereksinim duyulmaktadır [6].

Bu noktada hızla gelişen teknoloji ve ortaya çıkan yeniliklerle birlikte elektrik enerji alt yapılarının da kesintisiz ve kaliteli bir hizmet vermesi beklenmektedir. Kesintisiz ve kaliteli bir hizmetin verilebilmesi için ise enerjinin üretiminden tüketimine kadarki tüm süreçlerin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Verimliliğin artırılmasındaki en önemli hususlardan biri de şebeke yapısına katılacak yeni yükler ve elektrikli araçların yönetilebilmesi olmaktadır. Dolayısıyla bu araçların yönetilebilmesi için gelişmiş bir haberleşme altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Haberleşme altyapısının oluşturulması şebekenin her noktasından kontrol edilebilirliğini ve uzaktan izlenebilirliğini sağlayacağından akıllı şebekelere geçişte önemli bir ihtiyaç olarak görülmektedir [7].

Akıllı şebekelerin en önemli bileşenlerinden biri de akıllı sayaçlardır. Akıllı sayaçlar, enerji tüketim alanlarında merkezi veri sistemi ile uzaktan veri iletimini güvenli bir şekilde gerçekleştiren ve ölçüm işlemlerini yapan bileşenlerden meydana gelmektedir. Akıllı sayaçlar enerjinin doğru bir şekilde ölçülebilmesini ve çift taraflı bilgi akışını sağlamaktadır. Dolayısıyla akıllı sayaçlarla enerjinin üretimden dağıtımına tüm süreçlerinde kontrol uygulaması, gerçek zamanlı izleme ve veri analitiğinin yapılması gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple enerji üretiminin yapılması, dağıtım şebekesi yükünün dengeli bir şekilde yayılması ve puant saati dilimindeki enerji talebinin azaltılması mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda akıllı sayaçlar aktif yük kontrolü ve gerçek zamanlı ücretlendirme gibi uygulamalar sağlaması sebebiyle son kullanıcıların enerji tarif dilimlerine uygun bir şekilde tüketim yapabilmesini sağlayarak enerji tüketim maliyetlerini düşürmede önemli bir rol oynamaktadırlar [8].

1.2 Araştırmanın Konusu

Bu çalışmada öncelikli olarak geniş bir literatür çalışması yapılarak, konuyla ilgili çalışmalar ve mevcut güncel teknolojiler araştırılmıştır. Daha sonra birden fazla klasik sayacın birbirleri ile merkezi bir birimle haberleşmesini sağlayacak bir model geliştirilmiştir. Çalışmada şu an şebekede kullanılmakta olan mevcut elektrik sayaçlarının kullanılmıştır. Şebekedeki mevcut elektrik sayaçlarının kablosuz ağ haberleşmesini sağlayabilmesi mümkün görünmemektedir. Bu sebeple mevcut sayaçlar ile haberleşmenin sağlanabilmesi için sayaçlara arduino ve/veya benzeri tabanlı modül

(mikro bilgisayar) takılarak sayaçlar ve merkez arasında çift yönlü haberleşmenin sağlanması ve bu haberleşme ağı ile sayaçların hem birbirleriyle haberleşmesi (bu sayede elektrik arızalarında sadece arızalı abonenin devre dışı bırakılması) hem merkezi bir birimden kontrolü planlanmaktadır.

Bu tez çalışması ile (iletişim ve haberleşme özelliği olmayan) klasik elektrik sayaçlarına kablosuz ağ haberleşme sistemlerinin entegrasyonu ile klasik sayaçların uzaktan yönetilebilen akıllı bir elektrik sayacına dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Sayaçların birbirleriyle haberleşebilmesi ile sistem içerisindeki dengesiz yük dağılımı kontrolü ve merkez ile haberleşmesi ile de dağıtık enerji üretimini kontrollü sağlanacaktır. Bu sayede sayaçların uzaktan okunabilmesi için ilave bir altyapıya ve olumsuz hava şartlarında elektrik kesintilerinde direk insan eliyle müdahaleye gerek kalmadan veya buna örnek sayabileceğimiz birçok kolaylığı yatırıma ihtiyaç duyulmadan çözüm olanakları değerlendirilecektir.

1.3 Literatür Özetleri

Akdağlı tarafından 2008 yılında yapılan “*Gelişen Haberleşme Teknolojileri*” adlı çalışmada [12]; Gelişmekte olan haberleşme teknolojilerinin etkisiyle artış gösteren haberleşme imkânları ile toplumsal ve iktisadi yaşamda ortaya çıkan değişiklik ve gelişmeler aynı zamanda birbiri üzerinde etki oluşturarak, haberleşme teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmelerin kişileri ve toplumları birbiriyle daha fazla etkileşime geçirdiğinden bahsetmiştir.

Akçin ve ark. tarafından 2013 yılında yapılan “*Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar*” adlı çalışmada [2]; Nüfusun artmasıyla birlikte insanların enerji taleplerinin artış göstermesi sonucu mevcut şebeke yapısı ile bu taleplerin karşılık bulmasının olabildiğince güç olduğu belirtilmiştir. İletim kayıplarının yüksek olmasının yol açtığı verimsiz iletim, yenilenebilir kaynakların şebekeye entegrasyonunda ortaya çıkan sıkıntılar, esnek olmayan ücretlendirme ve talep gibi sıkıntılar, geleneksel şebeke yapıları ile artış gösteren talebin karşılanmasını sürdürülemez ve verimsiz kılmaktadır. Bu uygulamalar enerjinin tüketim, dağıtım, iletim ve üretim aşamalarının her anının gözlemi yapılabilir ve denetiminin gerçekleştirilebilir olmasını ve buna bağlı olarak aktif yönetilebilir bir yapıda bulunmasını hedeflemektedir. Bu noktada akıllı şebekelerde geniş alan yönetimi ve dağıtık kontrol uygulamaları ele alınmış ve gelecek döneme ait tahminlere yer verilmiştir.

Kıral tarafından 2014 yılında yapılan “*Akıllı şebekelerde enerji yönetimi için akıllı priz geliştirilmesi*” adlı çalışmada [9]; Elektrik enerjisinin daha verimli şekilde kullanılması için ortaya konulan çalışma ve uygulamaların gün geçtikçe artış gösterdiğinden bahsedilmiştir. Burada tüketicinin talebi göz önünde bulundurularak, enerjinin az maliyetli ve verimli bir biçimde kullanımını sağlamak hedeflenmektedir. Ortaya konulan çalışmalarda akıllı şebekelerin etkisiyle konutlarda bulunan elektrik enerji tüketim profillerine dair verilere ulaşılabileceği ve bu doğrultuda üretim tesislerinde yönlendirme yapılarak enerji akışının verimli bir biçimde yapılabileceği ifade edilmektedir. Konutların yerel şebekede bulunan diğer tüketiciler ile konutlarda yer alan elektrikli cihazlarla haberleşmesinin etkisiyle elektrik şebekeleri daha verimli olarak işletilebilecektir. Bu durumun en önemli noktası, var olan enerji sistemi üzerinde tüketim değerlerinin olabildiğince başarılı biçimde uyumlu hale getirilmesidir. Bu hedef doğrultusunda bulunan uygulamalar arasında akıllı priz de bulunmaktadır. Akıllı priz ile birlikte ortaya konulan çeşitli uygulama ve ürünler olmasına rağmen, akıllı prizler genel olarak, tüketilmekte olan enerjiyi, (güç parametresini) uzaktan takip etme ve açma-kapama işlevine imkân tanıyan cihaz şeklinde tanımlanmaktadır. Dünyanın birçok yerinde akıllı priz örneklerine rastlanmaktadır. Kıral çalışmasında yerli olanaklarla kablosuz haberleşme altyapısına sahip orijinal bir akıllı priz tasarımı yapılmasını amaçlamıştır. Binalar, akıllı konutlar ve akıllı şebekeler için gelecekte yapılacak yeni ürünlere yönelik teknolojik bir altyapı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Turan tarafından 2004 yılında yapılan “*Akıllı şebekelerde arıza analizi ve koruma*” adlı çalışmada Yazar; konvansiyonel şebekeler birbiriyle bağlantı halinde olduğu ve bir noktasında ortaya çıkan değişimin oldukça kısa zaman içinde geniş bir alan üzerinde etkisini gösterebileceğinden bahsetmiştir[49]. Bununla birlikte oldukça fazla hasar ortaya çıkabilmektedir. Bu problemin çözümüne yönelik yeterli halde bulunmayan altyapının ortaya koyduğu dezavantajların yok edilmesi ve geliştirilmiş şebeke çözümlerinin sunulması gerekliliği belirtilmiştir. Şebekede oluşma ihtimali bulunan arızaları algılama ve direkt müdahale için güvenilir bir haberleşme sistemine gereksinim duyulmuştur. Akıllı şebekelerin en önemli yararlarından biri de tepki süresinin oldukça süratli olan sistemlerin tercih edilmesiyle beraber bir noktada yer alan sıkıntının, hızlı haberleşme sayesinde, şebekenin diğer kısmını da etki altında bırakmasına engel olunacağıdır. Uzaktan kontrol ve yüksek hızlı korumayla hedeflenen neticeler sağlanacaktır. Akıllı şebeke üzerinde sıkıntı noktası saptaması yapılmasından sonra

enerjinin devamlılığını mümkün kılma ve tüketicuyu enerji dışında bırakmama hedefi ile farklı çözümlere yer verilmektedir. Turan bu çalışmasında; enerjinin ring şebeke için herhangi bir alanda ortaya çıkan kısa devre ve aşırı akım olayları sonucunda meydana gelen arızalara karşı şebekede bulunan tüketicilere sağlanması gereken kaliteli enerjinin devamlılığını mümkün hale getirecek bir sistem inşa edilecek test sistemi ve simülasyonun ortaya konulmasını hedeflemiştir [11].

Tüm bu gelişmeler ile birlikte teknolojinin oldukça ilerleme kaydettiği görülmüştür. Böylece bugün kullandığımız haberleşme teknolojileri ortaya çıkmıştır. Küresel sistem üzerinde kurulmuş olan mobil haberleşme GPRS (General Packet Radio Service), 3.nesil görüntülü telefon ve ATM (Asynchronous Transfer Mode) detaylı olarak incelenerek günümüz teknolojisinin ne denli gelişme kaydettiğine ilişkin gereken bilgilere ulaşılmaktadır. Bu çalışma bu bilgilere yeterli şekilde ulaşılması bakımından ışık tutmaktadır.

1.4 Araştırmanın Literatüre Katkıları

Bu tez çalışmasında birden fazla klasik sayacın birbirleri ile merkezi bir birimle haberleşmesini sağlayacak bir model geliştirilmek istenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde akıllı şebekelerde, akıllı sayaçlar ve haberleşmenin bir arada detaylı bir çalışması bulunmaması bakımından bu çalışma önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışmada irdelenen her iki konuya ilişkin ayrıntılı değerlendirmeler de bulunmaktadır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Klasik Şebekeler

Merkezi bir elektrik üretim tesisinde üretilen elektriğin, gerilim seviyesi yükseltilerek iletim hatlarına aktarılması, ardından kademeli olarak gerilimin düşürülerek dağıtılması ve nihayetinde son kullanıcıya ulaştırılmasını sağlayan, otomasyon kullanılmayan elektrik dağıtım sistemlerine geleneksel şebeke adı verilir.

Klasik elektrik şebekelerinde, akıllı elektrik şebekelerinde olduğu gibi oto kontrol sistemi yoktur tümüyle mekanik çalışma prensibi mevcuttur. Dolayısıyla klasik elektrik şebekesinde mevcut enerji ile alakalı hiçbir analizde bulunmamız mümkün değil. Birçok kullanım riski olmakla birlikte kullanıcılara son derece kalitesiz enerji sağlanmaktadır. Yani uzun süreli kesintisiz enerji sağlanması pek mümkün görünmemektedir. Geçmişte İş güvenliği ile ilgili de pek çok sorun yaşanmıştır.

Tüm bunlar ve daha birçok sebeple elektrik kullanıcıları ve üreticileri tarafından gün geçtikçe daha kontrol edilebilir daha güvenilir ve kaliteli enerji arayışı içine girilmiştir. Bu arayış akıllı şebekeler arayışını beraberinde getirmiştir.

2.2 Akıllı Şebekeler

Elektrik şebekeleri başlangıçta, belirli bölgeleri enerjiyle beslemek amacıyla tasarlandı. Ancak zamanla, bu şebekelerin sayısı arttıkça, bu sınırlı bölgeler arasında bağlantılar kurulmaya başladı. Bu gelişmeyle birlikte, birbiriyle entegre olmuş elektrik sistemlerinin çalışma prensipleri ve temel bileşenleri üzerinde araştırmalar yapıldı. 1960'lara gelindiğinde, bu çalışma ilkeleri belirlenmiş ve şebekelere entegre edilmeye başlanmıştı. O dönemlerde, bilgisayarlar ve iletişim ağları bugünkü kadar yaygın değildi ve teknoloji daha basit bir seviyedeydi. Günümüzde ise bilgisayarlar, elektrik iletim şebekelerinin her aşamasında yoğun bir şekilde kullanılıyor; planlama, optimizasyon, hızlı ekipman kontrolü ve saha verilerinin işlenmesi gibi alanlarda önemli roller üstleniyor. Ancak, bilgi teknolojilerindeki tüm bu ilerlemelere rağmen, elektrik şebekelerinde bu gelişmelerin beklenen düzeyde uygulanması henüz tam olarak gerçekleştirilememiştir [13-14].

Modern elektrik şebekelerinin bileşenlerinin; operatör müdahalesini en aza indirmesi, sorunlara daha hızlı yanıt verebilmesi, şebeke koşullarına uygun olarak çalışma şeklini optimize etmesi ve çeşitli enerji kaynaklarını etkin bir şekilde koordine edip

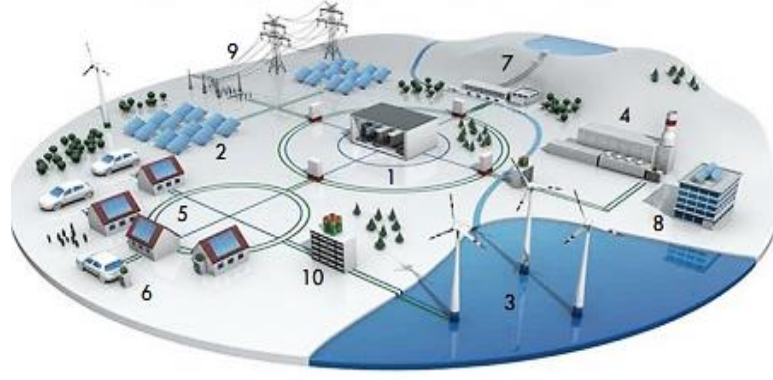
kullanabilmesi beklenir. Kısacası, bu sistemlerin daha akıllı hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Akıllı sistemler, farklı yöntemlerle üretilen elektrik enerjisini daha düşük maliyetle ve daha güvenilir bir şekilde şebekeye entegre edebilir [15-16].

Ülkeleri, elektrik şebekelerinde iyileştirmeler yapmaya teşvik eden nedenlerden biri elektrik arızaları veya başka sebeplerle gerçekleşen elektrik kesintileridir. Bu kesintilerin yarattığı olumsuzlukları azaltabilmek için ülkeler daha akıllı şebeke yapısına sahip olmayı isterler. Ülkeler kendi kendini onarabilen bir şebeke geliştirilmesi konusunda sürekli arayış içinde olduklarından sürekli kendini geliştiren yenileyen akıllı şebekeler meydana gelmektedir.

2.2.1 Akıllı Şebekenin Tanımı ve Kapsamı

Elektrik şebekelerini akıllı hale getirmek amacıyla yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Bu çalışmaların ortak noktası, geleceğin elektrik şebekesinin bileşenlerini benzer şekillerde tanımlamalarıdır. Genellikle, bu bileşenlerin düşük maliyetli, birbirleriyle uyumlu, hızlı tepki verebilen, çevre dostu, esnek ve gerçek zamanlı olarak çalışabilen özelliklere sahip olması beklenir. Bu beklentiler doğrultusunda, akıllı şebekenin tanımı yapılabilir veya geleceğin şebekesine yönelik bir vizyon oluşturulabilir. Akıllı şebeke, geleneksel şebekenin regülasyon, teknoloji ve uygulama alanlarında iyileştirilmiş bir versiyonu olarak kabul edilir. ABD Enerji Bakanlığı, akıllı şebekeyi, her bir müşteri ve düğümü izleyip kontrol edebilen, güç istasyonu ile kullanıcı arasında iki yönlü elektrik ve bilgi akışı sağlayan, tamamen otomatik bir güç dağıtım ağı olarak tanımlamaktadır [17].

Akıllı şebeke uygulamasının esas mantığı, enerji tüketimini düşürürken sistemin verimini en üst seviyeye çıkarmak için dağıtım altyapısına analiz, iletişim, kontrol, izleme becerilerini sağlamaktadır. Üretimi yapılan elektriğin sistem tarafından getirilen kısıtlama da dâhil olmak üzere ekonomik ve verimli bir biçimde tüketiciye iletilmesi akıllı şebekeler tarafından hedeflenmektedir [18]. Şekil 2.1’de örnek bir akıllı şebeke modeli gösterilmiştir.



- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1- Enerji Yönetim Merkezi | 6- Elektrikli Araç İstasyonu |
| 2- Güneş Santrali | 7- Hidroelektrik Santrali |
| 3- Rüzgar Santrali | 8- Ticari İşyerleri |
| 4- Fabrikalar | 9- İletim/Dağıtım Şebekesi |
| 5- Akıllı Evler | 10- Bataryalar |

Şekil 2.1. Örnek akıllı şebeke modeli

Akıllı şebekeye, **Şekil 2.1**'de gösterildiği üzere, yenilebilir ve dağıtık enerji kaynaklarının uyum sağlamasını basit hale getirmek için kontrol ve bilgi teknolojilerinden faydalanan otomatik kontrol sistemleri, akıllı tüketici cihazları, gerilim düzenleyici teknolojiler ve elektrik depolama elemanlarından yararlanan bir sistem şeklinde açıklama getirilebilir. Akıllı şebekeye ilişkin yapılan tanımların bir kısmı şu şekilde belirtilebilir:

- Enerji kaynaklarını sürdürülebilir, verimli, güvenli ve ekonomik olacak şekilde sunmak için kendisine bağlı bütün kullanıcıların eylemlerini akıllı bir şekilde yönetimini sağlayan sistem bütününe akıllı şebeke adı verilmektedir.
- İletişim teknolojisi ve bilgi teknolojisinin güç sistemi mühendisliği ile birleştirilmesidir.
- İletim, üretim ve son kullanıcı bilgilerini amaç doğrultusunda uygulamaya koymak için dijital bilgi teknolojisinden yararlanan bir uygulamadır.
- Güvenilir, erişilebilir, ekonomik ve esnek özelliklere sahip akıllı şebeke, geniş kapsamlı bir teknoloji özelliğine sahiptir. Kullanıcılar tarafından talep edilen işlemleri kolay hale getirir ve bu uygulamalar arasında talep yönetimi, enerji depolama ve dağıtık üretim sistemlerinin varlığı veya şebeke elemanlarının amaca yönelik uygulamaya konularak büyümesi ve enerji depolama sistemlerinin yararlanma veya şebeke elemanlarının optimal yönetimi ve genişlemesi bulunabilmektedir [19].

- Arz ve talep arasında kurulan dengeyi net bir biçimde yanıtlayabilecek sistem özelliği taşımaktadır.
- Üretimin, dağıtımı ve iletimin yerini verimli bir biçimde hizmet, veri ve işlem alışverişini mümkün kılacak biçimde akıllı, tam entegre hizmetlerle değiştiren ileri teknolojiler, topolojiler, kavramlar ve yaklaşımlar bütünüdür.
- Coğrafi bakımdan dağınık halde bulunan sistem bileşenlerinin iletişimi ve etkileşimini daha iyi ve koordineli şekilde uygulayabilen bir sistemdir.

Akıllı şebekeler, bilhassa otomasyon teknolojisinin artış göstermesi ve sistemin kritik kısımlarına yerleştirilmiş olan sensörler, ölçüm altyapısı aracılığıyla işlenmiş olan verilerin miktarı ve kalitesini büyük oranda iyileştirecek ve geliştirecek potansiyeli içermektedir. Bu tarz bir yaklaşım, bütün sistemin güç kalitesi, güvenilir olması ve verimini büyük oranda iyileştirmenin yanında, ayrıca müşteri talebinin artış gösteren katılımı, finansal kayıpların düşmesi, tepe talep azalması ve tüm bunların dışında CO_2 emisyonlarının ve diğer çevreye bağlı etkilerin düşmesine sebep olacaktır. Akıllı şebekeye ilişkin tam bir tanım olmasa da çok sayıda akıllı şebeke mimarisinde ortak nokta bulunmaktadır. Bahsi geçen bu özellikler, akıllı şebekenin genel şebeke sistemi için sağladığı potansiyel yararlarının net bir şekilde tanımını yapmaktadır. Bu yararlar aşağıdaki madde şeklinde yer almaktadır.

- Sistem üzerinde oluşacak dengesizlikleri kendisi düzeltecek biçimde tahmin yapar ve yanıtını verir.
- Elektrik iletim, tüketim ve üretiminin tüm alanlarına bilgi ve iletişim teknolojilerinin katılmasını sağlar;
 - Pazarı gelişmiş düzeye çıkarabilmek için,
 - Çevreden gelen etkileri minimum düzeye indirmek için,
 - Verimliliğin artışı sağlamak ve maliyeti azaltmak için,
 - Servisi ve güvenilirliği onarmak için.
- Akıllı şebeke ayrıyeten dağıtım otomasyon, çeşitli kontrol stratejileri ve dijital bilgiden yararlanır;
 - Otomasyon sistemler
 - Yenilenebilir özelliğe sahip enerji üretimi
 - Dağıtık enerji kaynakları
 - Enerji depolama sistemlerinin entegrasyon ve dağıtım sistemini kolay hale getirmek için.

- Dijital ekonominin 21. yüzyıl için gerekli olan daha fazla güç kalitesini mümkün kılar.
- Çalışmasını etkin bir şekilde gelişmiş ve var olan bileşenlerin kullanımını uygulama için uygun konuma getirir.
- Doğal afet ve tehditlere karşı etkili ve esnek bir çalışma sergiler.

Akıllı şebekelerde yer alan çift yönlü iletişimin toplam tüketim ve maksimum talebi büyük oranda düşüreceği söylenebilir. Akıllı şebekelerin iyi ve etkili bir şekilde planlamasının yapılması işletme maliyetlerini azaltır, sistem unsurlarının kullanıldığı sırada uygulamaya uyumlu olmasını sağlar, sistemin güç kalitesi işletme verimi ve güvenilirliği hususunda artış gerçekleştirir. Çizelge 2.1’de akıllı şebekeler ve klasik şebekeler arasında kıyaslamaya yer verilmektedir.

Çizelge 2.1. Akıllı şebeke ve klasik şebekenin karşılaştırması

Akıllı Şebeke	Klasik Şebeke
Dağıtık Üretim	Merkezi Üretim
Enerji Depolama Birimi (Var)	Enerji Depolama Birimi (Yok)
İki yönlü iletişim	Tek yönlü iletişim
Dijital	Elektromekanik
Kendi Kendini onarma	Manuel Onarma
Adalaşma modu	Elektrik Kesintisi ve Arızalar
Proaktif Yaklaşım	Reaktif Yaklaşım
Müşterinin artış gösteren katılımı	Merkezi yönetim
Kapsamı geniş olan gerçek zamanlı izleme	İzleme eksikliğinin gerçek zamanlı olması
Oldukça süratli reaksiyon süresi	Yavaş Reaksiyon süresi

Şebeke yapısının zaman içinde evrimi, gelecekteki gelişmelerin bilgi ve iletişim alanlarında yoğunlaşacağını göstermektedir. İletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, akıllı teknolojilerin şebekelere entegre edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, akıllı şebeke; mevcut elektrik şebekesine ek olarak, gelişmiş otomasyon sistemleri ve bilgi teknolojisi altyapısına sahip, elektrik ve iletişim altyapılarının bir araya geldiği bir sistem olarak tanımlanabilir [20-21]. Bazı araştırmacılar, geleneksel şebekelerin de çeşitli yazılımlar ve otomasyon sistemleri kullandığını ve bu nedenle tamamen “akılsız” olmadıklarını savunmaktadırlar [21]. Geleneksel şebeke yapısı tamamen “akılsız” olmasa da, akıllı şebekenin geleneksel şebekeyi büyük ölçüde dönüştürdüğü gerçeği önemlidir.

Akıllı şebekeler, geleneksel şebekelerden gelişmiş sensörler, kontrol teknolojileri, iletişim mekanizmaları ve akıllı ölçüm cihazları gibi unsurları kullanmalarıyla farklılık gösterir. Bu özellikler, akıllı şebekeleri geleneksel şebekelere kıyasla daha verimli, güvenilir, yenilenebilir enerji dostu ve esnek hale getirir. Ancak, akıllı şebeke tek bir ürünü satın alıp kurmak ya da mevcut şebekeyi tek bir adımla dönüştürmek olarak düşünülmemelidir. Tam tersine, birçok karmaşık bileşenden oluşan bir sistemdir. Akıllı şebekeler, geleneksel şebekelerden farklı olarak şu bileşenleri içerir [21]:

- Uzaktan izleme ve tüketime dayalı fiyatlandırma gibi uygulamalarda kullanılan, hızlı ve doğru tepki verebilen akıllı sayaçlar.
- Şebekenin her noktasında gerçek zamanlı veri alışverişine imkan tanıyan, yaygın standartlara uyumlu iki yönlü iletişim sistemleri.
- Arızaları hızlıca tespit edip, kendini iyileştirme kabiliyetine sahip müdahaleleri gerçekleştirebilen gelişmiş kontrol sistemleri.
- Şebeke operatörleri ve yöneticilerinin, bilgi işlem ekipleriyle etkili bir şekilde işbirliği yapabilmelerini sağlayan, gelişmiş arayüzler, karar destek yapıları, analitik yetenekler ve kullanıcı dostu görselleştirmelerle donatılmış bir yazılım mimarisi.

2.2.2 Dünyada Akıllı Şebeke Çalışmaları

Son yıllarda, dünyanın farklı bölgelerinde yerel paydaşlarla ve uluslararası ortaklıklarla gerçekleştirilen projelerde akıllı şebeke konuları önemli bir yer tutmaktadır. Hem enerji hem de teknoloji alanındaki ilerlemeler, akıllı şebeke projelerine olan ilginin artmasına neden olmuştur. Bu projeler, farklı coğrafi bölgelerde uygulanmalarına rağmen, genellikle benzer sorunları çözmeyi amaçlamaktadır. Projelerin ortak hedefleri arasında şebeke altyapısının güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, merkezi olmayan yapılar oluşturulması, şebeke içi iletişim mekanizmalarının geliştirilmesi, akıllı sistemlerin hayata geçirilmesi, akıllı şehirler için gerekli altyapının oluşturulması ve şebekelerin yeni teknolojilerle uyumlu hale getirilmesi yer almaktadır.

Birçok ülke, akıllı şehirler için akıllı şebekelerin temel bir gereklilik olduğuna inanmakta ve bu doğrultuda pilot bölgeler seçerek akıllı şebeke projeleri yürütmektedir. Yokohama, Amsterdam, Miami, Jeju Adası ve Colorado, bu tür projelerin hayata

geçirildiği pilot bölgeler arasındadır [23]. Bu projelerde genellikle akıllı sayaçlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, enerji depolama sistemlerinin şebeke üzerindeki etkileri ve şebeke bileşenlerinin modernizasyonu gibi konular incelenmiştir [24]. Akıllı şehirlerde trafik yönetiminden yerel hizmetlere kadar birçok sistem, akıllı teknolojilerle desteklenir. Ancak, bu sistemlerin sorunsuz çalışabilmesi için öncelikle elektrik şebekesinin akıllı bileşenlerle donatılması gerekmektedir.

2.2.3 Türkiye’de Akıllı Şebeke Çalışmaları

Doğu-batı ve kuzey-güney enerji koridorlarının kesişim noktasında bulunan ve ekonomisi hızla büyüyen Türkiye'nin en büyük ekonomik sorunlarından biri cari açığıdır. Cari açığın başlıca nedenlerinden biri ise enerji harcamalarıdır. Son on yılın verilerine göre, Türkiye, elektrik enerjisi ve doğalgaz talebinin artış hızında Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır [25]. Son 15 yıldaki hızlı ekonomik büyüme, ülkenin enerji talebindeki artışın başlıca sebebidir. Petrol ve doğalgaz rezervlerinin bulunmaması nedeniyle, artan enerji talebi ithalatı artırmakta, bu da cari açığın büyümesine neden olmaktadır. Süregelen büyümenin cari açığı daha da artırmaması için Türkiye'nin akıllı şebeke teknolojilerindeki gelişmelere hızla uyum sağlaması gerekmektedir. Bu amaçla, enerji konusu hem kamu hem de özel sektörün stratejik planlarında önemli bir yer tutmaktadır.

2.2.4 Akıllı Şebeke İhtiyacı

2.2.4.1 Güç Kalitesi

Elektrik dağıtım şebekelerinde, sisteme lineer olmayan yüklerin katılımıyla beraber güç kalitesi zaman içerisinde bozulma göstermektedir. Parazit içeren Radyo Frekans (RF) dalgaları, Elektromanyetik Parazit (EMI), harmonik gerilimler, sarkmalar, frekans dalgalanmaları ve sinüzoidal dalga şeklinde bulunan diğer bozucu etkiler sonucunda güç kalitesi negatif şekilde etkilenmektedir. Bu etkilere bağlı olarak olması gereken bir sinüzoidal dalga şeklinin sağlanması olabildiğince zor hale gelmiştir. Harmonik bozulmaların etkisiyle, devre elemanları hatalı çalışmakta, transformatörler aşırı ısınmakta ve dahası dijital kontrol sistemi üzerinde bozulmaya yol açabilen oldukça büyük bir güç kalitesi problemlerine sebebiyet vermektedir. Hassas devre elemanlarının elektrik şebekesinde artış göstermesiyle beraber güç kalitesinin muhafaza edilmesinde büyük önem arz eden regülatörler ciddi bir sorumluluk altında bulunmaktadır.

Akıllı şebeke sisteminde yer alacak olan sayaçların, besleme noktasının Toplam Harmonik Bozulma (THB) değerine ilişkin belirleme yapma niteliği bulunmaktadır. Akıllı sayaçların varlığının etkisiyle sistemde yardımcı olarak bulunan programlar harmonik bozulmaların kaynağının tespit edilmesinde yardımcı olacaktır. Besleme kaynağında en fazla THB'nin tespit edildiği alan harmoniklerin kaynağı şeklinde sayılabilir ve onarıcı tedbirler alınabilir [26].

2.2.4.2 Artan Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu İhtiyacı

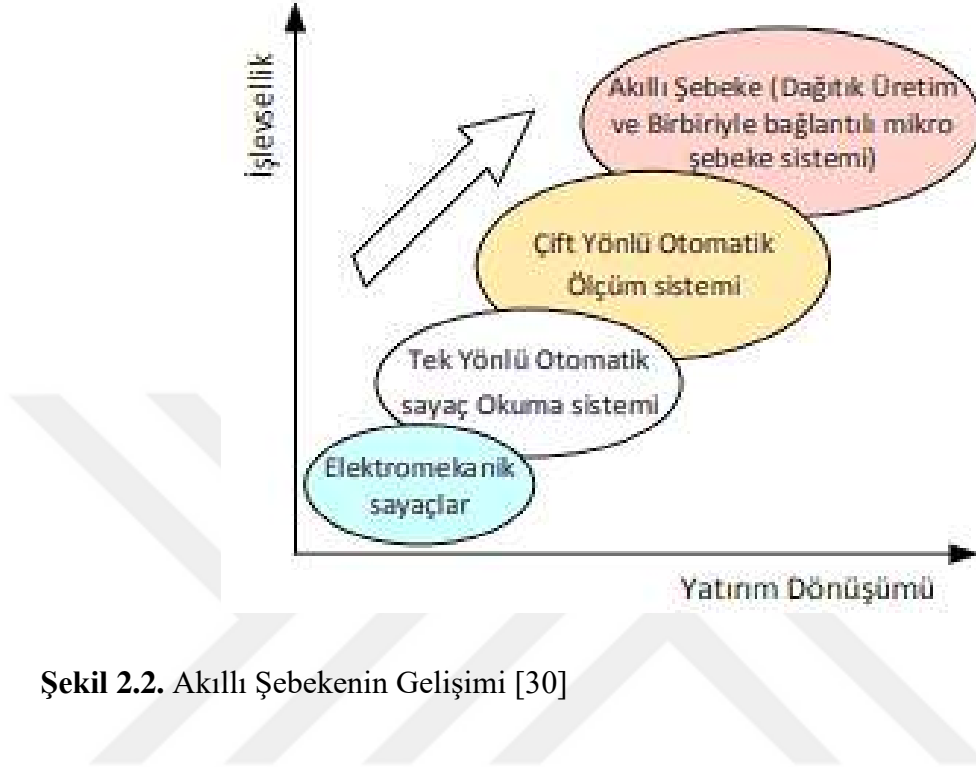
Küresel ısınmaya ilişkin endişelerin olması sebebiyle yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin bir bütün oluşturması zaman içerisinde oldukça öneme kavuşmaktadır. Mevcut yenilenebilir enerji üretiminin etkisi oldukça azdır ve klasik elektrik şebekesince bu durum avantaja çevrilebilir. Bunun yanında yenilenebilir enerji etkisi artış gösterdikçe değişken bir yapıya sahip olan sistem bileşenlerini uyumlu hale getirmek için oldukça büyük onarma ve modifikasyonlara ihtiyaç duyulacaktır.

Elektrik şebekesi, anlık enerji düşüş düzeylerinde, üretimde meydana gelen eksiklikleri gidermek için süper kapasitörler, volanlar ve süper iletkenler gibi oldukça hızlı enerji temin edecek kaynaklara gereksinim duymaktadır [27]. Bu hususta büyük oranda araştırmalar yapılmakta olup gelecek yıllarda enerji yönetimi ve üretimi gibi alanlarda yeni gelişme vaadinde bulunmaktadır. Sürdürülebilir ve yeşil enerji amacına ulaşmayı kolay hale getirmek için artış gösteren karbon emisyonları ve enerji krizinin çevre üzerindeki etkisini düşürmek gerekmektedir. Bunun yanında ölçeklenebilir ve dağıtık alternatif enerji depolama sistemleri ve üretim kaynaklarının var olan şebeke sistemiyle uyumlu hale getirilerek daha verimli hale dönüştürülmesi amaçlanmaktadır [28]. Akıllı şebekeler bu işleyişle sadece sera gazı emisyonlarını düşürmekle kalmayacak, bunun yanında enerji depolama sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesine daha fazla entegrasyonunu özendirecektir.

2.2.4.3 Teknolojik Gelişmeler

Elektrik şebekesinin var olan şekli, bilhassa şebekenin dağıtım noktasında, otomasyona oldukça uzaktır. Şu anki sistemlerde gerçek zamanlı yük izlemeden yararlanmasına karşın, farklı ekipman ve kaynaklardan elde edilen bilgilerin sisteme uyumlu hale getirilmesinde sıkıntılar yaşanmaktadır. Bunun yanında enerji verimliliği programlarında meydana gelen artmayla beraber, ulaşılan verilere etki etme ve

yorumlama becerisinde büyük bir eksiklik bulunmaktadır. Şekil 2.2’de teknolojik gelişimi yer verilen akıllı şebeke yer almaktadır.



Şekil 2.2. Akıllı Şebekenin Gelişimi [30]

Tahmin edilebilir üretim, enerji depolama, kontrol edilebilir-gözlenebilir yük ve artan aktif dağıtım sistemine geçiş, elektrik şebekelerinin planlanma ve işletilme şeklini değiştirecektir [29].

Üretimin tahmin edilebilir niteliğe sahip olması, kontrol edilebilir-gözlenebilir yük, enerji depolama ve artış gösteren aktif dağıtım sistemine geçiş noktası, elektrik şebekelerinin işletilme ve planlama şeklinde değişiklik oluşturacaktır. Tahmin edilebilir üretim, enerji depolama, kontrol edilebilir-gözlenebilir yük ve artan aktif dağıtım sistemine geçiş, elektrik şebekelerinin planlanma ve işletilme şeklini değiştirecektir [31].

2.2.5 Akıllı Şebeke Teknolojileri

2.2.5.1 Gelişmiş Ölçüm Altyapısı

Akıllı şebekeler arasında, gelişmiş yapıya sahip olanlar dağıtım otomasyonu üzerine kurulum sağlamıştır [3]. Akıllı ölçümleme ile akıllı şebeke kavramının eşanlamlı olduğu söylenebilir. Akıllı şebekeler bakımından gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI) önem arz etmektedir [32]. Şekil 2.3’te gelişmiş bir ölçüm altyapısı ve bileşenleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Gelişmiş ölçüm yapısı ve bileşenleri [33]

Şekil 2.3'te yer verildiği üzere akıllı ölçümle bir araya getirilmiş bir Enerji Yönetim Sistemi (EMS), puant talebini azaltmak ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik çeşitli fırsatlar sunar. Talep tarafı programlarını güçlü hale getirecek ve gelişmiş ölçüm altyapısının işlevsel sistemi ile birlikte akıllı ev alan ağları aşağıda bulunan ilave işlevleri yerine getirecektir:

- Gerçek zamanlı fiyatlandırma/Kullanım süresi fiyatlandırması
- Puant yükü azaltma
- Talep yönetimi
- Hassas devre elemanlarının uzaktan takibinin yapılması
- Yük izleme
- Adalaşma modu ve kesinti tespiti

2.2.5.2 Talep Yanıtı

Talebin karşılanması, oluşan akıllı şebeke sistemi için önemli bir bileşen olarak bulunmakta ve potansiyel güç kaynaklarını denetim altında bulundurmak için ticari bakımından önemli bir faktördür [34]. Enerji talebine karşılayabilmek için, dağıtık üreticilere farklı türde teşvikler sağlayarak ya da talebin yoğun halde olduğu dönemde elektrik kullanımını düşürmek suretiyle işlem gerçekleştirerek denge politikasını sağlar.

Son dönemde taleplere yanıt verebilmek, sosyal ve ekonomik yararlarla bağılı olarak hükümet ve girişimciler arasında oldukça ilgi toplamıştır. Yenilenebilir enerji uygulamalarında lider olarak bulunan Teksas’da 2008 senesinin başlarında rüzgâr enerjisi üretimi esnasında beklenmeyen, anlık bir düşüş görülmüş ve yalnızca üç saat içerisinde yaklaşık 1300 MW (Megawatt) bir kayıp oluşmuştur. Böylece Teksas’ın ekonomik yapısında oldukça fazla kayıplar ortaya çıkmıştır. Buna bağılı olarak büyük girişimciler ve sanayi tarafından, kayıp oluşturulan enerjinin büyük kısmını on dakika içerisinde kazanacak ve tampon özelliğı sağlayacak şekilde acil müdahale programına giriş yapılmıştır. Oluşturulan bu program, akıllı şebeke prensiplerinin olağanüstü bir örneğini ortaya koymuştur. Bu hedef doğrultusunda yararlanılan akıllı sayaçlar, kullanım süresine göre fiyatlandırma ve akıllı yük kontrol cihazları gibi son kullanıcı teknolojilerini merkeze alan talep yanıt teknolojileri, tüketici ve işletmelere ekonomik bakımdan yarar sağlamak yönünden elle tutulabilir sonuçlar veren müşteri katılımında artış sağlayacaktır. Son kullanıcılar, elektrik ve paradan tasarruf sağlamak talep gücünü düşürmek için birtakım yükleri devre dışı hale getiren yük yönetim programlarına entegre etmek için akıllı sayaçların talep veya enerji tahmin mantığından yararlanabilirler [35]. Bunun sonucunda talep yanıt programı ve akıllı şebeke teknolojisine ilişkin bilinç oluşturmak anlayışıyla bireylerin konforunu artırma, sera gazı emisyonlarını düşürme ve bunun yanında tüketicilerin finansal yararlarını yükseltme gibi avantajları sağlayacaktır.

2.2.5.3 İşletme Verimliliğı ve Optimal Sistem Yönetimi

Akıllı şebekelerin oldukça önem taşıyan özellikleri arasında, şebekenin işletim verimliliğinde artış sağlamak ve elektrik şebekesinin işletme ve bakım maliyetlerini azaltmaktır. Akıllı şebeke, ekipman ve işletme parametrelerinin doğru bir şekilde çalışma durumunun değerlendirmesini yapan gerçek zamanlı veriler gibi bilgilerin işlendiğı teknolojiden yararlanır. Bozulmalara ilişkin saptama yapmak için ekipmanların durumunu takip eder, ortaya koyduğı çalışmayı en iyi şekilde kullanmak için güvenilirliğine dair değerlendirme yapar, hasar türüne göre duruma bağılı olarak bakım stratejisi dahi ilerleme gösterebilir [36].

2.2.5.4 Enerji Depolama Elemanları

Elektrik kesintilerin artış gösterdiği dönemlerde yenilenebilir enerji üretimi esnasında yükselme ve güç kalitesinin düşük olması ile enerji depolama problemine

yapılacak yatırımlar oldukça önemlidir. Enerji depolamanın ekonomik olması, talep gücüne karşılık bulmak ve güç kalitesini onarmak için istenen bir husus olmaktadır [37].

Enerji depolama için gerekli olan aygıtlar, yenilenebilir enerji kaynaklarını sistem şebekesi ile uyumlu hale getirilmesini sağlarlar. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerji, dağıtık üretim tarafından sağlanamadığında takviye enerji temin eder. Öte yandan, çalışmanın yoğun olmadığı saatlerde enerji depolaması yaparak maksimum güç talebi esnasında talep edilen gücü vermek için güç tedarik eder.

Aküler, basınçlı hava, volanlar, süper iletken manyetik enerji depolama, ultra kapasitörler, hidrojen depolama gibi depolama sistemleri enerjiyi kinetik, basınç, elektrokimyasal, elektrostatik, potansiyel, termal ve kimyasal gibi farklı biçimlerde depolanmasını sağlar [38-39]. Enerji depolama teknolojilerinin kısa zaman içerisinde kurulum maliyetleri, teknolojilerinin değeri, tasarrufları orta vadede enerji depolama faktörlerinin bakım maliyetleri ve nihayetinde elektrik yapısına temin edilen uzun süreli potansiyel yararları göz önüne alınarak değerlendirme yapılmalıdır [37-40].

2.2.6 Akıllı Şebeke Sorunları

2.2.6.1 Teknik Sorunlar

Akıllı şebekeler yeni gelişen bir süreç dâhilindedir. Bu nedenle üstesinden gelinmesi gereken çok sayıda teknik zorluk vardır [41-7].

- Gerçek zamanlı analiz ve birleştirme planlaması
- Oldukça büyük yapıdaki sistemlerin model haline getirilmesi
- Karar verme aşamasını AMI baz alarak gerçekleştirme
- Fazla miktarda AMI verisine yer verme
- Dağıtık üretim muhafaza edilmesi ve entegrasyonu
- Enerji depolama teknolojisinin ucuz olması
- Zaman serisi simülasyonu

Yukarıda ifade edilen problemlerin haricinde, akıllı şebeke teknolojisinin etkin bir biçimde aktif olması için güçlü standartların ortaya konulması gerekmektedir. Dağıtık üretime dayalı olarak bağımlılık artış gösterdikçe dağıtım sistemi uygulamaları, talep tarafı kaynakları ve siber güvenlik açığı ile karşı karşıya kalan diğer sistemlerin muhafaza edilmesinin öneminin farkına varılacaktır [42]. Akıllı şebeke uygulaması var olan klasik

şebekelerde kullanılan güvenlik mimarisi, teknolojik ve iletişim altyapılarından faydalanabilir. Güvenlik mimarisinin tamamı şu anki teknoloji ve iletişim altyapı sistemlerine üzerine kurulabilir. Bunun yanında sistemin uyum içerisinde işlevini sürdürebilmesi için akıllı şebeke sistemlerine yapılacak sertifikasyonu ve uygunluk testi için doğru bir kapsam içerisinde yer alması gerekmektedir [43].

2.2.6.2 Ticari ve Finansal Sorunlar

Gerçek dünyada akıllı şebeke planlamasını doğru bir şekilde uygulayabilmek için iş dünyasıyla entegre ekonomik planlar ortaya konulmalıdır. Buradaki paydaşlar, talep toplayan kişiler ve üretim gibi muhtemel elektrik perakendecileri ve şebeke operatörleridir [44]. Eksiksiz bir akıllı şebeke sisteminin yatırım maliyeti oldukça önem arz edecek şekilde fazla olur ve bu sistemi ispatlanmış yararlarla doğrulamak iş sektörünün karşısına çıkan en büyük ticari güçlük olmaktadır. Bunun yanında böyle bir yatırımın yararları hususunda yatırımcılar şüphe duymaktadırlar. Zira maliyet yararları, gerçekleştirilen harcamayla kıyaslandığında az orandadır. Makro politika seviyesinde enerji endüstrisinin kaynak tasarrufu, iklim değişikliğine uyum sağlaması, toplumun ihtiyaçlarına karşılık vermesi ve sürdürülebilir bir çevre ile desteklenmesi gerekir [37].

Akıllı şebeke hususunda bu denli yatırımın gerçekleştirilmesi halinde kuruluşların yatırım maliyetlerini tekrar elde etmeleri önem arz etmektedir. Genellikle akıllı şebeke maliyet tasarrufu ile son tüketici ilişki halindedir, fakat daha büyük bir mercekten bakıldığında akıllı şebekeler, elektrik şebekesinin güvenilirliğinde artış sağlayarak potansiyel tasarruflara neden olabileceğini de unutmamak gerekir.

Sonuç olarak fiyatlandırma, teknik özellikler, güvenilirlik ve maliyet avantajları bakımından, plug-in hibrit elektrikli taşıtlar ile (PHEV) ilişkin tüketici endişelerinin incelenmesi gerekmektedir. Gelecek dönemde akıllı şebeke ağları üzerinde önemli bir aktör olan hibrit araçların önünde bulunan problemlerin mevcut durumda pahalı olmasının yanında karbon salınımını azaltmanın ve tasarruf yapmanın bir yolu olmaktan çok lüks olarak görülmektedir. Bugün hibrit bir taşıta priz ilave edilerek dönüştürülmesinin maliyeti fazla olmakta ve bunun yanında bu yeni teknolojinin destekçisi olmak için oldukça az şarj istasyonu altyapısı bulunmaktadır. Bu araçları evrensel sayabilmek için bugün mevcut olan endişelerin çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

2.2.6.3 Hukuki Sorunlar

Akıllı şebekeye bağlı olarak oluşan beklentiler ile beraber yönetmelik ve kanunlarla bu organizasyonu yapacak kurumlar, sektöre gerçekleştirilecek yatırımları emin adımlarla yapmak için oldukça önemli bir görev ile karşılaşmışlardır. Yetenek havuzunun sınırlı olması ve insan kaynağına ihtiyaç duyulmasıyla sorumlu kurumlar şu anki şebekeyi akıllı bir şebekeye çevirmek için azim ve kararlılıkla bu güçlüklerle mücadele edecek biçimde çalışmak zorundadır.

2.2.7 Akıllı Şebekelerin Sağladığı Avantajlar

2.2.7.1 Enerji Depolama

Farklı gelişmiş batarya teknolojileri büyük ölçekli sistemlerin tersine, volanlar ve ultra kapasitörler birkaç saniyeden birkaç saate değin şarj ve deşarj zaman aralığından oldukça düşük güç düzeylerinde herhangi bir coğrafi özelliğe bağlı olmadan kullanım için hazırladılar [45]. Bugün elektrokimyasal özelliği bulunan bataryalar, elektrikli araçlar ve tüketici elektroniğinden yararlanmaktadır. Batarya teknolojisinin elektrik güç şebekesindeki gereken performans gereksinimlerine karşılık bulma becerisi olmadığı net olarak görülmektedir [46]. Maliyetin oldukça fazla olması sebebiyle şebeke depolamanın %1'den az olanı, bataryalarla gerçekleştirilmektedir [47]. Bugün genel olarak kurşun-asit bataryalar arabalarda kullanılmaktadır. Düşük enerji yoğunluğu bulunan bu bataryalar bu duruma rağmen, kısa süre için yüksek akım değerleri oluşturabilirler. Düşük maliyete sahip olması ve düşük enerji yoğunluğu, geleneksel arabalarda motorun aktif hale gelmesi için gereken yüksek akımı mümkün kılmaları bakımından uygun bir batarya özelliği olduğu ortadadır. Fakat elektrikli araçlarda bulunan tahrik motorları ile uyum sağlamazlar. Yalnızca pilot ölçekte SHED (Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama) uygulamaları vardır [48]. Ticari uygulama seviyelerinde birtakım önem arz eden depolama teknikleri; şebeke tabanlı depolama, tüketici düzeyinde enerji depolama, büyük ölçekli enerji depolama sistemleri şeklinde kategorize edilebilir. Büyük ölçekli enerji depolama; SMED (Single-Minute Exchange of Dies) volanlar ve ultra kapasitörler de yer almak üzere yüksek güçlü uygulama özelliği taşımaktadır. Enerji tabanlı uygulamalar yüksek gücü bulunan bataryaları kapsamaktadır. Enerji ve güç uygulamaları; Li-Ion bataryalar, hidrojen enerji depolama, SHED, kurşun-asit pompalanmış hidro-enerji depolama sistemlerine gereksinim duyar. Tüketici düzeyindeki enerji depolama sistemleri, güce sahip ultra kapasitör uygulamalar Li-Ion ile kurşun asit bataryalar gibi

yüksek enerjiye sahip uygulamalardan oluşmaktadır [49]. Akıllı şebekelerin enerji depolamanın yararları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [50].

- Kısa veya uzun süreli gücün elde edilmesi,
- Yenilenebilir Enerji kaynaklarına bağlanabilme,
- Arbitraj (Ara kazanç),
- Güç kalitesinin artırılması,
- Enerjinin zaman kaydırması ve güvenilirlik.
- Yardımcı hizmetler; gerilim regülasyonu, frekans cevabı, dönen rezerv
- Tepe tıraşlama, yük akışı ve yük tesviye

Akıllı şebekeler merkezi güç üretimi ve geleneksel güç şebekeleri ile karşılaştırıldığında birçok avantajları vardır. Kesintili enerji kaynaklarının fazla olması tüketim ve üretimi dengeleme gibi yeni sorunlar ortaya çıkarır. Enerji depolama sistemi, iki yönlü çalışmasını sağladığı güç sisteminin bu sorunlarına en iyi çözüm yollarını ortaya koyarlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından yararlanan, şebeke bağlantılı enerji depolama uygulamaları, mikro şebeke kullanımı ve dağıtım ve iletim altyapısının yaşlanması giderek artış göstermektedir [51]. Akıllı şebekeler ile enerji depolama sistemlerinin uyumunu iyi bir şekilde yakalamak için; ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal unsurları hesaba katmak gerekmektedir. Elektrokimyasal, mekanik, elektriksel, ısı sistemleri ve kimyasal yapıya bağlı bulunan çok sayıda Enerji Depolama Teknolojisi (EDT) bulunmaktadır.

2.2.7.2 Elektrik Kesintilerinin Öngörülmesi

Akıllı şebekeler ile bugün kullanımda bulunan şebekeler arasında oldukça fazla fark bulunmaktadır. Mevcut şebekelerde herhangi bir kesinti meydana geldiğinde müşteri tarafından merkeze haber verilmekteyken, akıllı şebekelerde kesintiler hizmet sağlayıcı tarafından fark edilir, yalıtılır, uzaktan otomatik şekilde gerekli müdahaleler yapılır. Akıllı şebekelerin her noktasında bulunan sensörlerin etkisiyle kesintiler anlık fark edilir. Bugün kullanılan klasik şebekeler ile akıllı şebekenin karşılaştırılması Çizelge 2.2’de yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Klasik şebeke ve akıllı şebeke karşılaştırması [52]

Klasik Şebekeler	Akıllı Şebekeler
Kesinti müşteri tarafından çağrı merkezine bildirilir.	Kesinti elektrik şirketi tarafından farklı edilir, yalıtır, uzaktan ya da otomatik besler.
Puant talebini karşılamak için elektrik şirketi elinden geleni yapar.	Puant talebinin yönetimini şirket yapar, CAPEX (Capital Expenditures) azalma oluşur.
Dağıtılmış/Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması güçtür	Dağıtılmış/Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlamak için gereken altyapı hazır haldedir.
AG/OG (Alçak gerilim/Orta gerilim) kayıpları yaklaşık %10'dur.	AG/OG kayıpları %7-%8'e kadar düşürülür.

Akıllı şebekeler üç ana konu başlığı altında incelenebilir. Bu başlıklar akıllı yönetim, akıllı koruma ve akıllı altyapı sistemleri olmaktadır.

Akıllı altyapı sistemi: Bu sistem akıllı şebekelerde bulunan bilgi, iletişim ve enerjinin altyapısı konumundadır. Bilgi ve elektriğin iki yönlü akışına yardımcı olan bu sistem, elektriğin iki yönlü akışı görüşü elektrik enerjisinin bundan sonra tek yönlü özelliğe sahip olmadığını belirtmektedir [53].

Bu hususta, enerji geleneksel elektrik şebekesi ile bir arada, elektrik santralince ortaya çıkarılıp, elektrik iletim ve dağıtım şebekesi tarafından taşınmakta ve son noktada kullanıcıları teslim edilmesi örnek teşkil etmektedir. Akıllı şebekeler sistemi üzerinde, elektrik aynı anda kullanıcılar tarafından şebekeye temin edilebilir. Evlerde kullanıcıların güneş panellerinden yararlanarak elektrik üreticisi konumunda bulunmasıyla şebeke içerisine elektriği iade edebilmeleri veya yükün denge halinde olması durumunda destek verecek güç temin etmesi emsal teşkil eder. Akıllı altyapı sistemi üç alt başlık şeklinde bölümlere ayrılarak incelenebilir. Bunlar; akıllı iletişim sistemi, akıllı enerji sistemi, akıllı bilgi sistemidir.

- Akıllı şebekeler sistemi üzerinde gelişmiş bilgi ölçümü, yönetimi ve takibinden akıllı bilgi sistemi sorumlu olmaktadır.
- Akıllı şebekeler sistemi üzerinde bulunan uygulamalar arasında bilgi iletimi ve iletişim bağlantısından akıllı iletişim sistemi sorumlu olmaktadır.
- Elektrik dağıtımı, üretimi ve tüketiminden akıllı enerji sisteminin sorumluluğu altındadır.

Akıllı yönetim sistemi: Bu sistem, kontrol hizmetleri, gelişmiş yönetim ve işlevlerini temin eden akıllı şebekeler alt sistemi özelliği taşımaktadır. Elektrik şebekesi üzerinde önemli bir yenilik olarak akıllı şebekelerin yer almasının sebebi akıllı altyapıya bağlı olarak teknolojik gelişmelerde ortaya çıkan değişimlerdir.

Günümüz teknolojilerinin gelişimi ile beraber yeni yönetim uygulamaları ve hizmetlerin geliştirilmesiyle, elektrik şebekeleri eskiye oranla oldukça “akıllı” konuma gelişmiştir.

Çeşitli gelişmiş yönetim hedeflerini devam ettirmeyi amaç edinen akıllı yönetim sistemi, akıllı altyapının avantajlarından yararlanır. Bugüne değin, hedeflenen nokta arz ve talep dengesi, enerji verimliliğinin artış göstermesi, işletme maliyeti azaltma, maksimum fayda, emisyon kontrolüne ilişkin olmaktadır.

Akıllı koruma sistemi: Bu sistem, arıza koruma, gizlilik ve güvenlik, güvenilirlik analiz gibi hizmetleri temin eden akıllı şebekeler alt sisteminden oluşmaktadır. Akıllı altyapı avantajlarından yararlanan akıllı koruma sistemi, verimli ve etkin bir halde arıza koruma mekanizmalarını desteklemekte ve siber güvenlik problemlerinin belirleyicisi olmaktadır [54].

2.2.7.3 Siber Güvenliğin Sağlanması

Akıllı şebekelerin zaman içerisinde gelişim göstermesiyle beraber; fiziksel şebeke ortamına ilaveten, haberleşme niteliği bulunan milyonlarca yeni nesil akıllı cihazın ortaya çıkardığı siber çalışma alanı ortaya çıkacaktır. Bu siber dünya ile konvansiyonel şebekenin fiziksel altyapısını tek bir başlık altında bir araya getiren akıllı şebeke olgusu; doğal olarak karşı karşıya kalınan fiziksel güvenlik sorunlarından çok, yeni alanlarda da güvenlik gereksinimlerini oluşturacaktır. Bu bakımdan; siber güvenliğin akıllı şebekeler için temin edilmesi, elektrik enerjisi sektörüne yönelik gelecek dönemde en önemli konu şekline bürünecektir.

Akıllı şebekelerde yer alan siber güvenlik teoremi, esasında siber dünya bakımından yeni sayılmamaktadır. Bireylerin kullandıkları bilgisayarlar, internet veya farklı kanallardan gelebilecek virüs, kötü niyetli yazılım gibi etkilere karşı koruma sağlamak bakımından yararlanan virüs koruma programları, en temel siber güvenlik tedbirler arasındadır. Bilhassa akıllı şebekelerin yaygın hale gelmesiyle beraber siber güvenlik üzerinde zayıflık, hesaba katılmayacak büyüklükte negatif sosyal ve ekonomik etkilere sebep olabilir. Bu bakımdan; bugünkü siber güvenlik tedbirlerinden

faydalananarak, gelecek dönemde büyük çaplı ve yeterince gelişmiş güvenlik tedbirlerinin alınması ve buna bağlı olarak hükümetler tarafından politikalar ortaya konulması oldukça önem arz eden bir konudur.

2.2.7.4 Karbon Salınımının Azaltılması

Akıllı şebekelerin en önemli uygulama ve araştırma konuları arasında enerji yönetim uygulamaları bulunmaktadır. Talep tarafı yanıtı ve yük tarafı yönetimi gibi kullanıcıya olanak sağlayan yönetim stiline başlıca metotları arasındadır [55]. Enerji yönetim uygulamaları ile elektrik şirketleri ve kullanıcılara yarar sağlamaktadır. Tüketicilere sıkıntısız ve güvenilir bir şekilde şirketler tarafından sunulur, tüketiciler de bu olanak ile enerjiyi oldukça ekonomik bir biçimde değerlendirirler. Bunun yanında karbon salınımının azaltılmasıyla enerji yönetimi çevreye katkı sağlamaktadır [11].

2.2.7.5 Elektrik Tüketiminde Düşük Fiyatlandırma

Kullanıcının talebi ve üreticinin arzı arasında çift yönlü haberleşme gerçekleşme olanağı bulunan akıllı şebekeler, sistemin denetiminin yapılması ve sürekli takibinin yapılmasını mümkün kılan bir enerji yönetim sistemini barındırmaktadır. Akıllı şebeke, iletim dağıtımı, tüketiciler, elektrik enerjisinin üretimi üç temel kontrol biriminden ortaya çıkan bir sistem özelliği taşımaktadır. Akıllı şebeke kendisine bağlı bulunan bütün kullanıcılara devamlı, verimli, güvenilir ve ekonomik elektrik enerjisini sağlama amacı içerisindedir. Bu sistemin etkisiyle kullanıcı, elektrik sisteminde bulunan işletme optimizasyonunda sürekli aktif halde bulunma olanağına ulaşır. Bunun yanında elektrik satın alabilme olanağı bulunan kullanıcılar, daha dinamik fiyatlandırma otomasyonunu gerçekleştirebilirler. Bunun sonucunda tüketiciler, fiyat sinyalleri doğrultusunda akıllı şebekelerin tüketim üzerinde oldukça etken şekilde bulunabilirler [56].

2.2.8 Akıllı Şebekelerin Kullanım Alanları

2.2.8.1 Akıllı Üretim

Şebekenin çok sayıda noktasından temin edilen geri beslemelerle enerji üretiminin uygun hale getirilmesi; frekansın, güç unsuru ve gerilimin otomatik şekilde ayarlanabilmesi özellikleri bulunan güç üretimini mümkün kılma amacı taşımaktadır.

Avrupa ve Amerika’da “*Industry 4.0, Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC)*” gibi organizasyon ve projelerce desteklenmiş olan Akıllı Üretim’in bildirilen tanımı şu şekildedir; “Herhangi tedarik ve üretim zincirinde gerçek zamanlı bilgi akışı

bulunan, mantığa dayalı neden sonuç ilişkileri ortaya koyabilen, yönetim ve planlama aracı şeklinde kullanılabilen, bilgi entegrasyonu ve ağ tabanlı veriye Akıllı Üretim adı verilmektedir.” Akıllı Üretim, gerçek zamanlı yapıya sahip olması, sensör tabanlı verinin analizi ve modellenmesi şeklinde simülasyonunu sağlama konusunda kolaylık oluşturur. Planlama, tasarım, mühendislik ve üretim hayat döngüsü süresince bütün bu veriler daima gereksinim halinde ve en uygun forma dayalı olarak ulaşılabilir konumdadır.

2.2.8.2 Akıllı İstasyonlar

Akıllı istasyonlar, trafo, akü, kesici, güç faktörü performansı durumunun takip edilmesi, kritik ve kritik halde bulunmayan işlemlerin denetiminin yapılmasını sağlamaktadır. Bu istasyonlar güç birikiminin bilgisayar ve ağ teknolojisi ile uyumlu hale gelmesi ve imalat verimliliğinin denetimi ile birlikte meydana gelmektedir.

2.2.8.3 Akıllı Dağıtım

Akıllı dağıtım kendisi için iyileştirici ve dengeleyici bir yapıya sahiptir. Analiz etme ve otomatik takip özelliğiyle enerjisinin azalması ve hava durumu geçmişe dayalı olarak arızalarının tahminini yapabilecek yapıdaki sistem özelliği taşımaktadır.

2.2.8.4 Haberleşme

Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) kontrol ve koruma sistemleri bütünleştirilmiş bir yapıdaki sistem üzerinde müşterilerin akıllı elektronik cihazlar ile etkileşimini mümkün kılar.

Sonraki nesil güç şebekesi üretici- abone tabanlı bir yazılım ile haberleşme ağının faydalarından yararlanacaktır. IP (Internet Protokolü) QoS (Quality of Service) tabanlı uygulamalar akıllı şebeke uygulamalarında yer almaktadır.

2.2.8.5 Akıllı Sayaçlar

Tüketici ve gücü mümkün kılan kuruluşlar arasında akıllı sayaçlar, RF(Radyo Frekans), GPRS, PLC (Programmable Logic Controller), GSM, Wi-Fi gibi haberleşme altyapısından yararlanarak iki yönlü iletişimi mümkün kılar. Ödeme verilerinin bir araya getirilmesini, gerçek zamanlı bilgi temin ederek güç niteliğinin ölçülmesi, sayaç aldatma bilgileri ve elektrik kesintisi ve tüketim bilgilerini ulaştırabilmektedir. Bunun etkisiyle süratli bir biçimde tamircilerin lokasyona yönlendirilmesine olanak sağlar.

Son kullanıcı kısmında ne derece fazla kontrol ve ölçüm cihazı bulunuyorsa, enerji yönlendirmesi o denli kolay hale gelecektir. Ayrıntılı enerji kullanım akımlarını izleyen,

bu bilgiyi elektrik dağıtım şirketleri ile paylaşımında bulunarak arz-talep dengesi için hizmet eden akıllı sayaçlar, akıllı şebekelerinin en önemli unsurlardan biridir.

2.2.9 Akıllı Şebekelerin Ekonomik Getirileri

Gelişim halindeki yeni iş modelleri ve akıllı finansman metotlarıyla, olabildiğince tüketicileri yeni tarife yükünden uzak tutarak 2035 yılı akıllı şebeke hedeflerine ulaşabilmek için öneriler aşağıda yer almaktadır. [57].

2.2.9.1 Dağıtım Tarifesi

Yatırım miktarı 2018-2020 yılları arasında toplam 929 milyon TL, daha sonrasında 5 yıl içerisinde toplam 4,4 milyar TL, daha sonra yıllar içerisinde senelik yaklaşık 4 milyar akıllı şebeke için olduğu halde, son kullanıcı tarifesi gerçek anlamda ilk üç senede yaklaşık 0,045 kuruş, daha sonra 5 senede yaklaşık 0,293 kuruş, son 10 yıl içerisinde yaklaşık 1,27 kuruş bir yük sağlayacağına yönelik hesaplama yapılmıştır.

2018-2020 yıllarında EDAŞ'ların (Elektrik Dağıtım A.Ş.) planlama maliyetleri ve kısa vade yol haritası denetimi yapılamayan giderler cinsinden karşılık bulmaları, bu çalışmaların çerçevesinin seviyesinde yükselme getirecektir. Mevcut yatırım tavanlarına ek olarak verilecek bütçe ile yatırımlara karşılık bulunacak ve EDAŞ'ların şu anki yatırım planları etki altında kalmayacaktır.

Akıllı şebeke yatırımlarına oldukça kısa itfa süresi ve daha fazla mantığa uygun getiri oranının mümkün kılınması EDAŞ'lar bakımından ilave teşvik sağlayacaktır. Bunun yanında yapılması gerekli olan yatırımların karşılığı olarak gerekli uzun vadeli finansmanın tespit edilmesi ve itfa sürelerinin artırılması sonucunda yatırımcıların son kullanıcı tarifesine etkisinin göreceli şekilde azaltılmasını sağlayacaktır.

2.2.9.2 Kayıp Azaltma

Kayıp amacı, 2035 senesinde %6 seviyesinin altına düşürüldüğü durumda, 2035 senesine değin 388TWH tasarruf mümkün olacaktır. PTF (Piyasa Takas Fiyatı) 2017 senesinde yaklaşık fiyatı 163,89 TL/MWh ile bu tasarrufun boyutu ortalama 17 milyar ABD dolarına eşit olacaktır. Bu tasarruflar ile 2021-2035 seneleri arasında, 2017 yılı aralık ayı fiyatları ortalama 4,5 milyar Türk Lirası tutarında EDAŞ'lara fazla gelir tavanı olanağı tanıyacaktır.

Kayıpların en aza indirgenmesi bakımından teknik ve teknik olmayan kayıplar için ayrı süreçlerin tanınımının yapılması gerekmektedir.

2.2.9.3 Enerji Verimliliği

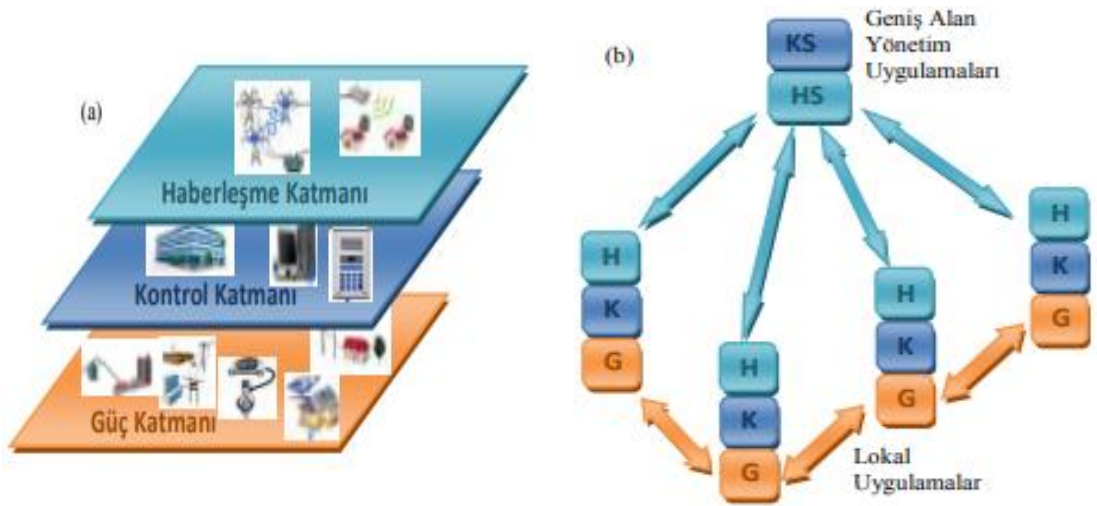
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından ortaya konulan “*Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023*” yılında enerji verimliliğine dair uygulama ve etki süreleri bir seneden 40 seneye kadar değişiklik gösteren faaliyetler saptanarak Türkiye’nin gün geçtikçe artış gösteren enerji talebinin 2023 yılına kadar %14’e düşürülmesi hedefi bulunmaktadır.

Eylem planına göre faturaların ayrıntılı şekilde tüketicilere enerji verimliliğine ilişkin ışık tutan konumda olası dikkate alındığı durumda, akıllı tüketicilere 10 seneliğe kiralanması sağlanacaktır.

2.2.10 Akıllı Şebekelerin Geçmişten Günümüze Gelişimi

Akıllı şebeke mimarili yapılar için ortaya koyulan haberleşme, kontrol metot ve uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda, akıllı şebekenin yakın zamanda altyapısının üç uygulama katma üzerinde gelişme göstereceği görülmektedir. Bunlar “Güç Sistemi”, “Kontrol Sistemleri” ve “Haberleşme Sistemleri” katmanlarıdır.

Bu katmanlar bütünleşerek geleceğin akıllı enerji dağıtım şebekesini bir araya getirmesi beklentisi bulunmaktadır. Şekil 2.4(a) ve (b)’de bu katmanları bir araya getiren bileşenlerin bir araya gelmesi neticesi birbirleriyle ilişkileri betimlenmiştir.



(a) Akıllı şebeke teknoloji katmanları

(b) Katman bileşenlerinin (G: Güç bileşenleri, K: Kontrol bileşenleri, H: Haberleşme bileşenleri, KS: Kontrol sunucusu, HS: Haberleşme sunucusu) birbiri ile olan işlevsel bağlantıları”.

Şekil 2.4. Akıllı enerji dağıtım şebekesi katmansal ve sistemsel yapısı

Dağıtık kontrol, haberleşme birimleri, geniş alan yönetim uygulamaları yönetimini mümkün kılan merkezi hizmetler birimlerinden ortaya çıkar. Bu hizmet noktalarında sistem veri tabanlarını optimizasyon, yönetim ve ileri düzey izleme algoritmaları bulunacaktır.

Şekil 4.1’de bulunan sistem yapılarının kurulması, ev seviyesinden site, şehir, ülkelere ve küresel şekilde dünyada farklı olanaklar ve fırsatlar sağlayacaktır. Bu olanaklar;

1) Hane seviyesinde olanaklar

- a) Esnek fiyatlandırma sistemi akıllı sayaçlar yoluyla sağlanabilecektir. Bu şekilde kullanıcının tercihleri ve programlaması katılımıyla tüketici yükleri, akıllı sayaçlar elektrik fiyatının uygun olduğu saatlere geçiş yapabilecektir.
- b) Akıllı sayaçların uzak alan haberleşme sistemi ile desteklenmesi enerji sistemini ve kullanıcı bilgilerinin uzak yönetim ve testine olanak tanıyabilecektir. İzleme, arıza tespiti ve ölçme işlemleri uzaktan sürdürülebilecektir. Enerji verimliliği ve lokal tesisat problemleri profilleri uzaktan değerlendirmeye alabilecek ve kullanıcılar bu hususta yönlendirici olarak bulunacaktır.
- c) c)Uzak-alan iletişim kabiliyeti bulunan akıllı sayaçlar, evlerin multimedya hizmetinin güç-hattından mümkün olmasına imkân tanıyabilir.
- d) Yakın alan ev-içi cihaz haberleşmeleriyle uzak noktadan cihazların kontrol imkânının bulunması, bunun yanında ev cihazlarının kendi içerisinde haberleşmeyi sağlamaları, akıllı ev sistemlerinin daha iç içe ve etkin bir yapıda olmasını mümkün kılacaklardır.
- e) Akıllı sayaçlar ev enerji depolama sistemlerinin ve yenilenebilir enerji sistemlerinin, konutlarda tercih edilmesini ve yönetimini gerçekleştirebilir. Bu durumda, konutların ve kişilerin enerji üreticisi konumuna geçmesi mümkün olur. Çift yönlü akıllı sayaçlar, konutta üretimi yapılan fazla enerjinin satışının yapılmasının mümkün kılarak tüketici ve enerji sistemine yararlı olabileceklerdir. Bu kabiliyet ile tüketicilerin, üretken-tüketici konumuna gelmesi beklenmektedir. Konutların, yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı olan üretken-tüketici konuma gelmeleri CO₂ salınımını azaltacak ve doğa dostu enerji üretimi gerçekleştirebileceklerdir.

f) Taşıma sırasında elektrikli araçların artış göstermesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilen fazla enerji taşıma sırasında yapılabilecek ve doğa üzerinde oldukça baskısı bolunun taşımacılık daha az maliyetli ve çevre dostu şeklinde uygulanabilmesi mümkün kılınacaktır.

2) Site seviyesinde olanaklar:

- a. Mikro şebeke seviyesindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının uyumuyla sitelerin şebekeye olan enerji bağımlılık düzeyi düşürülebilecek, doğa dostu tüketim ve üretimin desteği sağlanabilecektir.
- b. Site hizmetlerinin yönetimi ve denetimi ve site içi haberleşme güç dağıtım hattı üzerinde gerçekleştirilebilir.

3) Şehir ölçeğinde olanaklar:

- a. Akıllı şebeke üzerinden dağıtık kontrol ve dağıtık sensör uygulamaları şehir-içi hizmetlerinin otomasyonu ve yönetimini gerçekleştirebilecektir.
- b. Katı-atık giderilmesi tesislerinden sağlanan enerji, akıllı şebeke üzerinden şehir içi hizmetlerinin enerji gereksiniminden kullanımı yapılacaktır.
- c. Site ve ev seviyesinde enerji kaynaklarının tercih edilmesi, kentin dışına enerji bağımlılığını düşürebilecek, yenilenebilir enerji kaynakları verimli saatlerde enerji açısından %100 kendisi için yeterli konuma gelebileceklerdir.

4) Ülke ölçeğinde olanaklar:

- a. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla akıllı şebekelerin pay edilmesinin ve kullanılmasının artış göstermesi neticesinde, kömür, petrol ve doğalgaza bağlı olarak enerjiye bağımlılık azalma gösterecek ve ülkelerin enerji talebini karşılama hususunda doğal kaynakların ağırlık oranı artış gösterecektir. Bu doğa dostu enerji üretiminin mümkün kılınmasının yanı sıra ülkenin beşeri faaliyetleri ve ekonomisine olumlu etkileri bulunacaktır.
- b. Akıllı şebekelerin etkisiyle tüketim ve üretim yapılabilmesinin neticesinde iletim ve dağıtım masrafları ve kayıpları düşürülebilecektir. Oldukça güvenilir ve verimli enerji kullanımı mümkün olacaktır.
- c. Akıllı şebeke yoluyla yapılabilecek talep taraflı yük yönetimi planı gerçekleştirilebilir optimal tüketim yönetimi sağlanabilecektir. Bu

durumda, enerji fiyatlandırması uygun düzeyde olabilecek, gereksinimden fazla enerji arzının önüne geçilebilecektir.

5) Global ölçekte olanaklar:

- a. Yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllı şebekeler ile kullanımının artış göstermesi, yerinde tüketim ve üretimle verimliliğin artış göstermesi küresel ısınma gibi kişilerin faaliyetlerinin doğa üzerindeki etkisini düşürecek dünyanın yaşam için uygun olması konusunda önemli faydalar sunacaktır.
- b. Global bakımından bir araya gelen akıllı şebekeler, enerji tüketim ve üretimine esneklik sağlayabilecek, ülkeler arasında gerçekleşen enerji paylaşımına bağlı olan kaygı ve çekişmeleri düşürecektir. Enerji üretimi yapan ülkeler ile küresel akıllı şebeke uyumu, enerji arzlarını küresel ölçüde pay edebilmesin basit hale getirecektir. Çölde küçük ölçekli güneş paneli tarlası inşa eden bir lokal üretici, yapılan üretimi global bir pazarın hizmetini sağlama avantajına kavuşacak, bu durumda enerji pazarı kapsamlı hale gelecektir. Bu olanakların sosyo-ekonomik etkileri, dünyayı oldukça küresel konuma getirecek, ülke sınırları biraz daha önemini kaybedecektir.
- c. Global ölçek şeklinde küresel akıllı şebeke üstünde haberleşme, uzaktan denetim ve ölçme olanaklarını iyi hale getirecektir. Böylece gözlem istasyonları ve bilimsel araştırmaların çalışmalarını kolay hale getirebilecektir.

Yukarıda bahsedilen beklenti ve olanakların mümkün hale getirilebilmesi için şu noktaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1) Konut ölçeğinde gerçekleştirilmesi gerekenler:

- a) Akıllı sayaçları, en azından bellek, haberleşme, mikrobilgisayar birimlerini içermelidir. Bu cihazlar bina içi güç sistemleri ve uzak-alan haberleşmesine erişebilmek için yakın-alan haberleşme modüllerini kapsamalıdır.
- b) Yenilenebilir enerji sistemlerin konutlarda yaygın hale getirilmesi ve akıllı sayaçlarla yönetilebilirliği mümkün olmalıdır. Böylece, akıllı sayaç programlarınca şebekeye enerji aktarımı, konut içi güç yönetimi gibi işlevleri gerçekleştirilebilmelidir.

- c) Akıllı sayaçlar ile konut cihazları yönetilebilir ve haberleşme sağlayabilir konumda bulunmalıdır. Klasik cihazlara bu entegrasyonu sağlamak için akıllı priz tasarımı yapılmalıdır. Akıllı sayaçlarla akıllı prizlerin yönetimi sağlanmalıdır.
 - d) Park yerleri ya da garajlarda elektrik araç şarj sistemleri inşa edilmelidir.
- 2) Mahalle ölçeğinde yerine getirilmesi gerekenler:
- a) Güç hattı üzerinden yerel dağıtım şebekesinin haberleşmeyi mümkün kılması sağlanabilir. Dağıtıcı bileşenlerinin yönetilebilir ve uzaktan izlenebilir yapıya sahip olmasıdır.
 - b) Yerel bakımdan tüketim ve üretimin destekçisi olmak için yenilenebilir depolama ve enerji siteleri inşa edilmeli ve bu noktadan sağlanan enerjinin yerel tüketimi desteklemesi mümkün kılınmalıdır.
 - c) Elektrikli araçlara hizmet sunmak için yerel hızı bulunan şarj ve dolum istasyonları yaygın hale getirilmelidir.
- 3) Şehir ölçeğinde yerine getirilmesi gerekenler:
- a) Kentlerin kendi elektriğini temin edilebilir duruma getirilmesi için çalışmalar ortaya konulmalıdır. Kentlerin yakın bölgelerinde yenilenebilir enerji üretimi yapılacak alanlar inşa edilmelidir.
 - b) Şehir içinde enerji yönetimine yönelik haberleşme ve kontrol sunucuları inşa edilmeli, bu alanlar kentin enerji haritasını gerçek zamanlı şekilde gözleme alınabilmeli ve enerji dengesinin muhafaza edilmesi için yerel akıllı şebekenin denetimini mümkün kılmalıdır. Yenilenebilir kaynakları devreden çıkarma ya da alma, enerji ihracı ve ithali işlemlerinin yönetimi gibi görevlerde lokal ücretlendirme yer almalıdır.
- 4) Ülke ölçeğinde gerçekleştirilmesi gerekenler;
- a) Tüm kentlerin enerji talep ve durumlarını değerlendirmeye alabilen ve enerji akışını yönetimini sağlayan ulusal enerji yönetim ve denetim sistemi inşa edilmelidir.
 - b) Gelişen teknolojinin mümkün kılacağı fiyat avantajları ve devlet destek programları bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yerel tüketim ve yerel üretimi teşvik edecek önlemlerin alınması ve mekanizmaların inşa edilmesi gerçekleştirilmelidir.
 - c) 5- Global ölçekte gerçekleştirilmesi gerekenler;

- d) Tüm ülkelerin enerji talep ve durumlarını değerlendirmeye alabilen ve enerji akışını küresel ölçek bakımından yöneten küresel enerji yönetim ve denetim sistemleri inşa edilmelidir.
- e) Standartlaştırma ve akıllı şebeke araştırmalarına yönelik bağımsız kuruluşlar inşa edilmelidir. Bu kuruluşlar, belirli standartlara göre akıllı şebekelerin entegre gelişimini ve uygunluğunu mümkün kılacak önlemleri almak için yetkili olarak bulunmalıdır.

2.2.11 Akıllı Şebekelerin Gelecekteki Yeri ve Önemi

Akıllı şebekeler, sistemde bulunan paydaşların çift yönlü şekilde kontrol merkezi ve birbirleri arasında haberleşmede bulunduğu, enerjinin anlık şekilde izlendiği ve dinamik şekilde yönetiminin yapıldığı bir sistem özelliği taşımaktadır. Ayrıca alternatif enerji üretiminin destekçisi ve akım denetimini en uygun hale getiren bir enerji dağıtım ve iletim sistemlerinin tamamı biçiminde de belirtilmektedir. Sıkıntılı alanlar ile akıllı bir iletim sistemi süratli bir biçimde yalıtılarak geniş kapsamlı enerji kesintileri engellemektedir [58]. Gerçek zamanlı haberleşme altyapısına sahip olan akıllı şebekeler ile aşırı yüklenmelerin farkına varabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını en uygun hale getirerek, enerji akış noktalarını düzenleyecek ve kullanıcı maliyetlerini düşürecek çevreci bir sistem ortaya koyacaktır [12].

Dağıtım sistemleri üzerinde hızlı iletişimi bulunan bu yapı röleler ve kullanıcıyı bilinçli hale getiren kayıp kaçak oranlarının belirleyici olan ve çift yönlü okuma sağlayan sayaçlar ile çok fazla etkin şekildedir. Bunun yanında, bilinen sistemlerden farklı şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarının katılımıyla değişiklik oluşturan yük akışı yapılarına uyumlu halde bir yapıya sahiptir. Koruma koordinasyonların tümü ve anahtarlama yapılarında değişiklik oluşturacaktır. Bu değişiklik ile bilinen yapı modelleri ile mücadele etmek mümkün değildir. Ayrıca bağımsız enerji bölgelerini belirten mikro şebeke filozofisi, gerçek hale gelmek için akıllı şebeke yapısına gereksinim duymaktadır [12]. Şekil 2.5'te örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısına yer verilmiştir.



Şekil 2.5. Örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısı [12]

Tedarik edenler bakımından hükümet ve teknoloji politikası şeklinde makro alanda değişikliklere gereksinim duyarken, talep bakımından incelemeye alındığında oldukça fazla tüketici düzeyinde mikro kararlara gereksinim duyulduğu anlaşılmaktadır.

Akıllı bir şebekeye yönelik röleler ve trafo gibi sistem elemanlarının tümünün akıllı hali ve koruma ve haberleşme teknolojisinin elektromekanik bakımdan dijital yapıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun yanında, sistemin tamamının birbiri ile iletişim kurması için, ihtiyacından fazla yüksek bant genişliğine sahip süratli bir iletişim alt yapısına gereksinim duyulmaktadır. Bu şekilde büyük bir sistem ve haberleşme talebine yanıt verecek bir bilgisayar gücü de gerekli sayılmaktadır. Bu şartlar altında, artık bugün sağlanabilir haldedir. Fiber teknoloji, kablosuz iletişim, dijital röleler gibi teknolojik gelişmeler akıllı şebekeleri mümkün kılmaktadır [10].

Tüm bu sebeplere bağlı olarak eski sistem unsurları yeniden ortaya konulurken veya yeni sistem unsurları ilave edilirken bu yapıya uygun sistemlerin uygun hale getirilmesi bu geçişi süratlendirilecektir. Farklı yöndeki güç akışlarına uyum sağlayabilen farklı muhafaza metotları gerçekleştirebilen iletim sisteminin akıllı bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu şekilde, arızaların daha doğru şekilde yeri ve niteliği saptanacak, sistem düzenleyicilerindeki yük azaltılacaktır. Ağustos 2003'te Amerika'da enerji

kesintisi yaşanması, 50 milyon kişinin enerjiden yoksun kalmasına sebebiyet vermiştir [58]. Art arda gelen zincirleme olaylar neticesinde ortaya çıkan büyük çöküş, 7 dakika gibi uzun bir süre içerisinde meydana gelmiştir. Bunun sebepleri arasında akıllı bir yapıda bulunmaması ve art arda gelen olayların yetersiz takibi vardır. Gelecek dönem için hedeflenmesi gerekli olan en önemli ilkelerden biri tasarımı yapılacak enerji sisteminin Çin, Hindistan, Avrupa ve Amerika gibi ülkelerin uyguladığı biçimde akıllı şebeke teknolojisine uygun şekilde seçebilmektir. Hayat boyunca var olabilecek tek devam ettirilebilir yapı şeklinde gözüken yenilenebilir enerjiye ve büyük şebekeye en uygun şekilde duyulan gereksinim akıllı şebeke teknolojisini koşul kabul edecektir [12].

2.2.12 Akıllı Şebekelerde Haberleşme

Akıllı şebekelerin odak noktası haberleşme konusu olmaktadır. Enerji izleme sistemlerinde yer alan fiziksel altyapı fiber optik, bakır iletkenler, GSM-GPRS altyapısı kablosuz ve mikrodalga ağ gibi farklı şekillerde ortaya çıkabilir. SCADA yazılımı ile uç cihazlar arasında fiziksel iletişim ortamı üzerinde oluşan haberleşme yapısı ise haberleşme protokolü şeklinde tanımlı yapılabilir. Bu durumda uç cihazlar ve kontrol merkezi arasında çift yönlü haberleşme mümkün kılınır

2.2.12.1 Haberleşme Teknolojileri

Akıllı şebeke; esas bakımdan haberleşme operasyon ve bilgi sistemlerinin bir araya gelmesiyle biçimlenmiş elektrik dağıtım şebekesi halinde özetlenebilir. Bahsedilen sistemlerin bir araya gelmesi neticesinde elektrik şebekeleri; veriler bakımından toplama, değerlendirme, depolama ve algılama işlemlerini oluşturmalıdır. Tüketim ve üretim alanında alternatifler ortaya koyan, tüketici etkin konuma getiren akıllı şebeke sistemleri, bilinen elektrik şebekelerine oranla daha karmaşık yapıya sahiptir. Haberleşme ve denetimin aktif şekilde yapılması gereksinimine karşılık bulmak için şebeke bileşenleri; veri iletme, veri alma ve veri işlemedir. Bu işlemlerin yerine getirilmesi için bileşenlerin iletişim becerisi haricinde programlı hale getirilmeleri gerekmektedir. Haberleşmesi gerekli olan ve programlı hale getirilen gereken bileşenlerin kendi arasında sağladığı etkileşim ve iletişim için haberleşme protokolleri, altyapıları, sunucuları ve haberleşme altyapılarına gereksinim duyulur[2].

Enerjinin üretiminden tüketimine kadar her evrede gerçek zamanlı ve iki yönlü veri aktarımını mümkün kılan akıllı şebekeler, güvenilir, enerji verimliliği yüksek ve sürdürülebilir bir ağı ortaya koymaktadır. Bahsi geçen bütün şartlar; başta gelişmekte olan

yarıiletken teknolojiler olmak üzere, hassas yapıya sahip mikroişlemciler ve çok sayıda mekanik ve elektronik unsur kullanılarak üretim, iletim ve tüketim hatlarıncı mümkün olur. Bu gelişmeler ile kontrole bağılı olarak ileri haberleşme metotlarına gereksinim ortaya çıkar. Buna bağılı olarak akıllı şebekeler için yararlanılacak haberleşme ağıları bu gereksinimlere karşılık bulacak, veri trafiğı ve yükün altından kalkacak biçimde ortaya konmalıdır.

Akıllı şebekelerde olmazsa olmaz akıllı sayaçlar emsal bir haberleşme uygulaması şeklinde tercih edilmiştir [59]. Bu haberleşme metotları tek taraf özelliğı taşıyabileceğı gibi çift taraflı da olabilir. Endeks bilgilerinin takibi tek taraflı yapılırken, çift taraflı şekilde de kullanıcıya bu bilgiler sunulabilir veya uzaktan kontrol mümkün kılınarak enerji kesme gibi işlemler uygulanabilir. Sistemler üzerinde transformatör ve yıllık abone tüketimi dikkate alınarak usulsüz enerji kullanımı saptanabilmektedir [59].

Akıllı şebeke sistemlerinin ortaya konulmasında haberleşme gereksinimi; şehir veya şehirlerarası uzak olan tesis içi ya da bina olan yakın alan haberleşmenin iki tarafını da içermektedir. Gerçek zamanlı haberleşme, elektrik şebekelerinin en iyi şekilde kullanımı ile sonuca ulaşmak ve modernleşme bakımından önemli bir ilerleme kaydedecektir. Bu şekilde veri merkezleri, tüketici ve üretici tabanlı uygulama ve yazılımlar ile bu sistemde veri aktarımını sağlayabilecektir. Ölçüm noktalarından değerlendirme noktalarına taşınan veriler için daha etkili ve kolay haberleşme teknolojilerinden yararlanılmasının planlaması yapılmaktadır. Bu plan dâhilinde bulunan haberleşme altyapısı mevcut güç hattı, fiber optik kablolar vasıtasıyla kablosuz ve geniş bant teknolojilerini kapsayan farklı iletişim kanalları tercih edilerek kurulmaktadır.

Örnek olarak Çizelge 2.3’de verilen çalışma [60], 2012 yılında ortaya konulmuş olup, akıllı şebeke teknolojisinde yer alan ve kullanımda bulunan haberleşme teknolojilerini özet haline getirmek maksadıyla sunulmuştur. Fakat gün geçtikçe Çizelge 2.3’de bulunan teknolojiler dışında gelişme gösteren diğer haberleşme teknolojilerinin de akıllı şebeke sisteminde gereken parametrelerin analiziyle seçimi yapılarak yararlanacağına ilişkin tahminde bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Akıllı şebekelerde kullanılan ve kullanılması beklenen haberleşme teknolojileri [60]

Haberleşme Teknolojisi	Türü	Kullanım Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Kablosuz Haberleşme Teknolojileri	Hücresel (LTE ve GPRS/3G/4G)	Trafo merkezleri ve yerel enerji kaynakları için uzaktan izlemesinin yapılması, Ses iletişimi, Basit metin mesajlaşmasını destekler	Var olan şebeke altyapısından yararlanılmasıyla işletme ve bakım maliyeti, düşük uygulama, kapsamı geniş olması sebebiyle daha iyi hareket kabiliyeti	Baz-Kule istasyonu gereksinimi, Büyük ölçekli uygulamalar uygun olmaması, Merkezi alandan uzak bölgelerde kapsama alanı problemi, Güvenliğin zayıf olması
	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Ev enerji ara yüzü, Görüntü ve iş iletişimi, Bilgisayarlar, elektronik cihazlar ve akıllı ölçme sistemleri arasında bağlantı sağlar	Hızlı tesis etme, Yüksek esneklik, Kent türünde yoğun bölgelerde uygulamaya yer bulabilme	Kapsama alanı geniş olmayan, Yüksek girişim karşısında hassas, yüksek güç tüketimi, Küçük ölçekli uygulamalarda uygun değil, Güvenliğin zayıf olması
	WiMAX (IEEE 802.16)	Akıllı sayaç okuma sistemleri altyapısıyla 3. seviye (müşteri) iletişim ağları için kablosuz ağlara sağlanan alternatif	Kablolu çözümlere göre hızlı kurulum, Uzun menzilli, Gerçek zaman uygulamaları ve erken yanıt hızının yeterliliği	Kule/ istasyonu gerektirir, Güç tüketimi yüksek, Güvenlik zafiyeti
Kablolu Haberleşme Teknolojileri	SDH / SONET ve E / GPON (Gigabit Passive Optical Network)	Geniş bantlı çözüm önerileri, Fiber optik iletim ortamı	Bant genişliği ve yüksek kapasite; hızlı iletişim, girişimde bulunulmaması	Maliyetinin yüksek olması, kurulum hızının süratli olmaması (altyapısı bulunmayan alanlarda)
	BPL (Geniş Bantlı Güç Hattı) ve PLC (NB ve BB)	Güç iletim hatları, Haberleşme AG ve OG hatlarına bağlı olarak gerçekleştirilir, DSL (Digital Subscriber Line) ve Kabloya alternatif bir oldukça büyük bantlı erişim ortamı (BPL)	Bina içinde kurulum basit yapısı, son kullanıcı cihazları için hareket yeteneği ve yüksek esneklik, kırsal bölgeler için iyi bir çözümleme	Uygulamanın büyük binalarda güç olması, Anahtarlama problemi, İşaret zayıflamaları ve tercih edilen yükselticilerin maliyetinin yüksek olması, Girişime karşı karşıya kalma ve girişim oluşturma
Ağ Tipleri	WMN	Ağ tipi şebeke, çok sayıda çeşitli uygulamayı yerine getiren süper ağ yönlendiricileri	Uygun ve kolay maliyet kurulum, Esneklik ve Yüksek güvenilirlik	Veri yönetim uygulamasının güç olması; lisanssız bantlarda düşük şekilde denetim, Standartın yetersiz olması, Giderlerin sabit olması.
	WSN ve WPAN (Wireless Personal Area Network) (IEEE 802.15.4)	Ev, ofis ve akıllı enerji otomasyonu, Küçük çaplı uygulamalar, Endüstriyel tesislerde ve yerel üretim birimlerinde Trafo merkezlerinde, izleme ve algılama	Hızla ve kolay yayılım, maliyetin düşük olması, Taşınabilirliğin yüksek olması, Kolay yapılandırma	Bellek ve gücün kısıtlı olması, Düşük veri hızı, Yüksek veri kaybolması, Kapsama alanının oldukça küçük olması.

2.2.12.2 Kablolu Haberleşme

Elektrik şebekeleri bilhassa mesafelerin uzun olduğu yerlerde veri aktarımı bakımından iletim/dağıtım ve optik hatları için en uygun teknoloji niteliği taşımaktadır. SDH (Senkron Dijital Hiyerarşi) ve SONET (Senkronize Optik Ağ) gelecek nesil fiber optik teknoloji alanından veri aktarımı için yararlanılabilir. Burada bahsi geçen teknoloji Ethernet ve IP uygulamalarına yönelik çok servisi bulunan platformları mümkün kılabilirler. Bilhassa Ethernet'in kolay yapısı ve SONET/SDH teknolojisiyle maliyeti düşük *"Taşıyıcı Ethernet"* ortaya çıkarır. Elektrik şebekeleri alanında uzaktan veri okuma, yük kontrolü mümkün kılma, iletim/dağıtım hatları gibi uygulamalar bakımından Güç Hattı Haberleşmesi PLC de yaygın halde görülmektedir. *"Sinyalizasyon; yüksek gerilim hatlarında kullanılırken, veri aktarımı; orta gerilim ve alçak gerilim hatları üzerinden gerçekleştirilir"*. MHz (Megahertz) frekanslarında geniş bant haberleşme, PLC ise kHz (Kilohertz) frekanslarında ise dar bant haberleşme oluşturur. Mevcut elektrik hatlarının yararlanılarak, bu hatlara bağlı olan cihazlarla iletişimi mümkün kılması PLC için avantaj sağlar. Tüm bunlara karşın; kanal şartlarında ortaya çıkan değişimler ve haberleşme empedansı, kapsamlı alanlarda uygulama sıkıntıları, işaret zayıflığı, şebekede bulunan anahtar sayısının çok olması, sinyal girişimi oluşturması ve bunun etkisinde kalması, bakım maliyetleri gibi güçlükleri de vardır [60].

2.2.12.3 Kablosuz Haberleşme

Haberleşme prosedürleri incelendiğinde akıllı şebeke sistemleri için; yüksek esneklik, kablosuz bağlantı, kolay genişletilme, kolay bakım, maliyeti düşük uygulama etkisiyle güç sistemi uygulamaları üzerinde denetim ve takip bilgilerinin gönderilmesi için büyük avantajlar ortaya çıkarır [61].

Akıllı şebeke sistemleri üzerinde bulunabilecek kablosuz haberleşme teknolojileri üç farklı grup şeklinde ele alınabilir. Kablosuz teknolojilerin çoğunlukla oturmuş ve tescilli yapılmış standartlar tarafından yönetimi yapılırken, bir kısmı gelişmekte ve net olan standartlar tarafından yönetimi yapılmaktadır. Bir kısmı ise erken uyum evresinde yer almaktadır [62].

GSM/Mobil İletişim ağları: Hücresel haberleşme teknolojileri şeklinde de bilinen bu ağlar, ses iletimi için dizayn edilmiş teknoloji özelliği taşımaktadır. *"GPRS, 2G, 3G, 4G, 4.5G ve 5G"* gibi iletişim protokollerini kapsamaktadır [61].

2G teknoloji: Bu sırada, GSM şebeke erişimini sağlamak TDMA (Time-Division Multiple Access) erişim tekniğinden yararlanılır. Güncel hale getirilerek genel Paket Radyo Servisi- GPRS olmuş ve paketlenmiş veri aktarımı için kullanılır konuma geçmiştir. Zaman içerisinde, 3GPP (3.Nesil Ortaklık Projesi), 3G, 4G ve 4.5G, EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GSM teknolojileri gelişmiş düzeye yükselmiştir.

3G: Büyük oranda hızlı veri aktarımı, ses kalitesinin daha iyi yapıya sahip olması ve paket uygulamalar bakımından internet erişimini mümkün kılar.

4G teknolojisi: Veri ve hız aktarım kapasitesini yükseltmeye yönelik 3G'nin geliştirilmesi ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak 4G teknolojisi oldukça uygun fiyat ile kullanımda bulunabilir aynı zamanda akıllı şebekeler bakımından uzaktan izleme, kontrol ve okuma uygulamaları için oldukça kullanılabilir yapıdadır. Veri aktarım hızını yükseltmek ve ağ onarmak için kapasitesini EGPRS (Enhanced General Packet Radio Service) olmuş ve aktif hale getirilmiştir.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) ve WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) teknolojileri: “IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11a/b/c/g/n ve IEEE 802.16 standartları” bakımından gelişim sağlamışlardır. Wi-Fi (Wireless Fidelity), IEEE 802.11n standardında inşa edilmiştir. LAN (Local Area Network) seviyesinde erişimi mümkün kılar. Mobil cihazların, etrafında olan kablosuz erişim noktaları vasıtasıyla yerel alan ağına erişim sağlanıp veri ve ses aktarımını gerçekleştirir. WiMAX, IEEE 802.16 standardına bağlı olarak inşa edilmiştir. Kabloların alternatifinde bulunan geniş bant iletişimi ile beraber sayıç okuma esnasında oldukça güvenilir, nitelik sahibi iletişim ortamı kurmaktadır.

Kablosuz Gözlü (Mesh) Ağlar (WMN) ve Kablosuz Sensör Ağlar (WSN): “IEEE 802.11 ve IEEE802.15.4 standartları” üstünde inşa edilmiştir. WMN, veri aktarım ve düşük güç oranında bulunmaktadır. Enerji, ev ve ofis otomasyonu için WSN'den yararlanır.

2.3 Sayaçlar

Kullanılan veya üretilen elektrik enerjisinin miktarının ölçülmesini sağlayan cihazlar, elektrik sayacı olarak adlandırılır. Elektrik sayacı, elektrik enerjisi üretilen veya tüketilen devrelerdeki üretilen ya da tüketilen işi direkt olarak ölçen ölçü aletidir. Kısaca anlatmak gerekirse elektrik sayacı güç ve bu gücün uygulandığı zamanı ölçer.

2.3.1 Elektrik Sayaçlarının Gelişimi

Elektrik Sayacı ihtiyacı 1800'li yılların ikinci yarısından itibaren başlamıştır. Yeni yeni oluşan aydınlatma şebekelerinin faturalandırması mecburi hale gelmişti. Thomas Edison gibi bilim insanlarının katkıları ile ilk elektrik sayaçları gelişimini gerçekleştirmiştir. 1872 de ilk enerji sayacı Samuel Gardiner tarafından yapılmış olup, bu ilk sayaç DC ölçüm yapmaktaydı. Sonraları J.B. Fuller tarafından ilk AC elektrik sayacı yapıldı ve günümüzde kullanılmakta olan enerji sayaçlarının temeli atıldı. Bu sayaç, içinden alternatif alan geçirilen iki bobin sayesinde basit bir saat mantığı ile çalışmaktaydı ve ölçtüğü yükte genellikle stabil ark lambalarıydı. Günümüz elektrik şebekelerinde kullanılan elektrik cihazlar şebeke stabilitesini bozmakta. Yeni sayaçlar bu problemlere göre tasarlanmaktadır.

Galile Ferraris ve Nikola Tesla gibi bilim adamlarının yeni buluşları ile teknolojik gelişim seviyesi yükselmekteydi. Thomas Edison ve Nikola Tesla arasındaki DC – AC şebeke çekişmesi enerji sayaçlarının da yönünü tayin edecekti. 1920'li yıllarda sayaç üzerindeki bağlantı noktalarının korunması ve çok fazlı enerji sayacı geliştirilmesi üzerine çalışmalar arttı. 1930'lu yıllarda sayaç kullanımı sigorta ve anahtarlama ekipmanları ile yapılmaktaydı. Sonraki yıllarda şebeke ihtiyaçları ve ek özelliklerle enerji sayaçları gelişimi günümüzdeki halini almıştır. Gerilim ölçme teknikleri ile günümüz elektronik sayaçları üretilmeye başlamıştır.

Günümüz sayaç yapısında tarifeli rutin enerji ölçümünün yanı sıra şebeke parametre ölçümleri (V, I, Cos ϕ vs.), güç kalitesi parametre ölçümleri (Harmonik, kesintiler vs.) gibi özelliklerde mevcuttur. Enerji sayaçları kablolu ve kablosuz haberleşme imkânları ile OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi) sistemlerine de hazır haldedir. Üzerlerindeki sensörlerle beraber dışarıdan müdahalelere karşı kayıt özellikleri bulunmaktadır. Modüler sayaçlar değişik sistemler için özelleştirilebilmektedir.

2.3.2 Zamana Göre Elektrik Sayacı Kullanımı

Sayaç ölçüm yaparken Türkiye'de üç farklı tarife türü bulunur.

- **T1:** Çok zamanlı tarifeli elektrik sayaçlarında gündüz tüketimi miktarını gösterir.
- **T2:** Çok zamanlı tarifeli elektrik sayaçlarında puant (akşam) tüketim miktarını gösterir.
- **T3:** Çok zamanlı tarifeli elektrik sayaçlarında gece tüketim miktarını gösterir.

Tek Zamanlı Abonelik:

Elektrik tüketiminin günün her saatinde aynı birim fiyat üzerinden hesaplandığı tarifedir. Yani 7/24 esasına dayalı tek bir birim fiyat ile ücretlendirilen abonelik tipidir.

Çok Zamanlı Abonelik:

Yirmi dört saatlik zaman dilimini; gündüz, puant ve gece olmak üzere üçe ayıran tarife tipidir. Amaç; abone tüketimini, genel tüketimin yüksek olduğu puant tarifesinden çekip, genel tüketimin daha az olduğu gece tarifesine yönlendirmektir. Çizelge 2.4’de çok zamanlı abonelik tarifi zaman dilimleri ve maliyetleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Çok zamanlı abonelik tarifeleri

Yaz Saatine Göre Sürekli	Gündüz T1	Puant T2	Gece T3
Güncellenen sayaç	06:00/17:00	17:00/22:00	22:00/06:00
Güncellenmeyen sayaç ile kış saati	07:00/18:00	18:00/23:00	23:00/07:00
Güncellenmeyen sayaç ile yaz saati	06:00/17:00	17:00/22:00	22:00/06:00
Birim Enerji Bedeli	Normal	Pahalı	İndirimli

2.3.3 Klasik Sayaçlar

Bu sayaçlar daha önce tanımını yaptığımız üzere en basit sayaçlar olarak bilinir. Tüketilen veya üretilen elektrik enerjisinin ölçümünü yapabilen donanımlardır. Elektrik sayaçlarının (güç ve bu gücün uygulandığı zamanı belirlediği için) ölçüm birimi Wh (Waat/saat)’dir. Sürekli artan kullanıcı talebi karşısında elektrik sayaçlarının önemi büyüktür. Teknolojik gelişmeler karşısında dijitalleşen elektrik şebekesinin gereksinimlerini karşılayabilmek için tarih sahnesinde klasik elektrik sayaçlarının yerini git gide akıllı elektrik sayacı kullanımı almaktadır. Şekil 2.6’de örnek bir klasik elektrik sayacı gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Örnek bir klasik elektrik sayacı

2.3.4 Akıllı Sayaçlar

Elektrik sayaçları, akıllı şebekelere geçiş sürecinde kritik bir yapı taşıdır. Geleneksel bir elektrik sayacı, belirli bir zaman diliminde tüketilen elektrik enerjisini ölçer, bu da klasik şebekeler için yeterli bir işlevsellik sunar. Ancak, akıllı şebekelerde sayaçlardan beklenen işlevler çok daha kapsamlıdır. 1990'lı yıllara kadar, elektrik sayaçları herhangi bir iletişim yeteneğine sahip değildi ve çoğunlukla manuel olarak okunan elektromekanik sayaçlar kullanılıyordu. Sayaç okuma görevlileri, sayaçları yerinde kontrol ederek tüketim verilerini toplar ve bu verilere göre faturalandırma yapılırdı. Teknolojik ilerlemeler, akıllı şebekelerin ortaya çıkmasına ve dolayısıyla elektrik sayaçlarının da evrim geçirmesine yol açtı. Bu evrim, tek yönlü iletişim sağlayan Otomatik Sayaç Okuma (AMR) cihazlarının devreye girmesiyle başladı. AMR cihazları, yalnızca sayaç okuma işlemini kolaylaştırdı; ancak akıllı şebekenin gereksinim duyduğu işlevleri yerine getiremiyordu. Bu gelişim sürecinin bir sonraki adımı, iki yönlü iletişimi mümkün kılan Otomatik Sayaç Altyapısı (AMI) oldu. AMI ile birlikte sayaçlar, ayda bir kez okunan cihazlar olmaktan çıkıp, çok daha kısa aralıklarla okuma yapılabilen ve uzaktan iletişim kurabilen cihazlara dönüştü. Gelecekte ise, sadece okuma işlevi değil, tüm akıllı şebeke işlemlerini gerçekleştirebilen daha da gelişmiş akıllı sayaçların kullanıma girmesi beklenmektedir.

Akıllı sayaçlar kullanılarak bir şebeke için iletişim altyapısı oluşturmak oldukça zorlu bir süreçtir. Bu iletişim altyapısının dayanıklı, kesintisiz ve güvenli olması büyük önem taşır. Akıllı sayaçlar ve iletişim altyapısı, akıllı şebekeler için kritik araştırma alanlarından biridir ve özellikle iletişim mekanizmaları üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu altyapı için yaygın olarak kullanılan iletişim teknolojileri arasında hücresel ağlar, algılayıcı ağlar, ZigBee, BPL (Güç Hatları Üzerinden Geniş Bant), WiMax (Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik), WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağı), bilişsel radyo ağı ve McWill ağı yer almaktadır [59-60]. Bu teknolojilerin, şifrelenmiş, güvenli, hızlı ve korumalı bir iletişim sunması gerekmektedir. Ayrıca, akıllı sayaçların günlük hayatta kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte veri güvenliği ve kişisel bilgilerin gizliliği gibi konular da önemli bir mesele haline gelecektir. Son olarak, sistem gereksinimlerini karşılamak için bant genişliği ve ağ trafiği gibi konular üzerinde de yeterli çalışmalar yapılması gerekmektedir.

2.4 IEC 62056-21 Protokolü

Genel olarak birçok farklı marka elektrik sayacı bulunmaktadır. Bu sayaçların hepsi standart olarak IEC 62056-21 ya da eski adıyla IEC1107 protokolü ile haberleşmektedir. Bu protokol International Electrotechnical Commission (IEC) tarafından 2002 yılında elektrik sayaçları ile haberleşmek için duyurulan bir iletişim protokolü standardıdır. Ülkemizdeki elektrik sayaçlarının hepsi bu protokolü kullanmaktadır. Protokolün fiziksel iletişim katmanı optik porttur. Fakat gelişen teknoloji ile birlikte RS-232, RS485 ve GSM/GPRS gibi iletişim metotları da kullanılmaktadır.

Protokol paket yapısı ile çalışmaktadır. Master cihaz (server) iletişimi başlatır, sorgu sorar ve iletişimi sonlandırır. Tüm bu veri trafiği belirli bir paket yapısına göre yapılır. Bu paketlere Nesne Tanımlama Sistemi (Object Identification System – OBIS) kodu denilir ve yaklaşık 150 civarında tanımlı OBIS kodu bulunmaktadır. Elektrik sayacı slave cihaz (client) konumundadır, yani iletişim başlatamaz. Protokol iletişimi ASCII tabanlı yürütür ve bu durum hız açısından oldukça sıkıntı yaratır. Standart, sayaç üreticilerinin kendileri için tanımlı özel OBIS kodları geliştirmesine de imkân vermektedir.

IEC 62056-21 protokolünde standart olarak haberleşme hızı 300bps'dir. Bunun dışında standart olarak iletişim hızları 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 ve 19200bps'dir. Karakter formatı ise 1 start biti, 7 data biti, 1 parity biti, 1 stop biti dir. Karakter güvenliği ise even parity olacak şeklindedir. İletişimin güvenliğinde her byte gönderimi için even parity kullanılmasının yanında pariti bitinin yetersiz kaldığı durumları engellemek içinde BCC (Block Check Character) kullanılmaktadır.

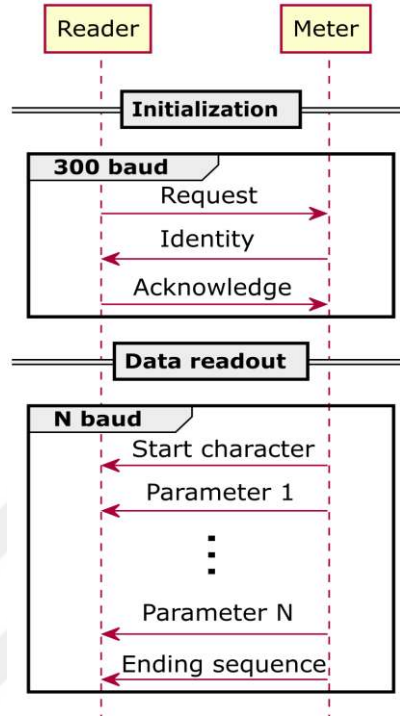
Elektrik sayaçlarında veri okumada OBIS bazlı okuma yapılabilirken sayaçtan tüm verilerin okunması da istenebilir. Fakat genelde OBIS bazlı okuma yapılarak sadece istenen bilgiler sayaçtan istenir. Sayaç içerisindeki verilerin OBIS kodları protokolde standartlaştırılmıştır. Çizelge 2.5'de bazı OBIS kodları ve hangi anlama geldikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı OBIS kodları

OBIS Kod	Açıklaması (Anlamı)	64.8.0	Phase C reactive export energy
1-0:0.9.2	Current Date	1.06.2000	Active Maximum demand (import)
1-0:0.9.1	Current Time	2.06.2000	Active Maximum demand (export)
1-0:0.0.0	Meter NO.	1.06.2001	Active Maximum demand (import) in Tariff 1
1.08.2000	Total active import energy	1.06.2002	Active Maximum demand (import) in Tariff 2
2.08.2000	Total active export energy	1.06.2003	Active Maximum demand (import) in Tariff 3
3.08.2000	Total reactive Import energy	1.06.2004	Active Maximum demand (import) in Tariff 4
4.08.2000	Total reactive export energy	2.06.2001	Active Maximum demand (export) in Tariff 1
5.08.2000	Total reactive energy Q1	2.06.2002	Active Maximum demand (export) in Tariff 2
6.08.2000	Total reactive energy Q2	2.06.2003	Active Maximum demand (export) in Tariff 3
7.08.2000	Total reactive energy Q3	2.06.2004	Active Maximum demand (export) in Tariff 4
8.08.2000	Total reactive energy Q4	3.06.2000	Reactive Maximum demand (import)
9.08.2000	Total apparent import energy	4.06.2000	Reactive Maximum demand (export)
10.08.2000	Total apparent export energy	9.06.2000	Apparent Maximum demand (import)
1.8.0*X	Total active import energy of previous month (0 < X < 16)	10.06.2000	Apparent Maximum demand (export)
2.8.0*X	Total active export energy of previous month (0 < X < 16)	1.05.2000	Import active total power at apparent demand
3.8.0*X	Total reactive import energy of previous month (0 < X < 16)	1.05.2001	Import active tariff 1 power at apparent demand
4.8.0*X	Total reactive export energy of previous month (0 < X < 16)	1.05.2002	Import active tariff 2 power at apparent demand
9.8.0*X	Total apparent import energy of previous month (0 < X < 16)	1.05.2003	Import active tariff 3 power at apparent demand
10.8.0*X	Total apparent export energy of previous month (0 < X < 16)	1.05.2004	Import active tariff 4 power at apparent demand
1.08.2001	Active import energy of current month in Tariff 1	2.05.2000	Export active total power at apparent demand
1.08.2002	Active import energy of current month in Tariff 2	2.05.2001	Export active tariff 1 power at apparent demand
1.08.2003	Active import energy of current month in Tariff 3	2.05.2002	Export active tariff 2 power at apparent demand
1.08.2004	Active import energy of current month in Tariff 4	2.05.2003	Export active tariff 3 power at apparent demand
2.08.2001	Active export energy of current month in Tariff 1	2.05.2004	Export active tariff 4 power at apparent demand
2.08.2002	Active export energy of current month in Tariff 2	21.07.2000	Instantaneous active import power of phase A
2.08.2003	Active export energy of current month in Tariff 3	22.07.2000	Instantaneous active export power of phase A
2.08.2004	Active export energy of current month in Tariff 4	23.07.2000	Instantaneous reactive import power of phase A
1.8.1*X	Active import energy of previous month in Tariff 1 (0 < X < 16)	24.07.2000	Instantaneous reactive export power of phase A
1.8.2*X	Active import energy of previous month in Tariff 2 (0 < X < 16)	29.07.2000	Instantaneous apparent import power of phase A
1.8.3*X	Active import energy of previous month in Tariff 3 (0 < X < 16)	30.07.2000	Instantaneous apparent export power of phase A
1.8.4*X	Active import energy of previous month in Tariff 4 (0 < X < 16)	31.07.2000	Instantaneous current of phase A
2.8.1*X	Active export energy of previous month in Tariff 1 (0 < X < 16)	32.7.0	Instantaneous voltage of phase A
2.8.2*X	Active export energy of previous month in Tariff 2 (0 < X < 16)	33.7.0	Instantaneous power factor of phase A
2.8.3*X	Active export energy of previous month in Tariff 3 (0 < X < 16)	41.7.0	Instantaneous active import power of phase B
2.8.4*X	Active export energy of previous month in Tariff 4 (0 < X < 16)	42.7.0	Instantaneous active export power of phase B
21.08.2000	Phase A active import energy	43.7.0	Instantaneous reactive import power of phase B
41.8.0	Phase B active import energy	44.7.0	Instantaneous reactive export power of phase B
61.8.0	Phase C active import energy	49.7.0	Instantaneous apparent import power of phase B
22.08.2000	Phase A active export energy	50.7.0	Instantaneous apparent export power of phase B
42.8.0	Phase B active export energy	51.7.0	Instantaneous current of phase B
62.8.0	Phase C active export energy	52.7.0	Instantaneous voltage of phase B
23.08.2000	Phase A reactive import energy	53.7.0	Instantaneous power factor of phase B
43.8.0	Phase B reactive import energy	61.7.0	Instantaneous active import power of phase C
63.8.0	Phase C reactive import energy	62.7.0	Instantaneous active export power of phase C
24.08.2000	Phase A reactive export energy	63.7.0	Instantaneous reactive import power of phase C
44.8.0	Phase B reactive export energy	64.7.0	Instantaneous reactive export power of phase C
		69.7.0	Instantaneous apparent import power of phase C
		70.7.0	Instantaneous apparent export power of phase C
		71.7.0	Instantaneous current of phase C
		72.7.0	Instantaneous voltage of phase C
		73.7.0	Instantaneous power factor of phase C
		1.07.2000	Instantaneous active import power
		2.07.2000	Instantaneous active export power
		3.07.2000	Instantaneous reactive import power
		4.07.2000	Instantaneous reactive export power
		9.07.2000	Instantaneous apparent import power
		10.07.2000	Instantaneous apparent export power
		13.07.2000	Instantaneous power factor

Buna benzer birçok veri sayaç içerisinde bulunmaktadır. OBIS haberleşmesin de belirli bir standart bulunmaktadır. Bu haberleşme sırası çok önemlidir. Diğer durumlarda

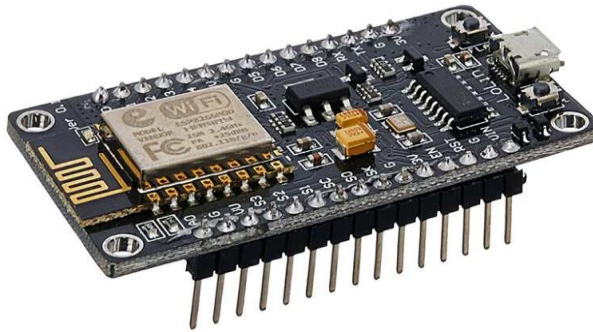
sayaç gelen mesajları görmezden gelmektedir. Bu yüzden sayaçtan veri okunurken uygun sıralamada okunması çok önemlidir. Şekil 2.7’te IEC 62056-21 protokolüne ait işlem sırası gösterilmiştir.



Şekil 2.7. IEC 62056-21 iletişim sırası

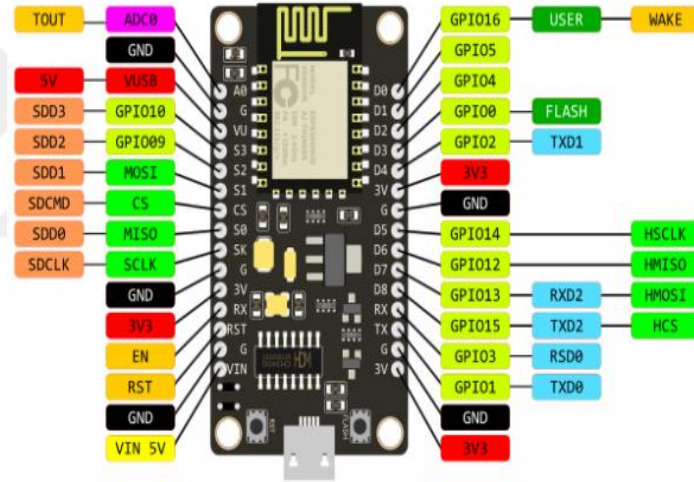
2.5 ESP32 NodeMCU

Bu tez çalışmasında ana kontrolcü olarak ESP32 NodeMCU kullanılmıştır. NodeMCU, özellikle Nesnelerin Interneti (Internet of Things – IoT) tabanlı uygulamalar için hedeflenen açık kaynaklı bir Lua tabanlı ürün yazılımı ve geliştirme kartıdır. Espressif Systems’ın ESP8266 Wi-Fi SoC üzerinde çalışan bellekimi ve ESP-12 modülüne dayalı donanımı içerir. Şekil 2.8’te örnek bir NodeMCU gösterilmektedir.



Şekil 2.8. NodeMCU v3

Bu modül üzerinde Dahili olarak Wi-Fi donanımı bulunmaktadır. Özellikle IoT uygulamaları için Espressif firması tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir platformdur. Programlama için birçok seçenek bulunmakla birlikte bu uygulamada Arduino platformunu kullanılmaktadır. NodeMCU ucuz olmasıyla piyasada IoT dünyasında oldukça hızlı bir şekilde yer edinmiştir. Artık günümüzde Klimadan Elektrikli fırına, Çamaşır makinasına ya da kahve makinasına kadar birçok aygıt akıllı IoT özellikleriyle piyasaya sürülmektedir. NodeMCU kartı da oldukça stabil çalışan bir karttır. Üzerinden bulunan ESP8266 Wi-Fi modülü sayesinde internete hızlıca bağlanabilmektedir. Aynı zamanda dahli haberleşme pinleri ile uzaktan kontrol IoT projelerinde oldukça sık kullanılmaktadır. Ayrıca düşük güç tükettiği için güç tüketimi önemli olan projelerde çok tercih edilir. Şekil 2.9’da NodeMCU pin diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.9. NodeMCU pin diyagramı

NodeMCU ESP-12E geliştirme kartı dâhili USB bağlantısı ve pin çıkışları ile Arduino IDE üzerinden programlanabilen bir geliştirme kartıdır. İnternet bağlantısının olduğu her yerde kullanılabilir internete bağlanabilir ve veri transferi yapılabilir. NodeMCU’yu arduinodan ayıran en önemli özellik ise dâhili Wi-Fi donanımı bulunmasıdır. Bu sayede arduino ek olarak Wi-Fi ile bağlantı kurulup ağ üzerinden veri aktarımı yapılabilir.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Sayaç Okuma Sistemi

Bu tez çalışmasında ESP32 NodeMCU üzerinden Sayaç verilerinin okunması ve uzaktan kontrolü üzerine prototip bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemde test amaçlı iki adet MAKEL marka yeni nesil dijital monofaze sayaç kullanılmıştır.

Elektronik elektrik sayaçları, bağlı oldukları devredeki akım ve gerilim bilgilerini eşzamanlı olarak elektronik devreler aracılığıyla analiz eder, bu verileri sayısal işaretlere dönüştürür ve mikrodenetleyici ünitesi yardımıyla tüketilen enerji miktarını hesaplayarak sonuçları LCD ekranında gösterir. Bu sayaçlardan aktif enerji tüketimi (kWh), endüktif reaktif enerji tüketimi (kVarh), kapasitif reaktif enerji tüketimi (kVarh), anlık güç (demant-kw), görünür güç (kVa-kVar), akım (A) ve gerilim (V) gibi parametreleri tek bir cihaz üzerinden okumak ve kayıt altına almak mümkündür. Elektronik sayaçlar, belirli zaman aralıklarıyla bu bilgileri kaydeden ve geçmiş verilere ulaşılmasını sağlayan silinmez bir hafıza ünitesi olan EEPROM'a sahiptir. Elektrik sayaçları farklı amaçlar doğrultusunda çeşitli alanlarda kullanıldığından, bunların yapısına, devreye bağlanma şekline, üretim ve bağlantı yöntemine, ölçülen enerji türüne, işlevlerine ve kullanım yerine göre sınıflandırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Elektrik sayaçlarından veri okumak için iki adet seçenek vardır. Bunlardan birincisi RS485 diğeri ise Optik port olarak nitelendirilen haberleşme portudur. RS485 portlu sayaçlar her sayaçta bulunmamaktadır. Genellikle sayaçlarda optik port standart olarak gelmektedir. Elektrik dağıtım firmaları optik port üzerinden sayaç tüketim verilerine ulaşmaktadır. Şekil 3.1'de örnek bir elektrik sayacı üzerindeki optik port gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Elektrik sayaçlarında optik port

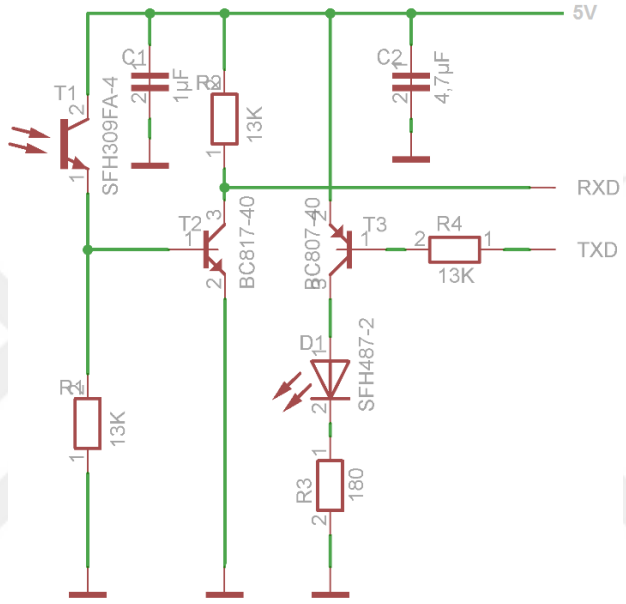
Optik portla haberleşmek için optik port okuyucu modüllere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu modüller içerisinde bir adet IR LED bir adet de foto transistor bulundurmaktadır. Bu optik port üzerinden veri alışverişi yapılmaktadır. Gönderilen sinyaller genelde RS232 seviyesinde olmaktadır. Şekil 3.2’de RS232-Optik Port Haberleşme kablosu görülmektedir.



Şekil 3.2. Optik port haberleşme kablosu

Optik haberleşme kablosunda +5V, TX, RX ve GND pinleri bulunmaktadır. Haberleşme kablosunda TX pini üzerinden sayaca veri gönderilir. Aynı şekilde RX pini

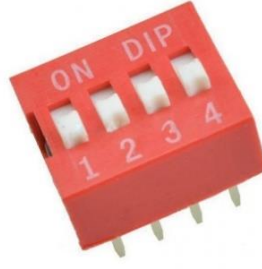
üzerinden de sayaç üzerinden gelen verilerin okunması yapılır. TX pini ile gönderdiğimiz datalar IR led üzerinden sayaç üzerindeki foto transistöre iletilir. Bu sayede elektriksel bağlantı olmadan sadece ışık ile datalar sayaca iletilmiş olur. Aynı şekilde Sayaç bize veri göndermek istediği zaman kendi üzerinde bulunan IR led ile dataları bizim optik portumuzda bulunan foto transistöre iletmış olur. Foto transistör çıkışındaki transistörlü yapı ile gelen ışık sinyalleri 1 veya 0 olmak üzere lojik verilere dönüştürülür. Şekil 3.3'te Optik haberleşme kablosunun iç elektrik devre şeması görülmektedir.



Şekil 3.3. Optik port haberleşme kablosunun iç elektrik devre şeması

3.2 PCB Tasarımı

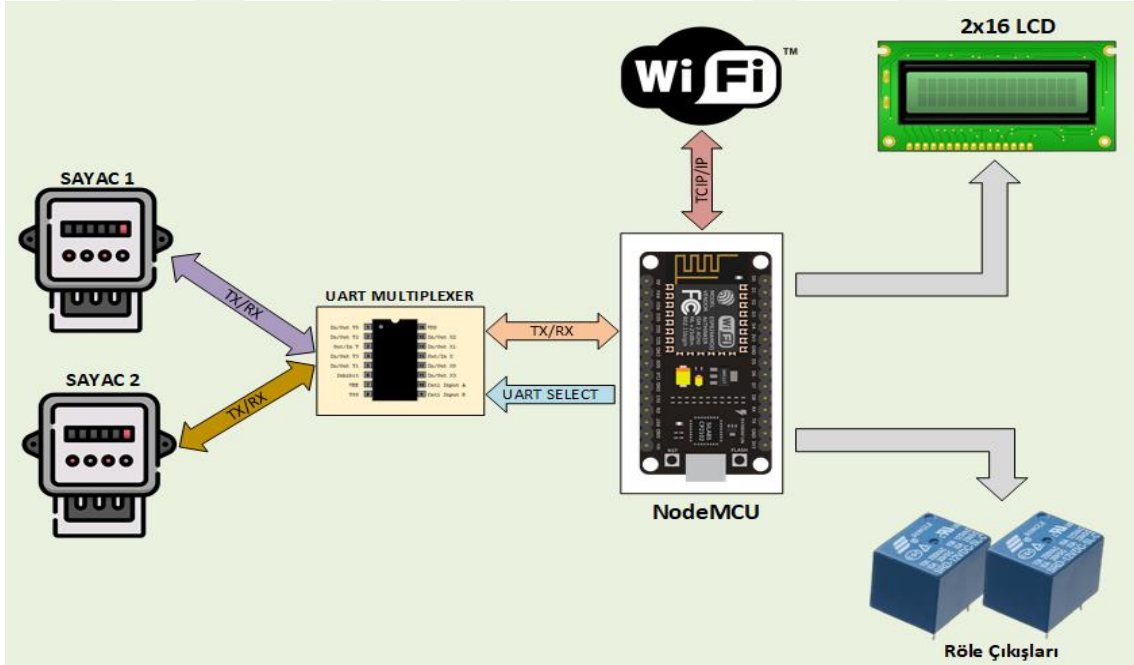
Tasarlanan prototip sistemde 2 adet elektrik sayacının okunup bilgilerin Wi-Fi üzerinden gönderilmesi hedeflenmiştir. Sisteme bunun dışında 2 adet Röle eklenerek cihazların elektrik kontrolü yapılabilir. Normalde NodeMCU üzerinde sadece 1 adet Evrensel Asenkron Alıcı/Gönderici (UART) kanalı bulunmaktadır. Bu UART üzerinden hem programlama hem de sayaçlarla haberleşme yapılmaktadır. Bu haberleşmenin kontrolü devre üzerinde bulunan dörtlü dip switch (anahtar) üzerinden yapılır. Bunun sebebi hem haberleşmenin hem programlamanın aynı port üzerinden aynı anda yapılamamasıdır. Bu yüzden program yapılacağı zaman cihaz program moduna alınması gerekmektedir. Şekil 3.4'de programlama haberleşme anahtarı (switch) görülmektedir.



Şekil 3.4. Programlama anahtarı

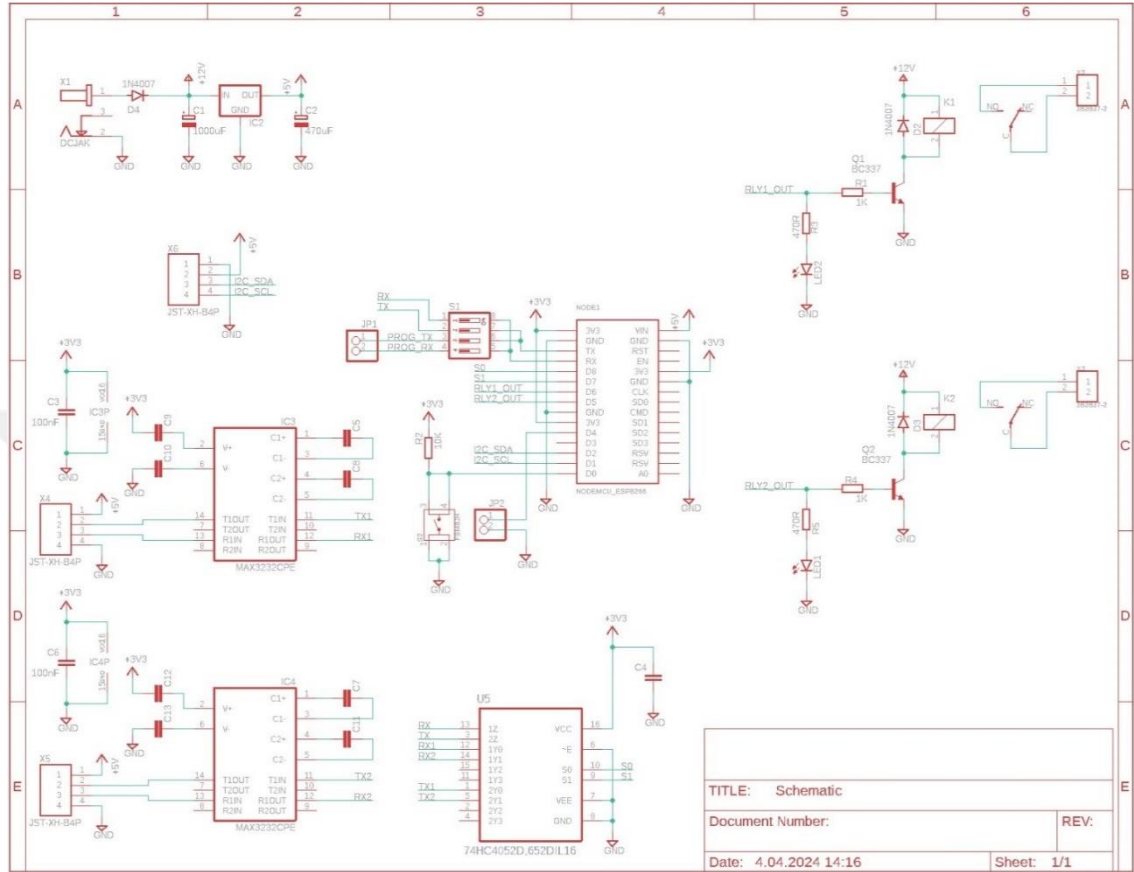
Sistem üzerinde 4 pinli programlama anahtarında haberleşme kanalı yönlendirilir. Eğer 1 ve 2 nolu anahtar ON konumuna alınıp 3 ve 4 nolu anahtar OFF konuma alınırsa sistem sayaçlarla haberleşme moduna alınmış olur. Eğer sistem konfigüre edip Wi-Fi haberleşme parametreleri güncellenecek ise 1 ve 2 nolu anahtarlar OFF konuma 3 ve 4 nolu anahtarlar ON konuma alınmalıdır.

Elektronik devre genel olarak birçok bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar NodeMCU etrafında şekillenmektedir. Şekil 3.5’de tasarlanan prototip sistemin blok şeması görülmektedir.



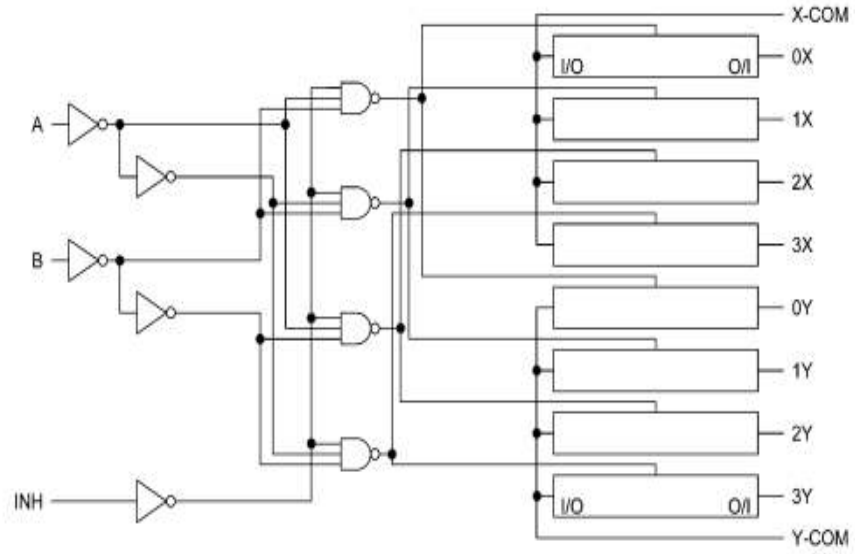
Şekil 3.5. Tasarlanan prototip sistemin blok şeması

Tüm bu bloklar bir elektronik kart üzerinde toplanır. Bu kartın tasarımı ve devre şeması Autodesk Eagle programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6’da tasarlanan sistemin şematik diyagramı gösterilmektedir.



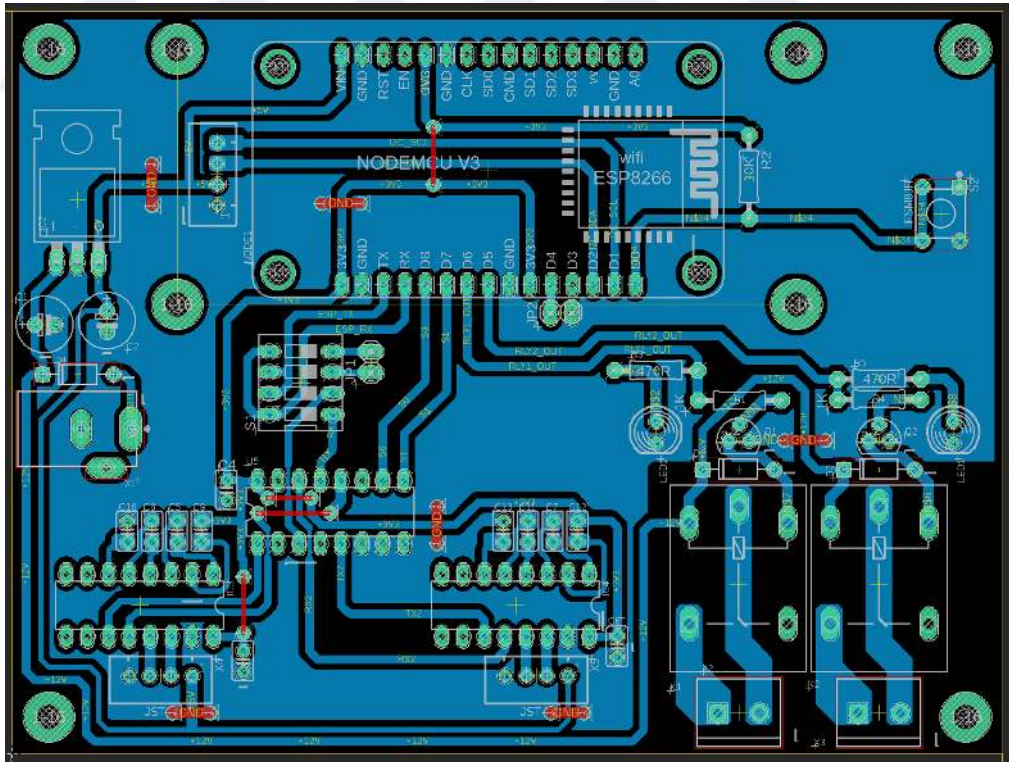
Şekil 3.6. Tasarlanan prototip sistemin devre şeması

Devre üzerinde 1 adet NodeMCU, 2 adet MAX3232 RS232 Transreciever entegresi, 1 adet ise 74HC4052 analog multiplexer entegresi bulunmaktadır. Elektrik sayaçlarında kullanılan optik port dönüştürücüler RS232 formatında haberleştiği için NodeMCU 3.3v TTL seviyesinde haberleştiği için RS232 transreciever çipleri kullanılmıştır. Bunun dışında ESP32 modülünde tek bir adet UART haberleşme portu bulunduğu için UART pinlerini çoklamak gerekmiştir. Bunun için 74HC4052 entegre devresi kullanılmıştır. Bu entegre devre analog seçici olarak sınıflandırılmaktadır. A ve B pinleri ile kanal seçimi yapılarak analog ve dijital sinyallerin yönlendirilmesi yapılmaktadır. Şekil 3.7’de 74HC4052 entegre devresinin içyapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. 74HC4052 entegre devresinin içyapısı

Sistemde bunun dışında 2 adet röle ve programlama için birkaç buton bulunmaktadır. Şekil 3.8’de ise geliştirilen prototipin baskı devre çizimi görülmektedir.



Şekil 3.8. Geliştirilen prototipin baskı devre çizimi

3.3 Sistemin Çalışması ve Yazılımı

ESP32 NodeMCU yazılımı Arduino IDE kullanılarak yazılmıştır. ESP32 için arduino üzerinde birçok kütüphane mevcuttur. Yazılan yazılımda sayaç okuma rutinleri, Wi-Fi haberleşme rutinleri ve genel kontrol rutinleri yazılmıştır. Sayaç okuma için IEC62056-21 protokolü kullanılmaktadır. Bu protokolde sayaç ile ilk başta 300bps hızında haberleşme sağlanır. Bu protokol ile haberleşen sayaçlar 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 ve 19200bps gibi hızlarda haberleşmektedir. Sayaç ile haberleşmek için aşağıdaki adımlar takip edilmektedir.

- Sayaç ID'si sorulur. Sayaç cevap olarak kendi kimliğini gönderir. Bu iletişim hızı 300bps ile yapılır.
- Kimlik okunduktan sonra iletişim hızının geri kalanında devam edilecek hız sayaca gönderilir. Bu hız 300-19200bps arasında standart hızlardan birisi olabilir. Eğer Sayaç hedef hıza çıkabiliyorsa ACK çıkamıyorsa NACK gönderilir. Eğer sayaç hedef hıza çıkabiliyorsa yeni iletişim hızıyla devam eder
- Bu adımdan sonra artık bağlantı tam olarak açılmıştır. Buradan sonra istenilen veriler alınıp gönderilir. İletişim sonlandırılır.

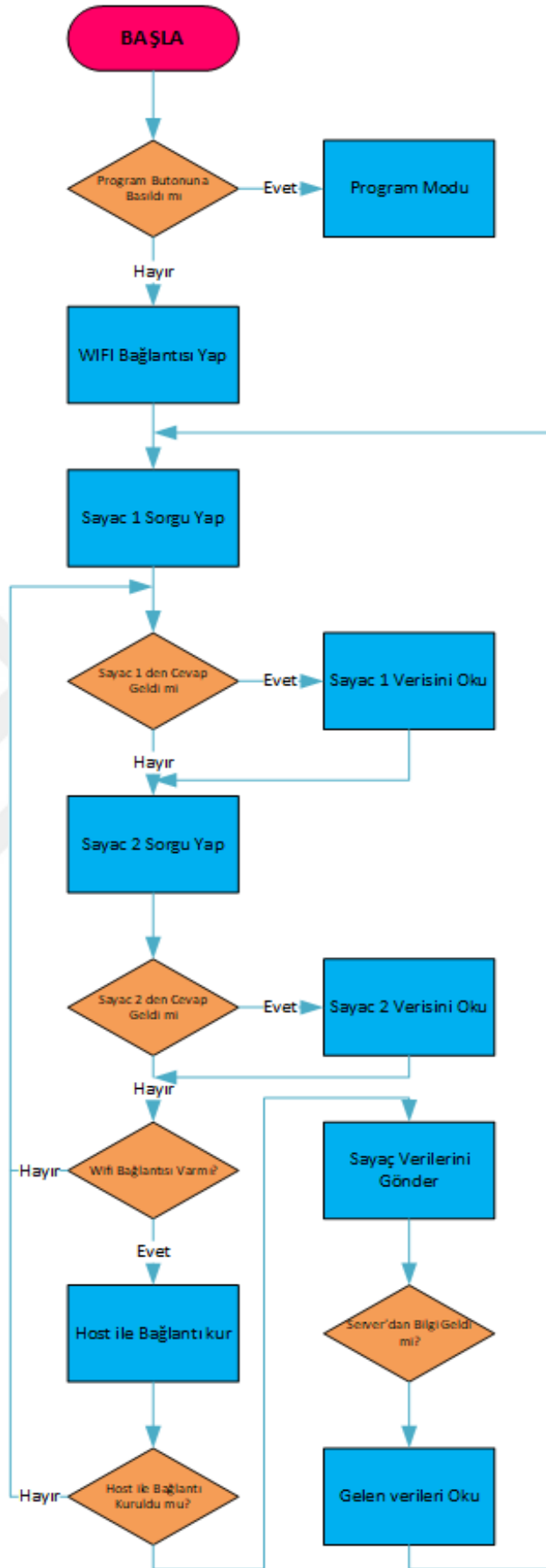
IEC62056-21 protokolü örnek haberleşme formatı **Şekil 3.9**'teki gibidir.

```
--> /?![\r][\n] //Cihaz kimliği sorgusu.  
<-- /SAT6EM72000656621[\r][\n] //Sayaçtan gelen cihaz kimliği.  
-> [ACK]050[\r][\n] //BaudRate geçişi. (5->Hedef Baudrate hızı, 9600bps)  
<-- [ACK] //İstek kabul edildi, iletişim 9600bps de devam edecek.  
-> [SOH]R2[STX]1.8.0()[ETX][BCC] // Toplam aktif tüketim sorgusu.  
<-- [STX] 1.8.0(000035.917*kWh)ETX[BCC] //Sayaç içeriğindeki toplam endeks.
```

Şekil 3.9. IEC62056-21 protokolü örnek haberleşme formatı

ESP32 NodeMCU üzerindeki yazılım kısaca sayaçlar üzerindeki veri akışını kontrol eder. Wi-Fi bağlantısı yapılıp yapılmadığını kontrol eder. Eğer Wi-Fi bağlantısı yapılmış ise sunucu (server) bağlantısı kurulup kurulmadığını kontrol eder.

Sistem üzerinde bir adet LCD bulunmaktadır. Bu LCD zerinde birçok veri görülmektedir. Sistem Wi-Fi Bağlantısı sağlanmış mı? Çıkış durumları aktif mi? Sayaçlardan veri okunuyor mu? gibi bilgiler ve diğer yönlendirmeler anlık olarak görülmektedir. Şekil 3.10'te geliştirilen prototip sistem üzerindeki yazılımın akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Geliştirilen prototip yazılımının akış diyagramı

3.4 Windows Yazılımı

Geliştirilen prototip sistemi, Windows işletim sistemi tabanlı bir yazılım geliştirme aracı olan “Visual Studio” aracı kullanılarak C# dilinde yazılmıştır. Temelde TCP bağlantı protokollerinin işletildiği bu yazılım ile belirlenen IP adresi ile haberleşme yapılabilmektedir. Şekil 3.11’de hazırlanan windows yazılımı arayüzü görülmektedir.

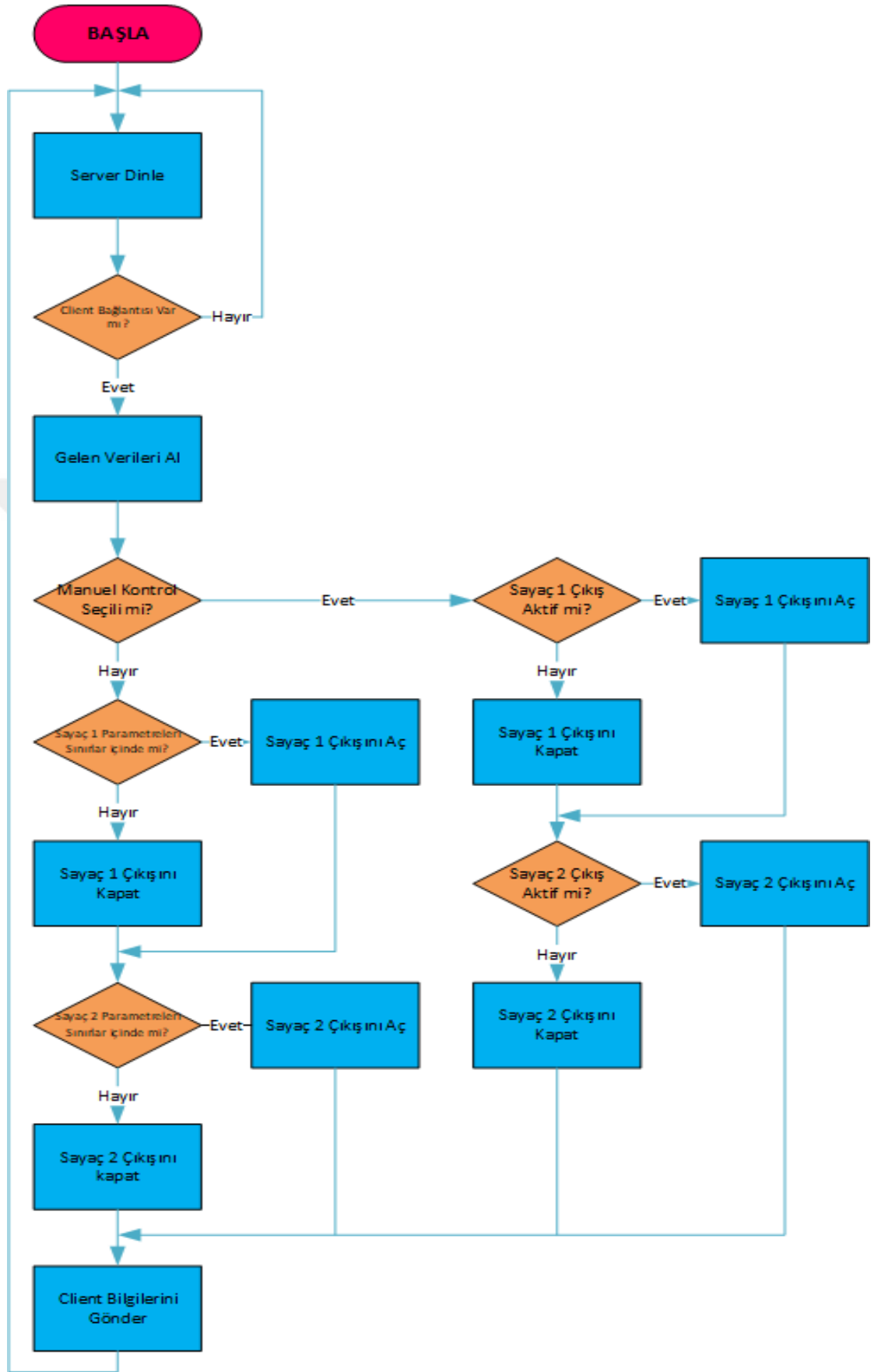
The screenshot shows a Windows application window titled 'Form1'. It contains the following sections:

- Server Ayarları (Server Settings):** Includes fields for 'Server Local IP' (192.168.1.107), 'Server Port' (23), and a 'Dinle' (Listen) button. There is also a 'Temizle' (Clear) button and a text area showing 'DESKTOP-1CEDVEK' and 'My IP Adress: 192.168.1.107'.
- Sayaç Verileri (Meter Data):** A table with two columns, 'Sayac1' and 'Sayac2', and rows for 'S.N', 'T', 'T1', 'T2', 'T3', 'Tarih', 'Zaman', 'Akım', and 'Gerilim'. Each row has input fields for both meters and a unit label (kWh, A, or V).
- Tüketim (Consumption):** A table with two columns, 'Sayac1' and 'Sayac2', and rows for 'İlk Endeks', 'Son Endeks', 'Birim Fiyat', 'Tüketim', and 'Endeks Al'. Each row has input fields for both meters and a unit label (kWh, TL, or A).
- Kontrol (Control):** A table with two columns, 'Sayac1' and 'Sayac2', and rows for 'Max Gerilim', 'Min Gerilim', and 'Max Akım'. Each row has input fields for both meters and a unit label (V or A). There is also a 'Manuel' checkbox and two 'ON' buttons with red circular indicators.

At the bottom left, there is a status bar that says 'Server kapalı' (Server closed).

Şekil 3.11. Sistem yazılımı arayüzü

Burada Server Ayarları bölümünde anlık datalar ve bağlantı kontrolü yapılmaktadır. **Server Local IP** bölümünde uygulamanın çalıştırıldığı bilgisayarın Local (yerel) IP’si görülmektedir. Bu IP parametresi oldukça önemlidir çünkü ESP32 üzerinde aynı ağda çalışırken bağlantı bu IP üzerinden yapılır. ESP32’ye şu IP’ye bağlanacaksınız. Bunu sistem parametresi olarak yüklememiz gerekiyor. Bunun dışında bağlantı kurulduktan sonra anlık veriler diğer bölümlerde görüntülenir. Şekil 3.12’te geliştirilen prototip sistemin windows yazılımına ait akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.12. Sistem yazılımı akış diyagramı

3.5 ESP32 NodeMCU Konfigürasyonu

NodeMCU programlaması için yine C# kullanılarak geliştirilen yazılım kullanılmaktadır. Bu uygulama ile NodeMCU için gerekli parametreler yüklenebilmektedir. Şekil 3.13’da bu uygulamanın ara yüzü gösterilmektedir.

Şekil 3.13. NodeMCU parametre yükleme yazılımı

Bu yazılım NodeMCU ile haberleşmek için seri port kullanır. Uygulamayı çalıştırmadan önce ESP32 NodeMCU bilgisayara bağlı olmalıdır. Daha sonra yazılım üzerinde **COM Port** seçilir. **Baudrate** parametresi 9600 olmalıdır. COM Port ve Baudrate seçeneğini seçtikten sonra **Connect** butonuna basılır. Daha sonra sistem parametreleri girilir;

SSID: Wi-Fi adı

Password: Wi-Fi Şifresi

Host IP: Sistem bilgisayarının bağlı olduğu ağdaki IP adresi

Host Port: Sistem bilgisayarında belirtilen port numarası

ESP32'ye program yüklemek için şu adımlar izlenir; USB bağlantısı yapılır ve Programlama yazılımında **COM Port** ve **Baudrate** seçilerek **Connect** butonuna basılır. ESP32 çalışırken **Program** butonuna basılı tutulur ve **Reset** butonuna bir kere basılarak sistem resetlenir. Bu sırada ekranda **Programming Mode** yazana kadar **Program** butonu basılı şekilde tutulur. **Programming Mode** yazısı görüldükten sonra Bilgisayar yazılımında parametreler girildikten sonra **Send Data** butonuna basılarak ESP32'ye yüklenir. Tüm bu çalışmalar sonucu geliştirilen prototip sistemin bir görseli Şekil 3.14'de görülmektedir.



Şekil 3.14. Geliştirilen prototip sistemin örnek bir görseli

4 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında anlık olarak iki klasik elektrik sayacı üzerinden geçen elektriği akım ve gerilim bilgisi olarak okunup merkezi bir noktaya aktararak, merkezi birimden yani işletim sistemi tarafından bilgisayar yazılım programları sayesinde otomatik anlık değerlendirilmesini, oluşabilecek istenmeyen durumlar için (elektrik arızası veya fatura ödememeleri vb. durumlarda) sayaca uzaktan müdahale (elektrik kesme/açma işlemi vb.) etmeyi mümkün kılan bir prototip sistem geliştirilmiştir. Böylece şebekede oluşabilecek arıza durumlarında bölgesel olarak elektrik kesintisini önlemiş ve sadece ilgi arızalı aboneyi devre dışı bırakarak diğer abonelerin elektrik hizmeti görmeleri yani müşterilere veya kullanıcılara kaliteli sürekli kesintisiz ve etkin hizmet sağlanmış olur. Ayrıca okunan gerilim ve akım değerlerinin yine yazılım programında belirlenen güncel elektrik birim bedel ile hesaplanmasını sağlayarak abonenin aylık fatura bilgilerini oluşturmakta mümkündür.

Burada örnek iki sayaç alınarak yapılan çalışmada sayaç sayısı ve komut durumları yapılabilecek ar-ge çalışmalarıyla ve eklenecek yazılımlarla istenildiği kadar arttırılabilir.

Sayaçtan okunan veriler optik haberleşme port yardımıyla okunmakta ve anlık tüketilen enerji miktarı belirlenmektedir. Şekil 3.11’te de görüleceği üzere ekranda okunan bu parametreler (gerilim, akım) referans alınarak elektrik şebekesinde oluşabilecek kısa devre veya arıza durumları gibi beklenmedik durumlar gerçekleştiğinde, tüm şebekeyi veya arıza dışındaki herhangi bir bölgeyi etkilemeyecek şekilde, sadece arızanın gerçekleştiği yerel kısım şebekeden izole edilerek şebekenin geri kalan kısmının hizmet almasına devam edilmesi sağlanacaktır. Ekranda belirlenen maksimum ve minimum gerilim değerleri aşıldığında (kısa devre durumları veya elektrik arızası gibi sebepler) sistem ilgili sayacı veya aboneyi otomatik olarak kapalı (off) konumuna alacaktır. Şebekenin geri kalan tüm sayaçları (aboneleri) aktif olarak enerjili kalmaya devam edecektir herhangi bir kesinti gerçekleşmeyecektir. Bu sayede ülkemizde, elektrik şebekelerimizde kaliteli elektrik hizmeti ile aydınlık Türkiye misyonunda önemli katkı sağlayacaktır.

Ayrıca anlık tüketilen elektrik tutarını belirlemek için; Şekil 6-15 da belirtildiği üzere sayaçtan geçen gerçek zamanlı akım ve gerilim yani tüketim değerleri okunmakta ve sistem ekranına veya yazılımına enerji birim bedeli yüklendikten sonra anlık tüketim

tutarı hesaplanıp faturalandırılabilir. Sistemden geçen enerji miktarı ile birim bedel hesaplaması yapılabilir ve bir önceki faturalandırılan enerji miktarı toplamdan çıkarılarak kalan son tüketim ilk tüketimden çıkarılarak tüketilen enerji miktarı, enerji birim bedeller ile çarpılarak elektrik faturalandırma işlemi sonuçlandırılır. Böylelikle insan gücü kullanılarak personel ve araç görevlendirilip sahaya çıkılıp elektrik sayacının olduğu konuma gidip sayacın ekrandaki elektrik değeri okunarak faturalandırma yapıp vatandaşa bildirim vb. gibi birçok zahmetten kurtulmuş olunacaktır. Ayrıca otomatik elektrik kesme açma butonlarından da görüleceği üzere fatura ödeme/ödememe durumlarında aboneye ait elektriği merkezden kesme açma işlemleri çok daha kolay gerçekleştirilebilecektir.

Bu tez çalışması, bir ar-ge çalışmasının başlangıç aşaması olarak düşünülmeli ve ileriki zamanlarda yapılabilecek yazılım eklenmeleri ilave abone sayıları gibi ek ar-ge çalışmaları, gelişen enerji sektörü ve kullanıcı talepleri doğrultusunda, enerji tüketimi ve tedarikini anlama, enerji maliyetlerini tahmin etme, enerji verimliliği stratejilerini planlama ve enerji altyapısının güvenilirliğini değerlendirme konularında önemli bilgiler sağlar.

Ayrıca bu çalışmada; akıllı şebekeler ve haberleşme üzerine detaylı olarak incelemeye yer verilmiş olup bu iki kavramın zaman içerisinde ilerleme kaydetmesiyle birlikte birbiri üzerinde etki eden bir unsur oluşturmuş olması irdelenmiştir. Akıllı şebekeler tamamıyla teknolojiye bağlı olan bir sistem halinde insan hayatında yer bulmaktadır. Haberleşme ise insanlığın varoluşundan beri bireyler için iletişimin olmazsa olmaz yapısına bağlı olarak her daim varlığını sürdürmüştür.

Sonuç olarak akıllı şebeke ve haberleşme kavramının esasında iç içe geçmiş iki kavram olduğu ve tamamen insanlığa hizmet sunmak için geliştirilmesi gerekli olan iki unsur olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu unsurlar gelecek yıllarda yine bir bütün şeklinde gelişimde bulunarak insan yaşamı için oldukça yarar sağlayan bir konuma geleceği öngörüsünde bulunmaktadır.

Yapılan çalışma, akıllı şebekeler için geliştirilecek yeni yöntemler üzerine gerçekleştirilecek diğer araştırmalara önemli katkılar sunacaktır. Akıllı şebeke kavramı, sadece bir teknoloji yeniliği ya da şebeke yönetiminde basit bir ilerleme olarak değerlendirilemez. Bu alandaki gelişmelerin ve değişimlerin, sosyal ve ekonomik birçok alan üzerinde kayda değer etkileri olacağı öngörülmektedir. Gelecek yıllarda, özellikle

güvenlik, veri analizi, iletişim mekanizmaları ve gelişmiş sayaç sistemleri gibi alanlarda akıllı şebekelerde yeni gelişmelerin meydana gelmesi beklenmektedir.

Akıllı şebekelerle ilgili yapılacak çalışmalar, yalnızca bireysel kullanıcıları hedef olarak düşünülmemelidir. Endüstriyel tüketicilerin de rekabet avantajı sağlamak için sistemlerini geliştirirken ve planlama yaparken akıllı şebeke destekli cihazları tercih etmeleri gerekecektir. Bu tür teknolojik yenilikleri takip etmeyen, araştırma-geliştirme faaliyetlerinde bulunmayan ve sonuç olarak teknolojik olarak geri kalan şirketler, zamanla ticari olarak rakiplerinin gerisinde kalma riskiyle karşı karşıya kalabilirler.

Matlab-Simulink gibi yazılımlar, şebeke elemanlarının benzetim çalışmalarında faydalı araçlardır. Ancak, gerçek kullanım modellerini oluşturmak için çok-etmenli programlamaya dayalı çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu alanda, elektrik şebekelerine yönelik özelleşmiş yazılım araçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Elektrik şebekeleri, çok sayıda bileşene sahip olduğu için hesaplama açısından oldukça karmaşıktır. Bu sistemler, yalnızca karmaşık olmakla kalmayıp, zamanla daha da büyüme ve gelişme eğilimindedirler. Bu nedenle, bu alanda geliştirilecek yazılımların, bulut bilişim sistemleri veya paralel işlem yeteneğine sahip ağlar üzerinde çalışacak şekilde tasarlanması gerekebilir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Aslan, N. Beşli, and A. Gümüşçü, “İnşaat güneş enerjisi santrallerinin akıllı şebekelere entegrasyonu,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 10-13, 2017.
- [2] M. Akçin, B. B. Alagöz, C. Keleş, A. Karabiber, and A. Kaygusuz, “Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 17, no. 3, pp. 457-470, 2013.
- [3] V. Başaran and R. Demir, “Telgrafçı Mustafa Hami Efendi’nin Telgraf Risalesi,” *Dört Öge*, no. 17, pp. 70-94, 2020.
- [4] Z. Özdemir, “GPS+ GSM+ GPRS teknolojileri ile gerçek zamanlı takip sistemi üzerinde geofence mekanizmasının tasarlanması ve GPS konum verilerindeki hata oranının düşürülmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankar, Türkiye, 2019.
- [5] E. Yılmaz and E. Öztürk, “Yeni nesil kablosuz iletişim teknolojileri karşılaştırmalı analizi,” Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 2007.
- [6] A. Akdağlı, Ö. G. F. Çalışkan, and Y. M. Ş. Demirci, *Gelişen Haberleşme Teknolojileri*. Mersin, 2008.
- [7] S. M. Amin, “Electricity infrastructure security: Toward reliable, resilient and secure cyber-physical power and energy systems,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-5.
- [8] H. Asgeirsson, “Distribution automation—The foundation for the smart grid at DTE energy,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-3.
- [9] G. E. Kırıl, “Akıllı şebekelerde enerji yönetimi için akıllı priz geliştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [10] S. M. Amin and B. F. Wollenberg, “Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century,” *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 3, no. 5, pp. 34-41, 2005.
- [11] M. Baysal, A. Karakaş, and M. Uzunoğlu, “Akıllı Şebekelere Yönelik Akıllı Ev Modeli: YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi Uygulaması,” *Enerji Otomasyonu*, pp.336-342, 2013.

- [12] Y. Ateş et al., “Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörüler,” in *IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 2011, pp. 1-4.
- [13] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, “Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 5, pp. 1398-1409, 2006.
- [14] T. J. Overbye, “Transmission system visualization for the smart grid,” in *Power Systems Conference and Exposition (PSCE '09), IEEE/PES*, 2009, pp. 1-2.
- [15] P. E. Marken et al., “VFT - a smart transmission technology that is compatible with the existing and future grid,” in *Power Systems Conference and Exposition (PSCE '09), IEEE/PES*, 2009, pp. 1-7.
- [16] A. R. Metke and R. L. Ekl, “Security technology for smart grid networks,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 99-107, 2010.
- [17] U.S. Department of Energy, “Grid 2030: A national vision for electricity’s second 100 years,” *Department of Energy Technical Report*, 2003.
- [18] C. Dai, W. Chen, Y. Zhu, and X. Zhang, “Seeker optimization algorithm for optimal reactive power dispatch,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 1218-1231, 2009.
- [19] P. Wolfs and S. Isalm, “Potential barriers to smart grid technology in Australia,” in *Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2009, pp. 1-6.
- [20] N. Hadsaid and J. C. Sabonnadiere, *Smart Grids*, Wiley-ISTE, New Jersey, 2012.
- [21] S. Borlase, *Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions*, CRC Press, Pacific Northwest, 2013.
- [22] A. B. M. S. Ali, *Smart Grids Opportunities, Developments, and Trends*, Springer-Verlag, London, 2013.
- [23] GlobalData, “Smart grid technologies create foundation for smart city projects,” *GDSG0057VPT*, 2012.
- [24] Y. G. Jin and Y. T. Yoon, “Methods for adding demand response capability to a thermostatically controlled load with an existing on-off controller,” *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 755-765, 2015.
- [25] M. Yigit, “Natural Hub: The main priority is the promotion of East-West and North-South energy corridors through the delivery of Caspian Middle Eastern and Central Asian energy resources to European and World markets via Turkey,” *The Turkish Perspective*, vol. 40, pp. 28-39, 2016.

- [26] S. T. Mak, "Knowledge based architecture serving as a rigid framework for smart grid applications," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2010, pp. 1-8.
- [27] G. D. Rodriguez, "A utility perspective of the role of energy storage in the smart grid," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-2.
- [28] M. L. Crow et al., "Intelligent energy management of the FREEDM system," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-4.
- [29] E. Davidson, V. Catterson, and S. McArthur, "The role of intelligent systems in delivering the Smart Grid," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 4-6.
- [30] M. R. Hossain, A. M. T. Oo, and A. S. Ali, "Evolution of smart grid and some pertinent issues," in *20th Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2020, pp. 1-6.
- [31] L. A. G. Gomez et al., "Wind-DFIG: Wireless Controlled Using EGPRS Standard Applied to the Ancillary Services in a Smart Grid Environment," *Electric Power Systems Research*, vol. 189, 2020.
- [32] Z. Vale, H. Morais, and H. Khodr, "Intelligent multi-player smart grid management considering distributed energy resources and demand response," in *IFAC Proceedings Volumes*, vol 44, issue 1, January 2011, pp. 12225-12230
- [33] X.-m. Bai, J.-x. Ma, and N.-h. Zhu, "Functional analysis of advanced metering infrastructure in smart grid," in *International Conference on Power System Technology*, 2010, pp. 1-4.
- [34] F. Rahimi and A. Ipakchi, "Overview of demand response under the smart grid and market paradigms," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2010, pp. 1-7.
- [35] P. Lee and L. Lai, "A practical approach of smart metering integration in microgrid," *Power and Energy Society General Meeting*, 2010, pp. 1-5
- [36] T. Bi et al., "The implication and implementation of smart grid in China," in *Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting 2010*, Minneapolis, MN, July 25-29, 2010
- [37] M. Yigit, "Natural Hub: The main priority is the promotion of East-West and North-South energy corridors through the delivery of Caspian Middle Eastern and Central Asian energy resources to European and World markets via Turkey," *The Turkish Perspective*, vol. 40, pp. 28-39, 2016.
- [38] P. Binduhewa, A. Renfrew, and M. Barnes, "Ultracapacitor energy storage for MicroGrid micro-generation," in *Joint International Conference on Power System*

- Technology and IEEE Power India Conference (POWERCON)*, India, 2008, pp. 1-7.
- [39] J. D. Boyes and N. H. Clark, “Technologies and applications for energy storage in distributed power generation,” in *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Chicago, 2002, pp. 4-10.
 - [40] R. Carter, G. Ault, and I. Kockar, “Techniques for assessing the value of energy storage in the transition to and operation of SmartGrids,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010-07-26 - 2010-07-30, pp. 1-4.
 - [41] R. Dugan, R. Arritt, T. McDermott, S. Brahma, and K. Schneider, “Distribution system analysis to support the smart grid,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-8.
 - [42] M. G. Lauby, “Reliability considerations for application of smart grid technologies,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-4.
 - [43] T. Nelson and G. FitzPatrick, “NIST role in the interoperable Smart Grid,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-3.
 - [44] F. Bouffard, “The challenge with building a business case for smart grids,” in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-3.
 - [45] Energy Storage Technology Roadmap. Technology Annex, *International Energy Agency*, 2014.
 - [46] K. C. Divya and J. Ostergaard, “Battery energy storage technology for power systems-An overview,” *Electric Power Systems Research*, vol. 79, pp. 511–520, 2009.
 - [47] U.S. Department of Energy, “Enabling Modernization of the Electric Power System, Technology Assessments, Quadrennial Technology Review”, USA, 2015.
 - [48] H. L. Ferreira, R. Garde, G. Fulli, and J. P. Lopes, “Characterization of electrical energy storage technologies,” *Elsevier Energy*, vol. 53, pp. 288-298, 2013.
 - [49] S. K. Kamali, V. Tyagi, N. A. Rahim, N. L. Panwar, and H. Mokhlis, “Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 135–165, 2013.
 - [50] H. Chen, T. N. Cong, C. Tan, Y. Li, and Y. Ding, “Progress in electrical energy storage system: A critical review,” *Progress in Natural Science*, vol. 19, pp. 291–312, 2019.

- [51] A. Castillo and D. F. Gayme, “Grid-scale energy storage applications in renewable energy integration: A survey,” *Energy Conversion and Management*, vol. 87, pp. 885–894, 2014.
- [52] M. İmeryüz, “Akıllı Şebekeler ve Verimlilik,” in *2. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, İstanbul, 2011, pp. 13-14.
- [53] H. Gharavi and R. Ghafurian, “Smart grid: The electric energy system of the future,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 917–921, 2011.
- [54] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, 2002.
- [55] S. N. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “An approach for demand response to alleviate power system stress conditions,” in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011.
- [56] V. Giordano and G. Fulli, “A business case for Smart Grid technologies: A systemic perspective,” *Energy Policy*, vol. 40, pp. 252-259, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.09.066.
- [57] “Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi”, Online Available: <https://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf>, (Erişim Tarihi: 25.04.2024)
- [58] S. A. M. Javadian and M. R. Haghifam, “Implementation of a new protection scheme on a real distribution system in presence of DG,” in *Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference POWERCON*, India, 2008, pp. 1-7.
- [59] R. Bayındır and K. Demirtaş, “Akıllı Şebekeler: Elektronik Sayaç Uygulamaları,” *Politeknik Dergisi*, vol. 17, no. 2, pp. 75-82, 2014.
- [60] Ö. Usta and K. Yumak, “Akıllı Elektrik Şebekeleri ve Veri İletişimi-Smart Grid and Data Communication,” in *TMMOB EMO Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, 2013.
- [61] D. Hanes, G. Salguerio, P. Grossetete, R. Barton, and J. Henry, *IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols and Use Cases for the Internet of Things*, 2017.
- [62] A. Baloglu and O. Karademiroğlu, “Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi,” *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 22-29, 2019.