

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİNİN İNTERNETİNİN AKILLI ŞEBEKELER İLE ENTEGRASYONUN
ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal OĞRAŞ

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar ALTIN

HAZİRAN 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİNİN İNTERNETİNİN AKILLI ŞEBEKELER İLE ENTEGRASYONUN
ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal OĞRAŞ
(36203628042)

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar ALTIN

HAZİRAN 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aőamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgmeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serdar Altın'a,

Çalıőmalarımnda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen babam, annem, abim Dr. Selman OĞRAŞ ve eőim Nuray OĞRAŞ'a

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Enerjinin İnternetinin Akıllı Şebekeler İle Entegrasyonun Enerji Verimliliđine Etkisi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden olduğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Bilal OĞRAŞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Dağıtım Şebeke Sistemleri.....	8
1.1.1 Dağıtım sistemlerinde iletişim teknolojileri	10
1.2 Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri	13
1.2.1 Türkiye’de yenilenebilir enerji	15
1.2.2 Enerji dağıtım şebekelerinde yenilenebilir enerji.....	17
1.3 Elektrikli Araçların Enerji Şebekesi Üzerindeki Etkisi	19
1.4 Akıllı Şebekeler	23
1.4.1 Akıllı şebekelerde haberleşme.....	24
1.5 Bina Enerji Yönetim Sistemleri.....	27
1.6 Enerjinin İnterneti (IoE)	29
2. MATERYAL VE YÖNTEM	33
2.1 Hava Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Hücreler	34
2.1.1 Ana bara bölümü	35
2.1.2 Alçak gerilim(ag) bölümü	35
2.1.3 Çalışma sistemleri bölümü	35
2.1.4 Kesici çalışma sistemleri	35
2.1.5 Bağlantı bölümü	35
2.2 Şebeke Enerji Analizörü	36
2.3 Koruma Röleleri	37
2.4 Ölçüm ve Güç Kalite Analizörü	38
2.5 SCADA Sistemleri.....	39
2.6 Sistem Arayüzü (kontrol ve izleme ekranı)	40
3. BULGULAR	41
4. SONUÇ	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 : Dağıtım sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri	8
Çizelge 1.2 : Türkiye'nin 2011-2021 yıllarında enerji kaynaklarının oranları.	16
Çizelge 3.1 : Trafo merkezine ait 24 saatlik güç değerleri	45



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : IoE ile enerji şebekesi bağlantıları.....	3
Şekil 1.2 : Şebekedeki cihazların iletişim mimarisi.....	6
Şekil 1.3 : Elektrikli araçların uzaktan haberleşme modeli.	7
Şekil 1.4 : Güç sistemlerinde IoE.....	11
Şekil 1.5 : 2016-2021 dünyada yenilenebilir enerji ve 2021 yılı üretim değerleri ...	14
Şekil 1.6 : Bölgelere göre yenilenebilir enerji değerleri.	15
Şekil 1.7 : Türkiye 2021 kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı (MW).	16
Şekil 1.8 : Elektrikli araç şematik gösterimi.	19
Şekil 1.9 : Elektrikli araç üç boyutlu gösterimi.	20
Şekil 1.10 : Tipik bir V2G kurulumunun çeşitli bileşenleri.....	22
Şekil 1.11 : Akıllı şebeke tasarımı.	23
Şekil 1.12 : Akıllı şebekeler ve geleneksel şebekelerin karşılaştırılmış özellikleri. ...	24
Şekil 1.13 : Akıllı Şebeke bilgi ağları için mevcut sistemlerin bağlantıları.....	26
Şekil 1.14 : IoE tabanlı enerji tasarruflu binaların tasarımı.	28
Şekil 1.15 : Bina enerji yönetiminde IOE teknolojileri.....	28
Şekil 1.16 : IoE'nin temel yapısı.	30
Şekil 1.17 : IoE'nin şebek sistemindeki fonksiyonları.	31
Şekil 2.1 : Enerji dağıtım merkezi iç mekân.	33
Şekil 2.2 : Hava yalıtımlı metal mahfazalı hücre.	34
Şekil 2.3 : Enerjili kesici giriş-çıkış hücresi ve enerji analizörü.....	36
Şekil 2.4 : Enerjili kesici giriş-çıkış hücresi ve koruma rölesi.....	37
Şekil 2.5 : Akım-gerilim ölçü hücresi ve güç analizörü.....	38
Şekil 2.6 : SCADA panosu.	39
Şekil 2.7 : ViewPLUS arayüzü.	40
Şekil 3.1 : Dağıtım merkezi SCADA arayüzü.	41
Şekil 3.2 : Modüler hücrelerin çalışma durumları.	42
Şekil 3.3 : Kesicili giriş-çıkış hücreleri (a) pasif, (b) aktif, (c) aktif.....	43
Şekil 3.4 : Trafo merkezine ait 24 saatlik güç değerleri.	44
Şekil 3.5 : Trafo merkezlerine ait günlük ve anlık güç-harcama değerleri.....	46

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
SCADA	: Merkezi Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition)
IoT	: Nesnelerin İnterneti
IoE	: Enerjinin İnterneti
BEYS	: Bina Enerji Yönetim Sistemi
EA	: Elektrikli Araç
M2M	: Makineden-Makineye
H2M	: İnsandan-Makineye
BİT	: Bilgi İletişim Teknolojileri
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
V2V	: Araçtan Araca
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
HMI	: İnsan-Makine Arayüzü
PMU	: Fazör Ölçüm Birimi
PDC	: Fazör Veri Toplama Birimi
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
MW	: Megawatt
GW	: Gigawatt
TW	: Terawatt
G2V	: Şebekeden-Araca
V2G	: Araçtan-Şebekeye

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİNİN İNTERNETİNİN AKILLI ŞEBEKELER İLE ENTEGRASYONUN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Bilal OĞRAŞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

52+VIII sayfa

2023

Danışman: Prof. Dr. Serdar ALTIN

Son yıllarda geleneksel enerji şebekelerinin yerini akıllı şebekelerin alması ve sürekli geliştirilmesi, mevcut kaynaklardan yüksek verim elde etmeyi sağlamaktadır. Enerji dağıtım hatlarına dahil olan yenilenebilir enerji, dağıtık şebekeler, mikro şebekeler ve elektrikli araçlar gibi çift yönlü enerji akışının gerçekleştiği durumların ortaya çıkması, sistemin kontrol ve müdahale etme yöntemlerinin de değişimini gerektirmiştir.

Yapılan çalışmada bir tesise ait enerji şebekesinin Merkezi Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition-SCADA) sistemi ile kontrol ve izleme çalışmalarının enerji verimliliğine katkıları incelenmiştir. Enerji şebekesinde bulunan envanterin izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi operatörün gerekli adımları atabilmesini kolaylaştırmakta ve gerektiğinde yük dağılımını yaparak sistemin aşırı yük zararlarından korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca operatörden bağımsız olarak sistemin programlanması halinde eşik değerler tanımlanarak sistemin verimliliğini arttıracak adımların atılması otomatik olarak sağlanabilmektedir. SCADA sisteminin bağlı olduğu internet ağ altyapısı ile herhangi bir mekana bağlı kalmadan anlık olarak veri takibi yapılabilmekte ve gereken müdahalenin yapılmasına olanak tanımaktadır. Ölçülen ve kaydedilen verilerin istenildiğinde ulaşılabilir olması ile geçmişe dönük analizler yapılarak gereken önlemlerin alınması sağlanmaktadır. Bununla birlikte anlık harcanan gücün yansıttığı fatura bilgilerine ulaşarak tasarruf tedbirlerinin alınması için operatörü uyarabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji şebekeleri, Akıllı şebekeler, SCADA, İnternet

ABSTRACT

Master Thesis

THE IMPACT OF INTEGRATION OF THE INTERNET OF ENERGY WITH SMART GRIDS ON ENERGY EFFICIENCY

Bilal OĞRAŞ

Inonu University
Institute of Science
Department of Energy Science and Technologies

52+VIII sayfa

2023

Supervisor: Prof. Dr. Serdar ALTIN

In recent years, the replacement of traditional energy networks by smart grids and their continuous development ensures high efficiency from existing resources. The emergence of situations where bidirectional energy flow takes place, such as renewable energy, distributed grids, microgrids and electric vehicles included in energy distribution lines, has necessitated a change in the control and intervention methods of the system.

In the study, the contributions of the control and monitoring activities of the energy network of a facility with the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system to energy efficiency were examined. The ability to monitor and control the inventory in the energy network makes it easier for the operator to take the necessary steps and ensures that the system is protected from overload damage by distributing the load when necessary. In addition, if the system is programmed independently of the operator, threshold values can be defined and steps to increase the efficiency of the system can be automatically taken. With the internet network infrastructure to which the SCADA system is connected, data monitoring can be done instantly without being connected to any place and allows the necessary intervention to be made. With the measured and recorded data being available when requested, it is ensured that the necessary measures are taken by making retrospective analyzes. In addition, it can reach the invoice information reflected by the instant power consumption and warn the operator to take saving measures.

Keywords: Power (energy) grids, Smart grids, SCADA, Internet

1. GİRİŞ

Modern endüstriler, evler, sokaklar, iş yerleri gibi yaşam alanları ve çalışma hayatında aydınlatma, ulaşım, iklimlendirme ve havalandırma kontrolü çoğunlukla elektrik enerjisine dayanmaktadır. Tüm bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için güvenilir bir enerji şebekesi gerekmektedir. Enerjide güvenilirlik, birbirine bağlı bir sistem, güvenilir bir otomatik kontrol sistemi ve ek kaynak olanakları sağlayarak büyük ölçüde geliştirilebilir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (UEA) göre, talebin yıllık %1,8 oranında büyüdüğü varsayılarak, dünyanın enerji ihtiyacı 2030'da bugünkü senaryoya kıyasla %50'den daha fazla olacaktır. Sürekli artan ihtiyaç senaryosunda enerji verimliliği, ihtiyaç duyulan enerjiyi uzun süre sürdürmek için tek alternatiftir. Kumar ve ark. göre, elektrik enerjisinin sağladığı kullanıcı konforundan ve işlem kabiliyetinden ödün verilmeyecek şekilde girdilerinin azaltılabilmesi enerji verimliliği olarak tanımlanabilir. Bir dağıtım sisteminin enerji verimliliği; performansa, tedarik gücünün miktarına, kalitesine, gerilim profiline, kullanıcı sayısına ve enerji güvenliğine bağlıdır. Bu nedenle enerji verimliliği, bunlardan hiçbirinden ödün vermeden çeşitli parametrelerin iyileştirilmesine bağlıdır [1].

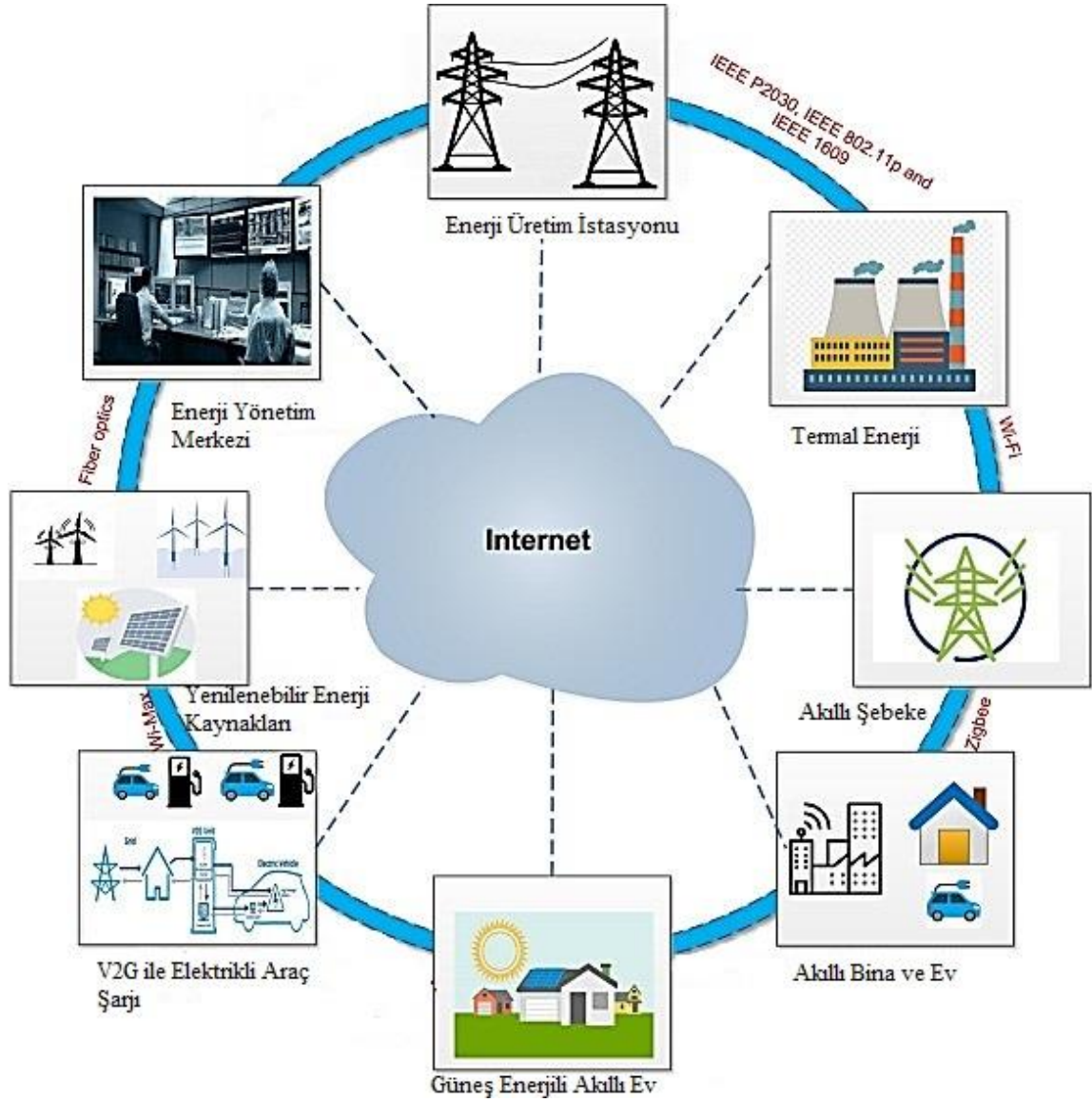
Ulaşım, iklimlendirme, endüstri, bina gibi pek çok alanda meydana gelen teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını arttırmaktadır. Enerji ihtiyacında meydana gelen değişiklikler güç sistemlerindeki yükün artmasına ve mevcut geleneksel şebekenin bu ihtiyacı karşılamada yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Bu durum, gerilim, frekans, akım gibi temel elektriksel parametreleri etkilemektedir. Bununla birlikte enerji de güvenlik, süreklilik ve kullanıcı konforu olumsuz yönde etkilenmektedir. Bütün bu gelişmelerin karşılanabilmesi için geleneksel şebekelere ekleme yapılarak talebin karşılanmaya çalışılması hem ekonomik hem de çevresel sorunları tetiklemekle birlikte ihtiyaca tam olarak cevap verememektedir. Dolayısıyla şebeke yapısının gelişmiş teknolojiye uyum sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç vardır.

Enerji şebekelerinin geleneksel yapısı son teknolojilerle kıyasla artık eskimiş ve sürdürülebilir enerji için yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Geleneksel yük ve enerji yönetimi, büyük insan gücü ve kapsamlı analiz gerektirir. Bu durum, sistem çalışmasında ve

bilgi alışverişinde karmaşıklık yaratacaktır. Bu nedenle, araştırmaların ana odağı çevrimiçi yük yönetimi üzerinde yoğunlaşmıştır [1].

Artan elektrik talebi, sistem dengesizliği ve aşırı yüklenme sorunlarına yol açarak, insan hayatında olduğu kadar endüstriyel üretimde de zorluklara yol açabilmektedir. Mevcut şebeke yapısı, yetersiz gerçek zamanlı izleme, hata tanımlama, otomasyon, şeffaflık ve esneklik nedeniyle güvenilirlik sorunlarıyla da karşı karşıyadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, akıllı şebekeler, nesnelerin interneti (IoT) ve enerjinin interneti (IoE) bu sorunları giderebilecek bazı seçeneklerdir [2].

Tüketicilere enerjiyi verimli ve güvenli sağlayabilen IoE, akıllı şebeke ve IoT özelliklerini barındırdığı için kullanım alanı yaygınlaşmaktadır. IoT, internet tabanlı mimarileri kullanarak akıllı cihazlar arasında bilgi ve veri alışverişini kolaylaştırmaktadır. Akıllı şebekeler ise IoE ile güç üretim ünitelerini izlemek ve kontrol için şebeke ve enerji yönetim sistemi arasında çift yönlü iletişim sağlayabilir. Bu nedenle, IoE uygulamaları, Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi bina enerji yönetim sistemi (BEYS), ev enerji yönetim sistemleri, elektrikli araçlar (EA), dağıtık yenilenebilir enerji ve diğer bazı endüstriyel uygulamalar gibi çeşitli alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır [3].



Şekil 1.1 : IoE ile enerji şebekesi bağlantıları [2].

Enerjinin interneti ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Guo ve ark. grafik teorisine dayalı topoloji tasarımı ve enerjiyi yönlendirme ile ilgili yaptığı çalışmada enerjinin internetini gaz, soğutma, ısıtma ve elektriğin koordineli optimizasyon sağlayacağı çoklu enerji formlarından oluşan bir enerji paylaşım sistemi olarak tanımlamıştır. İstatistiklere göre, güç iletiminin neden olduğu şebeke kaybı toplam enerji üretiminin %5-10'unu oluşturuyor ve iletim karmaşıklığı güç sistemlerinin ekonomisini daha da etkilemektedir. Bilindiği gibi, geleneksel birleşik güç dağıtımı, üretim kaynaklarından elektriğin senkron iletimi için uygundur. Son zamanlarda yaygınlaşan yenilenebilir enerji ile üretilen elektrik ise rastgelelik ve kesinti özelliklerine sahiptir. Bu nedenle belirli kaynak ve yük çiftleri için en kısa yol algoritmasına dayanan bir enerji yönlendirme kontrol yöntemi öne sürülmüştür. Enerjinin internetinde enerji, çift yönlü ve esnek bir şekilde uçtan uca

akabilir olması, iletim için tıkanıklık olmayan minimum kayıp yolu seçilebilmesini sağlamaktadır [5].

Kabalci, akıllı şebekelerde enerjinin internetinin dahil olmasını akıllı şebeke 2.0 olarak tanımlamıştır. IoE ile akıllı şebeke sistemindeki üretim merkezlerinden ev enerji yönetim sistemlerine kadar tüm sürecin IP ağ altyapısıyla birbirine bağlanarak gerekli veri alışverişinin hızlı ve güvenli şekilde gerçekleştirilmesinin mümkün olacağı belirtilmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla birlikte enerji üretimi, iletimi, dağıtım ve tüketimi sürecinde kullanılan makineler arasında (M2M) veri iletimi ve insan ile makine arasında (H2M) kurulacak iletişimin bilgi iletişim teknolojileriyle (BİT) kolaylaşacağı ve tüketicilerin aynı zamanda üretici olarak da sürece aktif katılacağı bir sistemin, enerji verimliliği açısından önemi vurgulanmaktadır [6].

Gaiceanu ve ark. mikro şebekelerde haberleşme için kullanılan protokol ve standartları sınıflandırarak cihazlar arasındaki veri iletişimlerinin bu yolla gerçekleştiğini belirtmiştir. Dağıtık enerji kaynakları için IEC 61850-7-420, ölçüm okuma ve kontrol için IEC 61968-9 ve uzaktan kablosuz ölçüm için ise EN13575-4 protokolleri kullanılmaktadır. Dağıtım sistemlerinde trafo merkezleri arasında iletişimin öneminden dolayı genellikle IEC 61850 protokolü kullanılmaktadır. IEC 61850, enerji sistemleri için referans mimarisini tanımlayan Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), tarafından geliştirilen transformatör santrallerinin otomasyonu ve tasarımı için standart bir protokoldür. IEC 61850 protokolü, nesnelerin ve hizmetlerin haritalandırılmasını sağlayarak sistem işleyişini hızlandırmaktadır [7].

Muhanji ve ark. elektrik enerjisinin kullanım alanlarının sürekli olarak arttığını ve geliştiğini belirterek bu durumun enerji şebekeleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Özellikle ulaşım sektörünün elektrikleşmesi, endüstride kullanılan akıllı teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla kullanıcıların üretici konumuna gelmesi ve yaygınlaşan mikro şebekeler, enerji şebeke sisteminde önemli değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Sisteme dahil olan tüm sektörlerden gelen verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi, analiz edilmesi ve gerekli adımların atılabilmesi için uzaktan kontrol edilebilen bir sisteme ve çift yönlü veri iletimine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu süreci sağlayacak teknolojinin akıllı şebekelere bağlı enerjinin interneti ile mümkün olacağı belirtilmektedir [8].

Hannan ve ark. BEYS’de kullanılan enerjinin interneti teknolojisinin CO₂ emisyonunu azaltma yönündeki etkisini incelemiştir. BEYS’ye bağlı elektrikle çalışan tüm cihazlardan gelen verilerin işlenip analiz edilerek enerji kullanımında kontrol sağlanmıştır. Bina enerji şebekesine bağlı yenilenebilir enerji sistemleri, işlenen veri değerlerine göre devreye alınabilir veya depolanarak ihtiyaç halinde kullanılabilir. Böylece fosil yakıtlı santrallere ihtiyaç azalarak karbon salınımının önüne geçilmiş olacaktır [9].

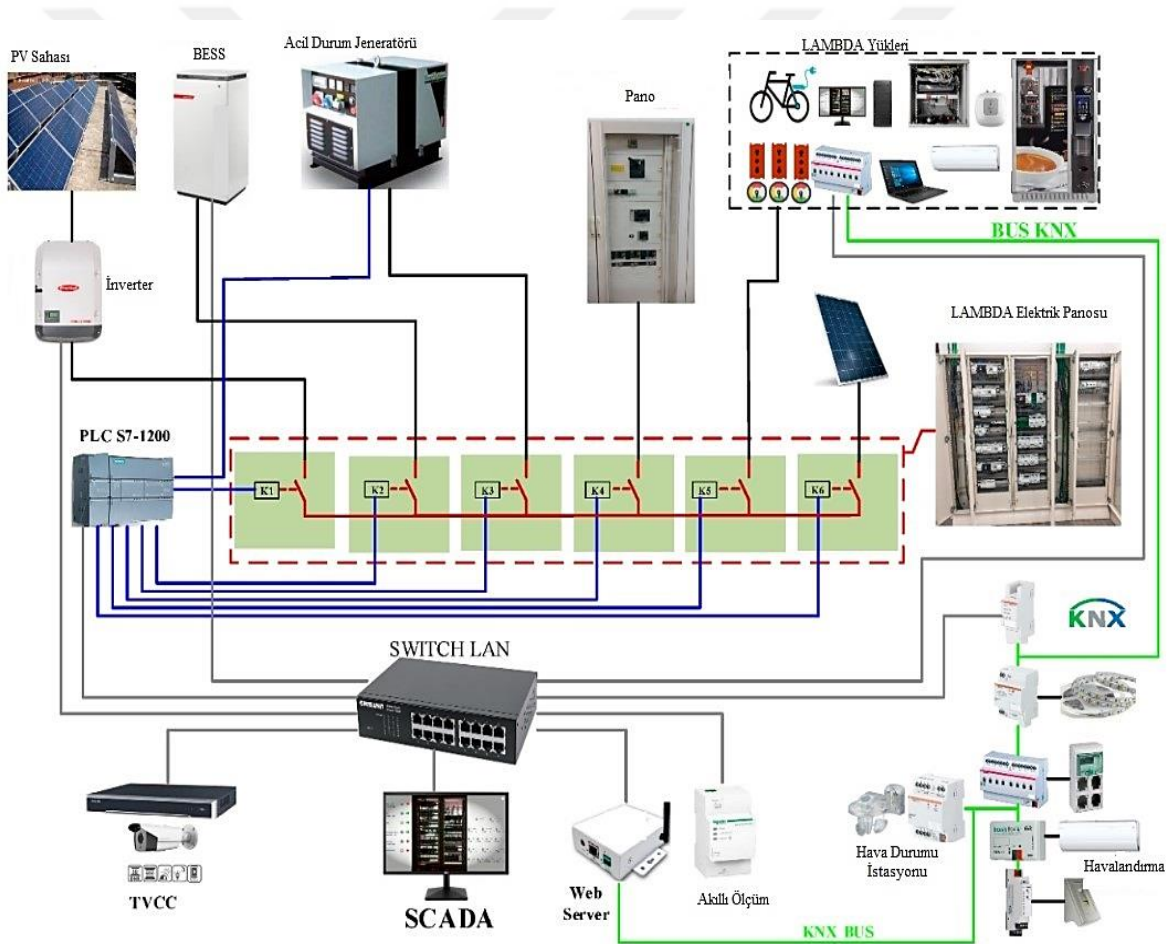
Gunapriya ve ark. akıllı şebekelerde kullanılan IoT teknolojisini, kullanıcı tarafından değerlendirerek kullanıcıların sisteme dahil edilmesinin önemine değinmiştir. IoT teknolojisiyle kullanıcıların cihazlara erişimini ağ altyapısıyla sağlamak gün geçtikçe kolaylaşmaktadır. İnternet ağı ile kullanıcılar, cihazlara uzaktan da erişerek kullanım-tüketim verilerini okuyup gereksiz kullanımların önüne geçmek için anında müdahale edebilirler. Kullanıcıların elektrik faturalarındaki değişimi görmeleri daha kontrollü adım atmalarını sağlayarak şebekeye yüklenmeyi azaltacaktır [10].

Auon ve ark. talep tarafı enerji yönetiminde kullanılan cihazların nesnelere interneti teknolojiye sahip olmalarının enerji verimliliğine etkilerine değinmiştir. Kullanıcılar ve şebeke arasındaki veri iletişimi ve kontrolün hızlı ve güvenli olması için internet ağ teknolojilerinden faydalanılabilir. Kullanıcıların cihazlarındaki sensörlerden iletilen verilerin analiz edilerek yük miktarlarının tahmin edilmesi ve gerektiğinde uzaktan kontrol edilmesini sağlayacak sistemin yaygınlaşmasıyla şebekenin enerji stabilitesini arttıracak ve voltaj kararsızlığından doğabilecek zararların önüne geçeceği belirtilmiştir [11].

Ahsan ve ark. son zamanlarda yaygınlaşan mikro şebekelerin SCADA sistemlerinin bilgi iletişim teknolojileriyle donatılmasının sistemin güvenilirliği ve ekonomik olarak iyileşmesini arttıracaklarını gösteren çalışma yapmışlardır. Bir mikro şebeke, akıllı izleme platformu, alt merkezi kontrolörü ve üst WEB (World Wide Web) izleme sistemini birbirine bağlayan SCADA sistemlerine dayanmaktadır. Mikro şebekeler, SCADA sistemi ile gerçek zamanlı verilerin elde edilmesi, depolanması ve işlenmesi, yük dengeleme ve kaynak kurtarma işlemlerinin internet ağ altyapısıyla uzaktan da gerçekleştirilebilmesi yoluyla istikrarlı ve güvenli bir şekilde korunabilir. Sistemi akıllı bir şekilde otomatikleştirmek, enerji taleplerini karşılarken maliyetleri düşürmektedir [12].

Kermani ve ark. Roma Sapienza Üniversitesi Elektrik ve Enerji Mühendisliği Bölümü’nde LAMBDA olarak adlandırılan mikro şebeke laboratuvarında yaptıkları çalışmada SCADA sisteminin enerji verimliliğine etkisini incelemişlerdir. Yapılan

uygulamada mevcut şebeke, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş panelleri ve enerji depolama sistemleri kullanılmıştır. Yenilenebilir enerjinin aktif olduğu zamanlarda mevcut şebeke akışını durduracak ve fazla enerjinin depolanmasını sağlayacak akıllı şebeke teknolojisine gereksinim olacaktır. Ayrıca yenilenebilir enerji ve depolanmış enerjinin pasif olduğu zamanlarda ise tesisin enerjisiz kalmaması için mevcut şebekeyi aktif edebilecek SCADA sisteminin kullanılması gerekmektedir. Şekil 1.2 de sistemin mimarisinde kullanılan temel materyaller görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sistemdeki cihazların birbirleri ile iletişiminin gerçekleşebilmesi için internet ağ altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Birbirleriyle ağ altyapısı ile veri alışverişinde bulunan sistemin herhangi bir operatör müdahalesi olmadan da gerçek zamanlı olarak otomatik karar verme mekanizması, süreci hızlandırarak enerji verimliliğini arttırmaktadır [13].

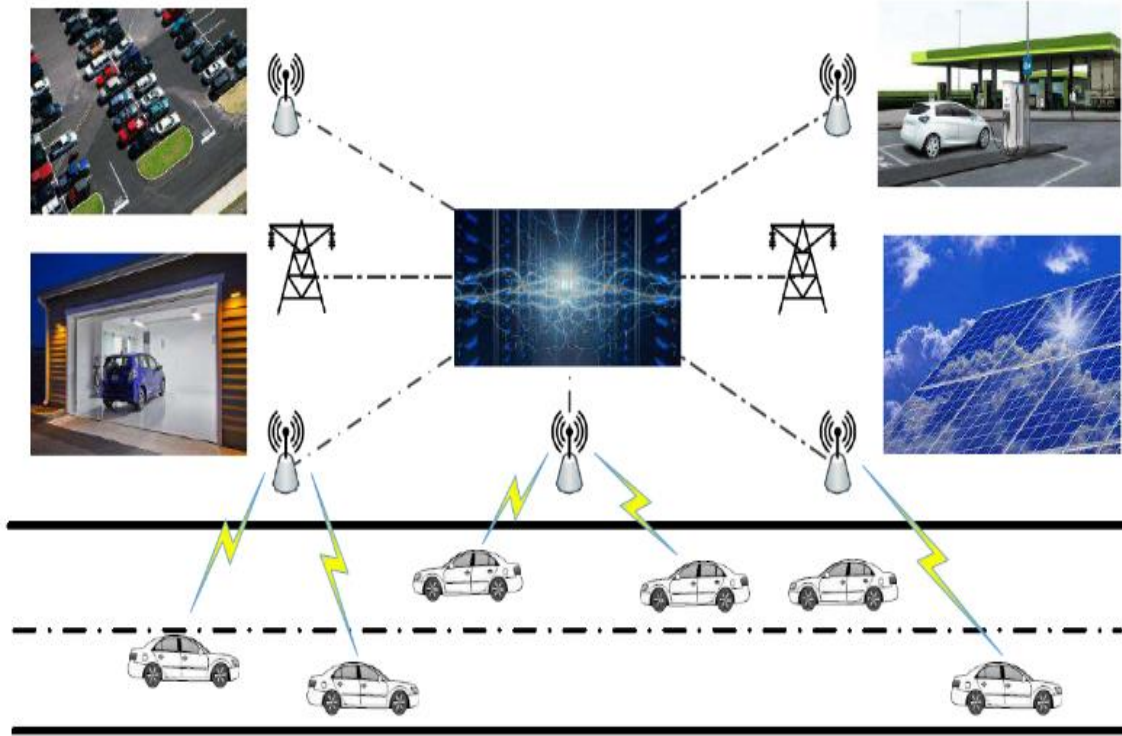


Şekil 1.2 : Şebekedeki cihazların iletişim mimarisini.

Mahmud ve ark. son yıllarda hızla yaygınlaşan elektrikli araçların enerji şebekelerinde ortaya çıkarabilecek muhtemel sorunları ve çözümlerini yaptıkları çalışmada ele almıştır. EA'ların hem tüketici hem de sahip olduğu depolama sistemleriyle besleyici rolünün olduğu belirtilerek gelişmiş iletişim teknolojilerinin kullanılmasıyla akıllı şebekelerde meydana

gelebilecek yük dengesizliğinin önüne geçilebilir. IoE ile araçların birbirleriyle ve merkezi operatör ile veri alışverişinin sağlanması gerekli operasyonel adımların atılmasını sağlayacaktır [14].

Zhang ve ark. elektrikli araçlar arasındaki araçtan-araca (V2V) enerji transferinin enerjinin interneti altyapısını kullanarak enerji yönetimine olan etkisini incelemişlerdir. Enerjinin internetinin en önemli özelliklerinden olan esnek çift yönlü enerji ve veri aktarımı sayesinde araçların şarj/deşarj durumlarının takibi kolaylaşmaktadır. İnternet ağına bağlı araçların enerji durumlarına ait veriler bir merkezde toplanarak arz-talep durumları değerlendirilip en etkili ve verimli eşleştirmelerin yapılması sağlanacaktır [15]. Bu durum mevcut şebekeye yüklenmeyi de azaltacaktır.



Şekil 1.3 : Elektrikli araçların uzaktan haberleşme modeli.

IoE'nin enerji verimliliğindeki önemini daha iyi anlamak için öncelikle enerji dağıtım sistemlerinin yapısını inceleyip son zamanlarda sistemi etkileyen veri iletişim teknolojileri, yenilenebilir enerji, EA, akıllı şebekeler ve bina/ev enerji yönetim sistemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

1.1 Enerji Dağıtım Şebeke Sistemleri

Enerji üretimi ve iletiminden sonra trafo merkezleri aracılığıyla kullanıcıların sayaçlarına kadar olan kısım enerji dağıtım sistemleri olarak ifade edilmektedir. Dağıtım sistemlerinde enerji verimliliği, yükleme türüne ve çalışma koşullarına bağlıdır. Enerji verimliliğini sağlamak için mevcut kaynakları en iyi şekilde kullanılmasına odaklanılmalıdır. Bu yaklaşımlardan biri de internet ağ hizmetlerini de içinde barındıran uzak sunuculara erişimin sağlandığı yapı olarak görülmektedir. Enerji güç sistemleri sürekli olarak büyümekte ve bu durum şebekede esnekliği gerektirmektedir. İnternet ağ hizmetlerinin dahil edilmesiyle birlikte güç kaybının en aza indirgenmesi, aşırı yüklemelerin dağıtılması, sistemin voltaj ve güvenlik profilinde iyileşme sağlanmakta ve böylece sistemin verimliliği artırılmaktadır. Enerji dağıtım sistemlerinin bazı temel amaçları şu şekilde listelenmiştir: [1].

- Güç dağıtım sistemini planlamak ve modernize etmek,
- Kentsel, kırsal ve endüstriyel dahil olmak üzere tüm tüketicilere hizmet bağlantısı sağlamak,
- Maksimum güç güvenliği ve minimum kesinti süresi sağlamak,
- Dengeli üç fazlı besleme, geliştirilmiş güç faktörü ve izin verilen sınırlar ($\pm \%10$) içinde gerilim değişikliği olarak belirlenebilir.

Dağıtım sistemleri elektrik akımının niteliğine, hattın yapısına ve bağlantı şemasına göre sınıflandırılarak Çizelge 1.1’de özellikleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Dağıtım sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri [1].

Dağıtım Sistemi		Açıklama
Akım tipi	AC (alternatif akım)	✓ AC sistemi DC sisteminden daha basittir ve daha ekonomiktir, bu nedenle elektrik enerjisinin dağıtımı için yaygın olarak kabul edilmektedir.
	DC (doğru akım)	
Yapı(inşa) tipi	Havai sistem	✓ Havai sistem, yeraltı sisteminden beş ila on kat daha ekonomiktir, bu nedenle yaygın olarak kullanılır.
	Yeraltı sistemi	✓ Yeraltı sistemi, havai sistemin yasalar tarafından yasaklandığı veya uygulanmadığı yerlerde uygulanmaktadır.

Çizelge1.1: Dağıtım sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri [1]. (devamı)

Bağlantı tipi	Radyal	<ul style="list-style-type: none">✓ Besleme noktasına yakın olan distribütör ucu aşırı yüklenecektir.✓ Tüketiciler bir besleyiciye ve bir distribütöre güvendiklerinden dağıtıcı veya besleyicide herhangi bir arıza varsa, trafo merkezinden uzak duran tüketiciler için de gücü kesecektir.✓ Distribütörün uzak ucunda yaşayan tüketiciler, distribütörde bir yük değişikliği olduğunda voltajlarda çeşitli dalgalanmalara maruz kalacaktır.✓ Bu sınırlamalar nedeniyle, bu sistem sadece kısa mesafeler için uygundur.
	Ring	<ul style="list-style-type: none">✓ Tüketicinin terminallerindeki gerilim değişimleri azalır.✓ Sistem güvenilirdir, çünkü her distribütör iki besleyiciden beslenir.
	Enterkonnekte	<ul style="list-style-type: none">✓ Sistemin güvenilirliğini artırır.✓ Yoğun yük saatlerinde, bir üretim istasyonundan alınan herhangi bir alan başka bir üretim istasyonundan beslenebilir. Bu, yedek güç kapasitesini azaltır ve sistem verimliliğini artırır.

Dağıtım sistemlerinin işleyişinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşebilmesi için dağıtım otomasyon sistemine ihtiyaç vardır. Dağıtım otomasyon sistemi ve enerji yönetim sistemleri, yükü kontrol etmek, yükün dengelenmesi ve talep yanıtı için güç sisteminde olması gereken bileşenlerdir. Dağıtım otomasyon sistemi, sensörleri, bilgi ve iletişim ağlarını, işlemcileri içeren, bir yardımcı programın dağıtık güç sisteminin operasyonel verimliliğini optimize edebileceği ve otomatikleştirebileceği sistemdir. Bu sistemin bazı işlevleri [16];

- Dağıtım hatlarındaki trafo merkezlerini kontrol etmek ve izlemek
- Arızayı ve bağlantısı kesilmiş hatları tespit etmek ve izole etmek
- Yüksek gerilim değerlerine sahip dağıtım hatları için yük ve gerilimi yönetmek
- Sistem sürekliliğini sağlama için yük yönetimi ve ayarları yaparak transformatör için daha az gerilime sahip hatların gerilim dağılımını gerçekleştirmek.

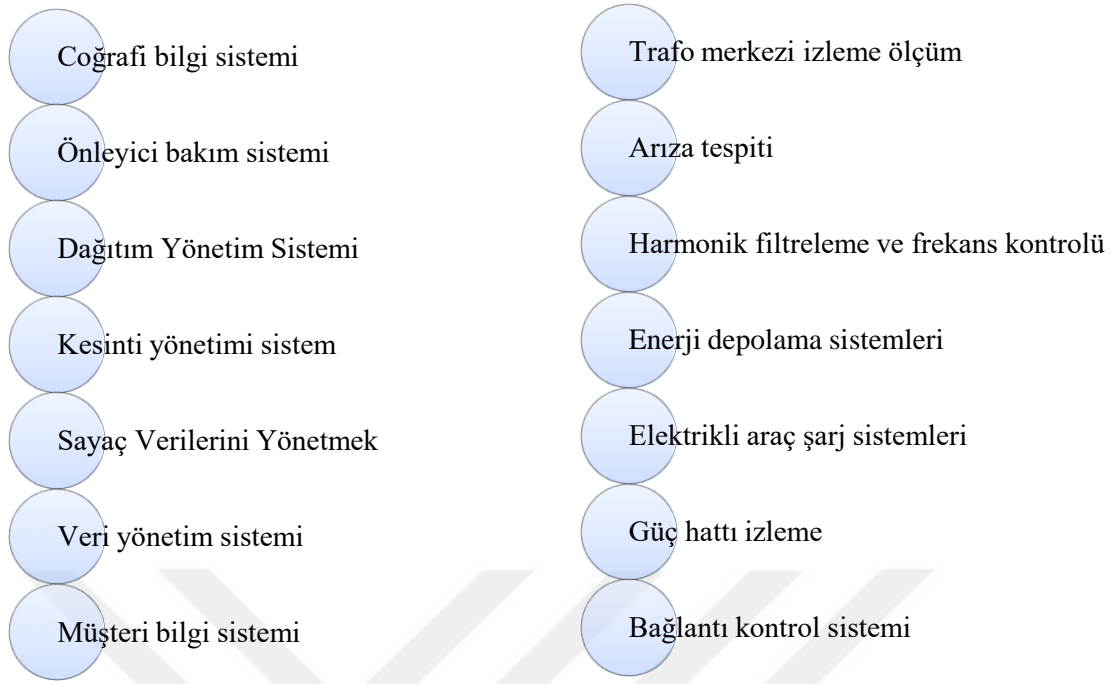
Dağıtım sistemlerindeki en önemli faktörlerden biri de gerilim değişiklikleridir. Gerilim değişikliklerin nedeni çoğunlukla ani yük değişimleridir. Gerilim değişiklikleri sonucu hassas cihazlar üzerinde olumsuz etkiler söz konusu olabilir. Bunu engellemek için dinamik

gerilim düzenleyiciler kullanılmaktadır. Bu sistem, depolama cihazı, güç dönüştürücüleri ve transformatörleri içerisinde barındırmaktadır. Dinamik gerilim düzenleyicilerin ekonomik zorlukları nedeniyle her bir yük için ayrı ayrı kurulması aşırı maliyet gerektirmektedir. IoE teknolojisiyle tüm sistemin gerçek zamanlı kontrol edilmesi daha avantajlı olduğundan ekonomik olarak fayda sağlamaktadır.

1.1.1 Dağıtım sistemlerinde iletişim teknolojileri

Güç sistemlerinde bilgi iletişim teknolojileri uygulaması, güç sistemlerinin arz ve talep tarafında çalışması üzerinde büyük yenilikler meydana getirmiştir. Bu durum şebekenin esnekliğini ve operatörlerin manevra kabiliyetini artırmaktadır. Ayrıca operatör için tüm sistem bileşenlerinin daha iyi gözlemlene ve kontrol edilebilirliği sağlanacaktır [17]. Gelişmiş şebeke yönetim sistemi, sahadaki operasyonel süreçlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde yürütülmesini sağlar. Şebekedeki ana faktörlerin performans ve durum değerlendirmesinin yapılabilmesi için uzaktan kontrol ve izleme işleminin düşük maliyetli ve yüksek kapasiteli sensör ağı ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu haberleşme ağının yönetim sistemlerine entegre edilmesi ile çok sayıda şebeke envanteri dinamik ve gerçek zamanlı kontrol ve izleme imkanına sahip olacaktır [18].

Şebekenin istikrarını korumak için akıllı enerji yönetim sistemleri, güç üretimini güç tüketimi ile dengeleyerek çok önemli bir rol oynamaktadır. IoE ile desteklenen güç sistemlerinde enerji arzı ve talebi, üreticiler ve tüketiciler arasında bağımsız olarak senkronize edilebilir. Ayrıca kendiliğinden koruma, iyileştirme, yapılandırma ve sistemi optimize etme gibi pek çok işlev gerçekleştirilebilir [19]. IoE ile dağıtılan güç tarafına bağlı çeşitli enerji biçimlerinin varlığı nedeniyle, kapasiteyi ve rezerv marjını iyileştirir ve aktif dağıtım ağındaki istenmeyen kayıpları azaltır. Ekonomik işlemin iyileştirilmesine ve sistemin güvenilirliğinin korunmasına vazgeçilmez bir katkı sağlar [20]. IoE'nin güç sistemlerindeki etkileri Şekil 1.4'te sıralanmıştır.



Şekil 1.4 : Güç sistemlerinde IoE [17].

İnsanlar arasında artan çevre bilincine bağlı olarak, küçük ölçekli rüzgâr, hidroelektrik ve fotovoltaik sistemler gibi dağıtık enerji kaynağı sistemlerinin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Aynı anda aşırı miktarda elektrik üretimi, gerilim ve frekanstaki dalgalanmalar, üç fazlı yük dengesizliğinde hızlı bir artış ve istemsiz adalama gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkabilmektedir [21]. Bu sorunların doğru bir şekilde üstesinden gelmek ve doğru bir enerji yönetimi gerçekleştirmek için denetleyici kontrol ve iletişim protokollerini dikkate almak önemlidir.

Dağıtım şebekesinde bulunan dağıtık enerji kaynaklarının bağlantısından kaynaklanan sorunların çözümü için trafo merkezleri ve üretim merkezleri arasında iletişimi sağlayan IEC 61850 denetleyici yaygın olarak kullanılmaktadır. **IEC-61850 Protokolü**, elektrik trafo merkezleri için oluşturulan Ethernet tabanlı protokollerdir. İzleme, ölçme, gerçek zamanlı koruma ve kontrol gerçekleştirmek için birden fazla akıllı elektronik cihazdan oluşan entegre sistemleri desteklemek için düzenlenmiş bir iletişim yöntemidir. IEC 61850, trafo merkezi ile bir cihazın transformatöründen gelen akım değerlerini, şalt sahasındaki cihazlarda meydana gelen olaylarla ilgili bilgileri ve koruyucu röle için ayarlanan sıfırlama değerlerini barındıran verileri içerir. Sadece verilerin ayarlanmasını ve denetimini değil, aynı zamanda olay raporlama, günlüğe kaydetme, örneklenen değerlerin iletimi ve hızlı komutları da gerçekleştirir [21,22]. Yükün kontrolü, yükün dengelenmesi ve talep yanıtı, enerji yönetim

sistemi ve talep tarafı yönetimi dikkate alınarak akıllı şebeke hizmetlerinin elde edilmesinde önemli parametrelerdir.

Enerji hatlarında meydana gelebilecek durumlardan biri de çeşitli arızaların meydana gelmesidir. Olası bir arıza durumunda en kısa sürede müdahale edilebilmesi sistem güvenilirliğini ve kullanıcı talebini karşılamayı sağlamak açısından önemlidir. Nitekim üretilen enerji miktarı depolanmadığı sürece kullanılmadığı takdirde tamamen kayıp olarak değerlendirilir ve bu durumda da verim oldukça düşer. Üretilen enerjinin kullanımında sürekliliğin sağlanması verimin artmasını ve kullanıcı konforunun yükselmesini sağlayacaktır.

Hataları tespit etmek, arızalı parçayı izole etmek ve arızayı giderdikten sonra sistemi geri yüklemek için birçok teknoloji kullanılır. Enerji santrallerini ve trafo merkezlerini gerçek zamanlı izlemek, kontrol etmek ve denetlemek için SCADA kullanılır. SCADA, bir grafik kullanıcı arayüzü aracılığıyla çeşitli sensörlerden gelen farklı ağlarda bilgi toplayan, ileten ve veri aktarımını yöneten bilgisayar arayüz cihazlarına dayanan dijital bir sistemdir. Ayrıca, sistemi kontrol etmek ve yönetimi denetlemek için bir insan makine ara yüzünden (HMI) oluşur [23]. SCADA sistemlerinin ortaya çıkması, güç sistemlerindeki merkezi enerji yönetimini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır [24].

Rana ve ark. [25]'te enerji iletim ve dağıtım hatlarında arıza konumunun tespiti ile ilgili yaptığı çalışmada arıza konumunun kısa sürede tespitinin talebi karşılama ve kullanıcı konforunu sağlama noktasında önemli olduğunu belirtmiştir. Enerji talebi teknolojinin gelişmesiyle sürekli olarak artmakta ve enerjide sürekliliğin önemini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle iletim hatlarının uzun mesafelerde olması arıza tespitinin süresini etkilemekte ve sistemin işleyişini zorlaştırmaktadır. Arızanın hızlı bir şekilde giderilmesi gelir kaybını azaltacağı gibi sistemin güvenli çalışmasını sağlayacaktır. İletişim ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte WAMPCT tabanlı akıllı koruma sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Akıllı şebekelerde yaygın olarak kullanılan WAMPCT, uzaktan veri aktarımını kolaylaştırmak ve şebekedeki dengesizliklere müdahale etmeyi sağlamak için IoT tabanlı bir sistem kullanmaktadır. WAMPCT sisteminin bileşenleri; fazör ölçüm birimi (PMU), fazör veri toplama birimi (PDC), ve IoT özellikli iletişim ağı olarak kullanılmaktadır. PMU'ların, yüksek veri yakalama işlevleri nedeniyle gerçek zamanlı ortamda arızayı algılaması sağlanır. PMU'lar, küresel konumlandırma sistemi uydusu ile senkronize edilerek uzak bir mesafede bulunan faylı hattın fazör verilerini algılar ve veriler IoT tabanlı iletişim altyapısı aracılığıyla iletilir. PDC, bir siber fiziksel sistem aracılığıyla

kendisine bağılı çeşitli PMU'lardan bilgi toplar ve daha sonra toplanan bilgileri çeşitli uygulamalar için kontrol merkezine gönderir. Veri arşivleme ve gerekli uygulama doğrudan kontrol merkezi düzeyinde çalıştırılabilir. Arşivlenen veriler çeşitli güç sistemi koruma ve kontrol uygulamaları için kullanılabilir. Bir WAMCP sisteminde IoT kullanımını ile birlikte akıllı şebekeler IoE'nin işleyişini kolaylaştırdığından, IoE tabanlı WAMCP, arızayı bulmak için kullanılabilir.

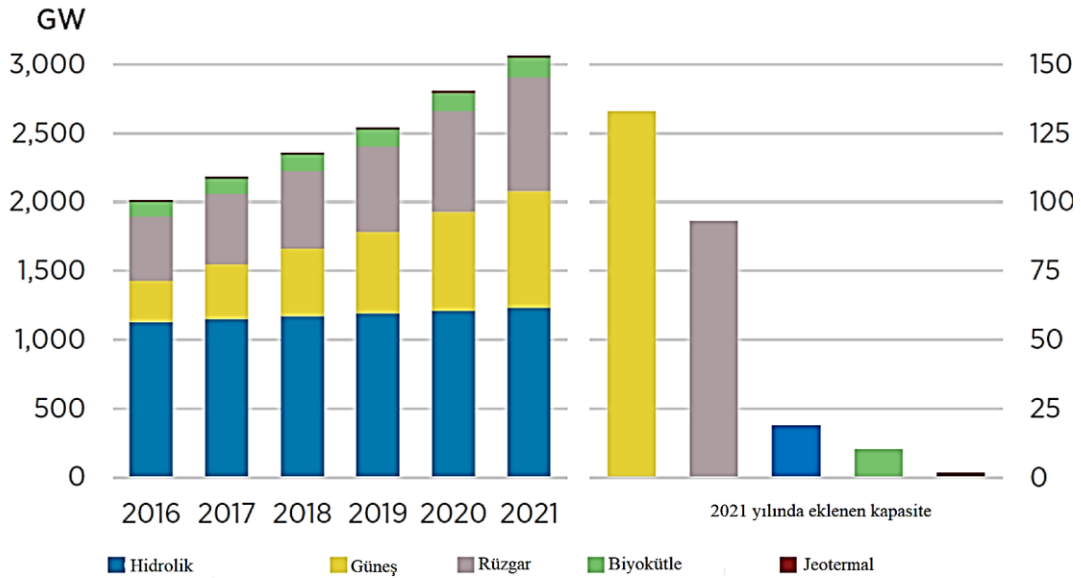
1.2 Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri

Yenilenebilir enerji, son yıllarda dünyanın yaşanabilirliğini sürdürebilmek için en önemli konu olarak ele alınmaktadır. Doğal çevrenin dengesinin korunabilmesi için çeşitli bilimsel araştırmalar, toplantılar ve zirveler yapılmaktadır. Yapılan zirvelerden 21.04.2021 tarihinde Türkiye dâhil kırk ülke liderinin katılımıyla gerçekleşmiştir.

Uluslararası yapılan anlaşmalar ve iklim zirveleri 2050 yılına kadar CO₂ emisyonunun sıfıra indirgenmesini hedeflemektedir. Bunun gerçekleşmesi için teknolojik gelişmelerin artarak enerji verimini arttıracak adımlar atılmaktadır [26]. Ekonomik ve çevresel sorunların azaltılması ve sürdürülebilir, güvenilir enerji için %100 yenilenebilir enerjiye geçiş gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için ulaşımdan ısıtmaya ve elektriğe kadar tüm alanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sağlanmalıdır [27].

Baidya ve ark. [9] artan enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan fosil yakıt kaynaklı enerji üretiminin çevresel ve ekonomik sorunlarına dikkat çekerek yenilenebilir enerji kaynaklarının gerekliliğine değinmiştir. Toplumun modernleşmesi ve nüfusun hızla artması, enerjiye olan talebi arttırmakta ve bu durum kullanılan enerji kaynaklarında tükenme ve çevresel sorunların artmasına yol açmaktadır. Dünya genelinde üretilen enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıt kaynaklı olduğundan küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlarla birlikte kaynakların hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsızlığı ve çevre duyarlılığına olan etkisiyle insanlar arasında bilinçliliği arttırmakta ve teknolojinin gelişmesiyle yapı maliyetlerinin düşmesi, buna karşılık performansın yükselmesi yenilenebilir enerji teknolojisini daha cazip hale getirmektedir. En çok bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr enerjisiyle birlikte hidroelektrik, dalga, hidrojen enerji kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır.

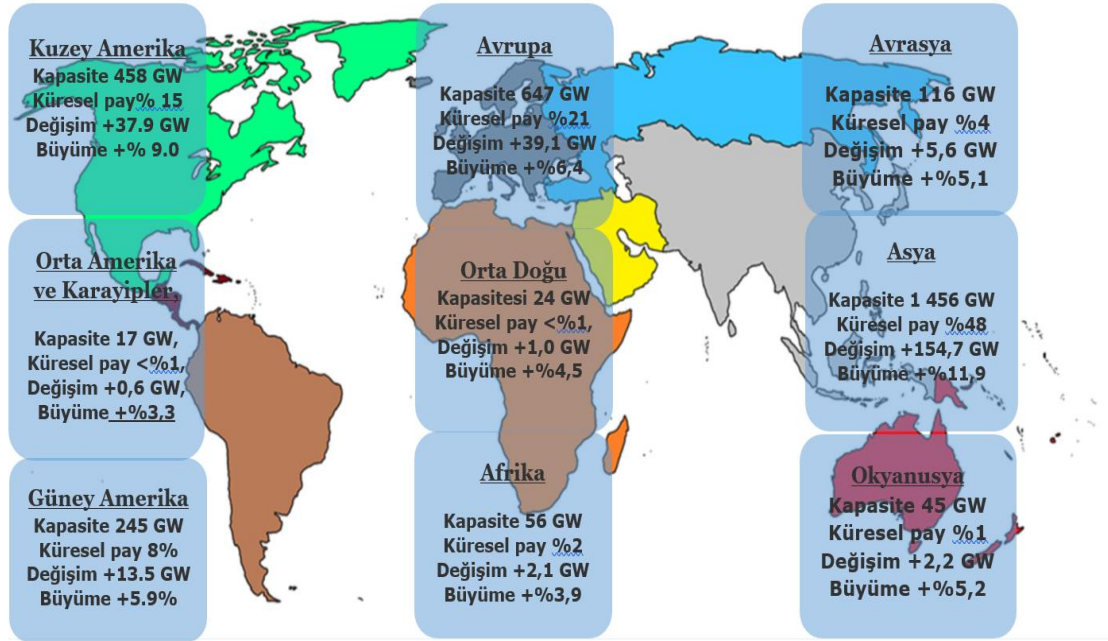
Fosil yakıtlı enerji üretimini azaltmak ve üretim santrallerinin yapılarını aşamalı olarak ortadan kaldırmak için değişken yenilenebilir enerjinin daha yüksek entegrasyonuna izin veren sistem esnekliğini sağlayarak altyapıyı yükseltmek ve kararlı bir şekilde hareket edebilmek gerekmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre [28]; Dünya genelinde enerjinin yenilenebilir kaynaklara geçişi, son yıllarda yaşanan COVID-19 sebebi ile tüm sektörlerde olduğu gibi yavaşlamıştır. 2021'in sonuna kadar, yenilenebilir enerji kaynakları küresel kurulu kapasitenin yüzde 38'ini sağlamıştır. Yenilenebilir üretim kapasitesi 2021 yılında 257 GW (+%9,1) artmıştır. Güneş enerjisi, 133 GW (+%19), rüzgar enerjisi, 93 GW (+%13), hidroelektrik, 19 GW (+%2) ve biyoenerji, 10 GW (+%8), Jeotermal enerji 1.6 GW artmıştır. Şekil 1.5'te de görüldüğü gibi 2021 yılında en çok kapasite artışını (%88) sağlayan yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgar enerjisidir. 2021 yılı sonunda küresel yenilenebilir üretim kapasitesi 3.064 GW olarak gerçekleşmiştir. Bu kapasitenin en büyük payını 2021 yılı için güneş enerjisi oluştursa da totalde en büyük paya sahip olan yenilenebilir enerji kaynağı 1.230 GW kapasite ile Hidroelektrik enerjisidir.



Şekil 1.5 : 2016-2021 dünyada yenilenebilir enerji ve 2021 yılı üretim değerleri [28].

Bölgesel olarak yenilenebilir enerji kapasiteleri ve son yıllardaki değişim oranları Şekil 1.5'te verilmiştir. Asya, 2021 yılında kapasitenin %60'ını oluşturmuş ve yenilenebilir kapasitesini 154,7 GW artırarak 1,46 TW'ye (küresel toplamın% 48'i) ulaşmıştır. Bu artışın büyük bir kısmı Çin'de (+121 GW) gerçekleşmiştir. Avrupa ve Kuzey Amerika'daki kapasite sırasıyla 39 GW (+%6,4) ve 38 GW (+%9,0) artarken, ABD'de (+32 GW) oldukça büyük bir artış yaşanmıştır. Afrika, 2020'ye göre daha az, ancak 2,1 GW (+%3,9) artışla istikrarlı

bir şekilde yükselmiştir. Okyanusya ise (+% 5.2) artışla küresel kapasitedeki payı küçük ve bu artışın neredeyse tamamı Avustralya'da gerçekleşmiştir.



Şekil 1.6 : Bölgelere göre yenilenebilir enerji değerleri.

1.2.1 Türkiye’de yenilenebilir enerji

Türkiye’nin de yukarıda bahsedilen iklim zirvelerine katılarak somut adımlarla bu süreci desteklediği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının milli ve yerli olarak sağlanabilmesi, enerji de dışa bağımlılığın azaltılmasının yanında ciddi oranda ekonomik iyileşmeyi de sağlayacağından politika olarak da büyük önem verilmektedir. Türkiye’nin 2019-2023 yılları için hazırlanan 11 kalkınma planı incelendiğinde enerji alanında yenilenebilir enerji sektörüne verilen önem görülmektedir. Örneğin lisanssız güneş ve rüzgar enerji santrallerinin uygulamalarının yaygınlaştırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin şebekeye entegrasyonunun güvenli bir şekilde sağlanmasına yönelik proje ve yatırımların artırılmasına yönelik teşvik edici maddeler yer almaktadır.

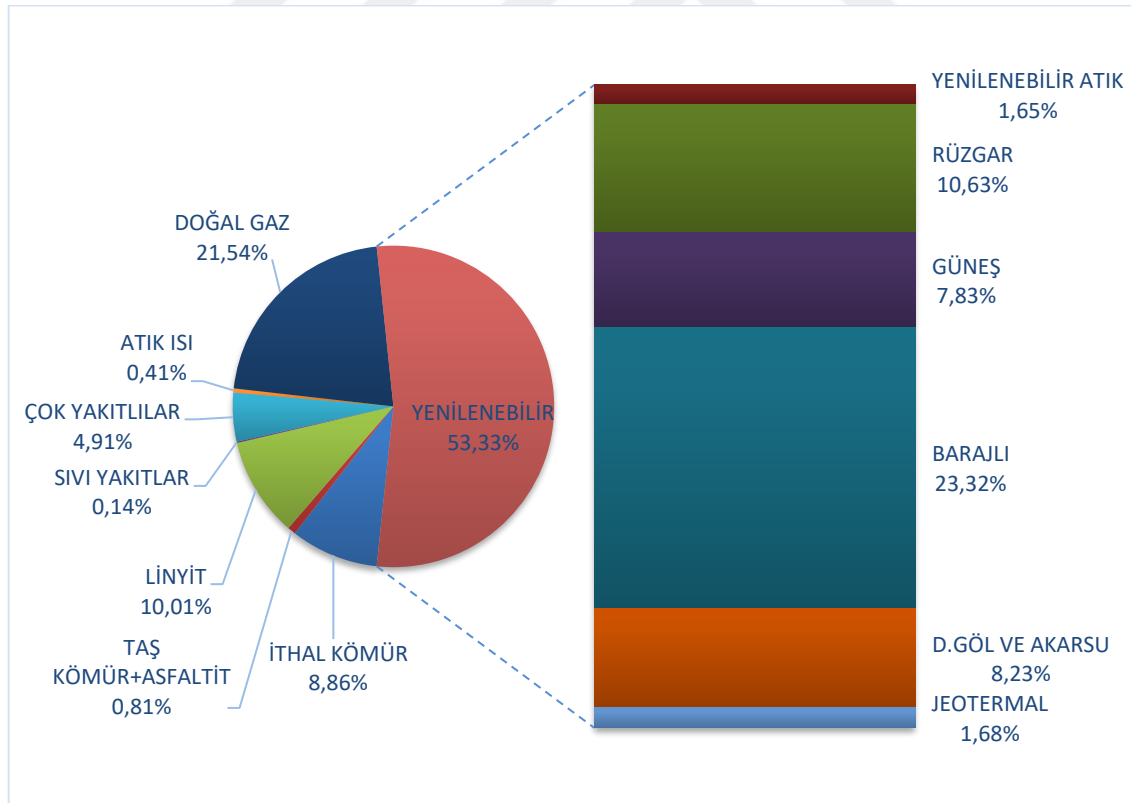
Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte atılan adımların etkisi Çizelge 1.2’de de görüldüğü gibi enerji kaynakları arasındaki oranlar değişerek yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı artmaktadır. 2011 yılında üretim oranının %64 civarında yenilenemeyen kaynakların ve %36 civarında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı; 2021 yılında ise yenilenemeyen enerji kaynakları toplam üretimdeki payının azalarak %47

civarında olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının ise artarak %53 civarında olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.2 : Türkiye'nin 2011-2021 yıllarında enerji kaynaklarının oranları [29].

Birim : MW										
	Kömür	Sıvı Yakıtlar	Doğal Gaz	Yenilenebilir Atık+Isı	Çok Yakıtlı	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2011	12.550,3	1.300,4	13.143,9	125,7	6.810,8	17.137,1	114,2	1.728,7	-	52.911,1
%	23,72	2,46	24,84	0,24	12,87	32,39	0,22	3,27	-	100,00
2021	19.641,5	135,4	21.502,5	2.051,1	4.897,8	31.492,6	1.676,2	10.607,0	7.815,6	99.819,6
%	19,68	0,14	21,54	2,05	4,91	31,55	1,68	10,63	7,83	100,00

Türkiye'nin kurulu gücü 2021 sonunda 99 MW üzerine çıkmış ve bu değer %53,3 oranındaki kısmı Şekil 1.7'de da görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanmıştır.



Şekil 1.7 : Türkiye 2021 kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı (MW) [29].

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi internet sitesinde Nisan 2023 verilerine göre ülkemizin kurulu gücü 104.496 MW seviyesine çıkmıştır. Kaynaklara göre dağılımı; [<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, E.T: 25.05.2023].

- Hidrolik(su) enerji: %30,2 (751 adet santral)
- Doğalgaz: %24,3 (345 adet santral)
- Kömür: %20,9 (67 adet santral)
- Rüzgar: %11 (361 adet santral)
- Güneş: %9,5 (9.863 adet santral)
- Jeotermal: %1,6 (63 adet santral)
- Diğer: %2,5 (491 adet santral)

1.2.2 Enerji dağıtım şebekelerinde yenilenebilir enerji

Son yıllarda yaygınlaşan akıllı şebekeler, mikro şebekeler ve dağıtık enerji şebekeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kolaylaştırmaktadırlar [30]. Dağıtık enerji kaynakları ile enerji sistemi daha esnek hale gelmektedir. Ancak mevcut elektrik altyapısı ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjiden tam verim elde edilememektedir. Dağıtık yenilenebilir kaynaklara yönelik kademeli değişim ve iklimsel koşullar elektrik üretimlerinin bu öngörülemez doğasının, talep-tedarik yönetimi için yeni teknikler gerektirmektedir. Örneğin, fotovoltaik sistemlerden çok fazla enerji üretildiği (güneşli gün) veya çok az üretim (bulutlu) olduğu bir durum olabilir. Bu gibi durumlarda temel gereklilik, elektrik üretimi ve tüketimini dengelemektir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırken dağıtık üretim, esneklik, müşteri şeffaflığı da içeren koordineli, sürdürülebilir ve akıllı bir enerji pazarına ulaşmak için akıllı bir kontrol ve yönetim sistemi gereklidir [2].

Dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerine entegrasyonu nedeniyle, iletim ve dağıtım hatlarında çoklu yön görülmektedir. Bu, güç şebekesinin hem işletilmesinde hem de korunmasında karmaşıklığı arttırmaktadır [31]. İletişim ekipmanları olmadan, şebekedeki çok sayıda unsurun, özellikle yenilenebilir kesimin yönetimi, insanların müdahalesiyle geleneksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmesi oldukça zorlaşacaktır. Ek olarak, her bir ögeye karşılık gelen veriler yerel, bölgesel veya ulusal merkezlere mümkün olduğunca çabuk aktarılmalıdır. Veriler ayrıca analiz edilmeli, uygun kontrol komutları verilmeli ve yürütülmelidir. Bir rüzgâr çiftliğindeki rüzgâr türbinleri ve bir güneş tarlasındaki fotovoltaik paneller genellikle geniş bir arazide kümelenir. Bir sistem

faktörü kontrol edildiğinde, yönetici operatörler için lojistik sorunlara neden olabilir. Her bir kalemin tüm unsurlarının uygun gerçek zamanlı kontrolünü sağlamak uzun vadede şebekenin kırılma dayanıklılığını önemli ölçüde arttırabilmektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr santrallerinde IoT'yi kullanarak, bu sorunların çoğu çok az çaba ile çözülebilir. Operatörlerin tüm şebekeyi yönetmesini sağlayan tam entegre bir sistemin kurulması yeterli olacaktır. Bu aynı zamanda onlara sorunları neredeyse gerçek zamanlı olarak ayırt etme ve düzeltme imkânı verir. IoT'yi güneş ve rüzgâr enerjisinde kullanmanın temel avantajı, tüm envantere olan her şeyin tek bir merkezi kontrol panelinden izlenebilmesidir. Herhangi bir sorunun kökeni, tüm sistem bozulmadan önce bulunarak gerekli müdahale ile çözüm sağlanabilir [32].

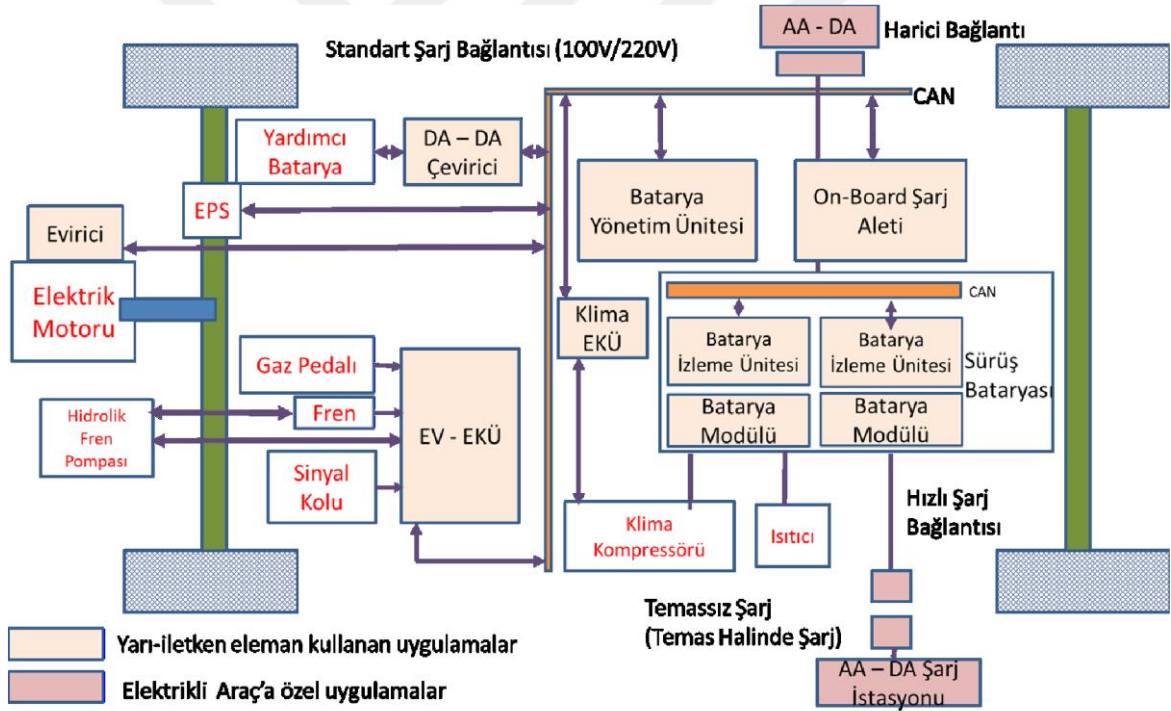
Yenilenebilir enerji şebekesinin entegrasyonunda yük kontrolü, sistem durumunun takibi, hızlı ve esnek güç yönlendirme işlemlerinin yapılabilmesi için akıllı şebeke teknolojisine gereksinim vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının iklim şartlarından etkilenme ve sürekli standart düzeyde işlev görememesi dezavantajına sahip olmasından dolayı gerilim stabilizasyonu, güvenilirlik, güç kalitesi ve enerji verimliliğini sağlamak için güç elektroniği cihazları ve depolama sistemleri kullanılmaktadır. Güç elektroniği teknolojileri ile depolama sistemleri ve şebeke arasında haberleşme sağlanabilmekte ve güç kontrolü sağlanarak enerji ihtiyacının giderilmesi ve ihtiyacın olmadığı durumlarda ise enerji yönlendirilmesi yapılarak enerji yönetimi gerçekleştirilmektedir. Güç sistemindeki herhangi bir anormalliği tespit edebilen, durumla başa çıkmak ve gerekli adımların atılabilmesi için bir uyarı sinyali verebilen gelişmiş bir iletişim sistemi gereklidir. M2M iletişim sistemi, veri aktarabilen ve güç sistemi ağındaki farklı gömülü cihazlarla iletişim kurabilen bir teknolojidir. M2M ve SCADA sisteminin birlikte çalışması, enerji transferini çift yönlü gerçekleştirebilir ve yoğun yük saatlerinde güç dağıtımını yaparak enerjiyi verimli kullanmayı sağlar [23].

Şebeke sistemindeki tüm üretim verilerinin kayıtlarını elde etmek için gerçek zamanlı değerlendirme çok önemlidir. Bu bağlamda IoE, yenilenebilir enerji üretim kaynakları ile mevcut şebekeler arasında birleştirilirken koordinasyon sağlamak için çeşitli avantajlar sağlamaktadır [33].

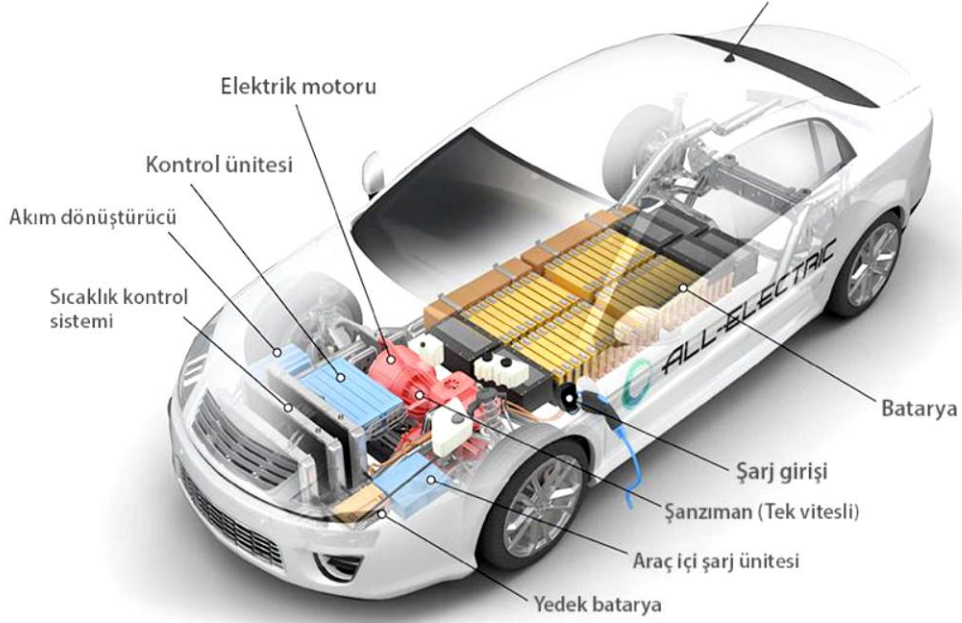
1.3 Elektrikli Araçların Enerji Şebekesi Üzerindeki Etkisi

Elektrik şebekelerinde meydana gelen değişimlerin sebeplerinden biri de elektrikli araçlardır. Dünyanın birçok ülkesinde mevcut olan EA'ların sayıları gün geçtikçe artmakta ve bu durum çevresel olarak olumlu sonuçlar çıkarmakla birlikte enerji şebekelerine büyük bir yük olarak yansımaktadır. Bu durumun olumsuz sonuçlarından kaçınmak için modern şebekelere dönüşümün hızlanması gerekmektedir.

Elektrikli araç (EA); elektrik motoru yardımıyla elektrik enerjisinin hareket enerjisine dönüştürüldüğü araçlardır. Bu araçlarda bataryadan alınan elektrik enerjisi elektrik motoru aracılığıyla mekanik olarak tekerleklere aktırılarak harekete dönüşmesi gerçekleşmektedir. Elektrikli araçlarda genellikle enerji depolama sistemleri, elektrik motoru, jeneratör ve güç elektroniği devrelerinden oluşan kontrol devreleri bulunmaktadır [34]. Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da elektrikli araçların genel şematik yapısı ve üç boyutlu görseli sırasıyla verilmiştir.



Şekil 1.8 : Elektrikli araç şematik gösterimi [35].



Şekil 1.9 : Elektrikli araç üç boyutlu gösterimi [36].

Elektrikli araçlar genel olarak iki kısımda incelenmektedir. Tahrik sisteminin türüne bağlı olarak, Saf veya Hibrit EA olarak sınıflandırılabilir [37]. Hibrit araçların dışarıdan şarj edilmesine gerek yoktur. Ancak sadece bataryadan güç alan EA'ların şarj edilmesi gerekmekte ve bu durum şebekeyi etkilemektedir [38].

Çevre ve enerji krizi nedeniyle, dünyanın birçok ülkesi ulaşımı elektrikli hale getirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2017 raporuna göre [39], elektrikli otomobil pazarı yıllar içinde önemli bir ivme kazanarak ve 2020 yılına kadar 9 ila 20 milyon arasında ve 2025 yılına kadar 40 ila 70 milyon arasında değişim gerçekleşecektir. EV30@30 kampanyası, 2030 yılına kadar %30 EA pazar payına sahip ortak bir hedef belirlemiştir. Bu durum, mevcut elektrik şebekesinin çalışma şeklini önemli ölçüde değiştirecektir.

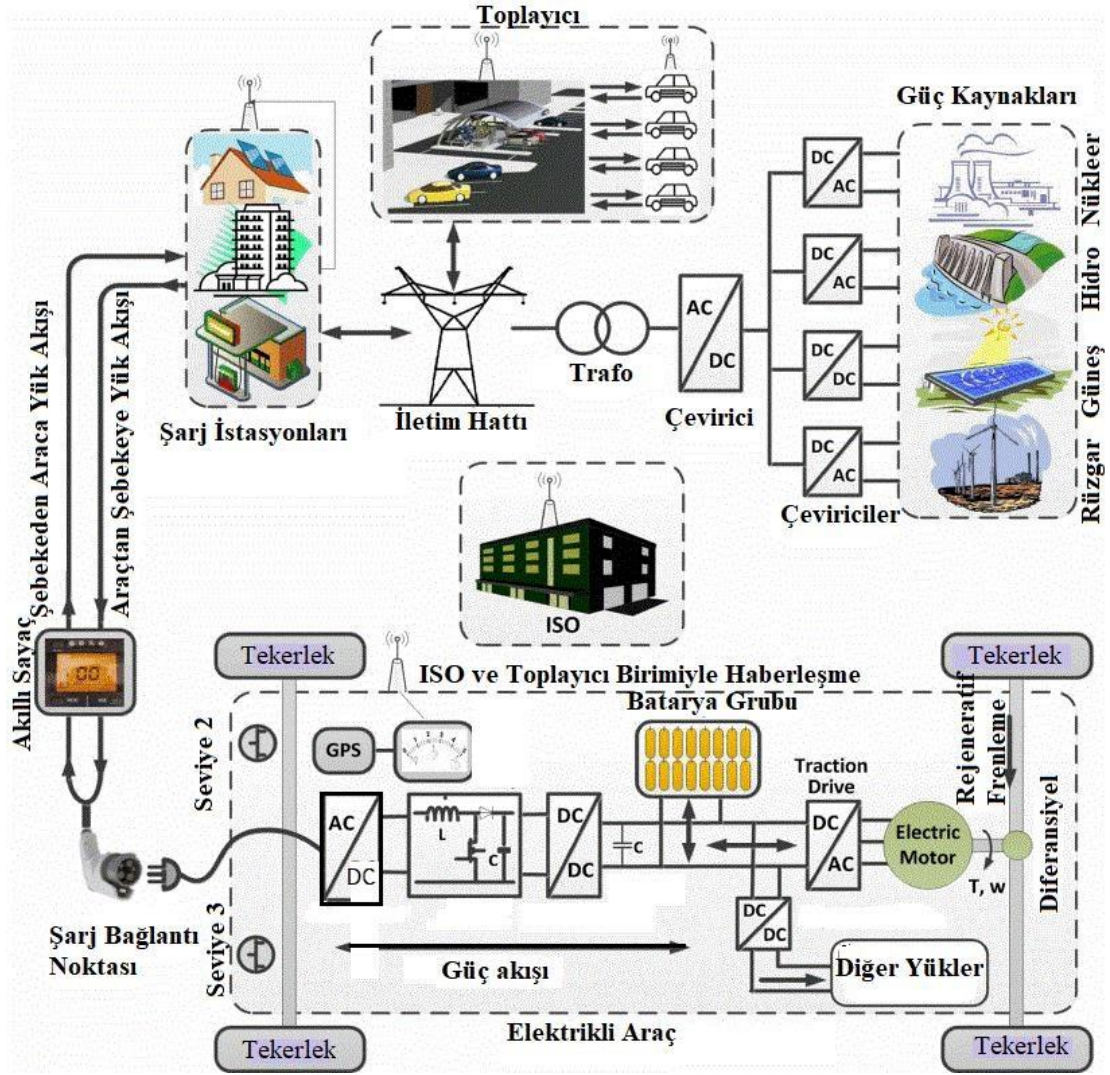
Elektrikli araçlar şebekede bir güç kaynağı veya yük olabilir. EA'lar en yüksek talepler sırasında sisteme güç sağlayarak şebekeye destek verebilir ve bu da enerji kalitesini, güvenilirliği ve verimliliği artıracaktır. Bu nedenle, EA güç yönetim sistemini IoE'ye entegre etmek günümüzün en önemli hedeflerinden biridir. Yerleşik veri günlüğü özelliğine sahip bir EA, tanımlanmış herhangi bir aralıkta EA'nın hareketliliği, hız, konum, sıcaklık ve şarj durumu (SoC) bilgileri gibi verileri gerçek zamanlı olarak gönderebilir. Bu veriler, karar verme için bir akıllı şebekeye yönlendirilerek sistemin optimizasyonu sağlanabilir [1].

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte şarj istasyonlarının kurulumu ve konumu önemli bir faktör haline gelmektedir. Potansiyel şebeke desteğini sağlamak ve ayrıca şebeke

üzerindeki yükü azaltmak için, şarj istasyonu konumunu belirlemek önemlidir. Potansiyel konum evlerde, iş yerlerinde, benzin istasyonlarında, alışveriş merkezlerinde, otoyol dinlenme alanlarında, restoranlarda vb. olabilir. Araç sahibinin cep telefonundaki veya aracın kendi IoE tabanlı uygulamalarında en iyi şarj istasyonunu aramak, aracın şarj sistemine doğru şekilde takılı olduğundan emin olmak ve bazen maliyeti düşürmek için sürücüyü ihtiyaç dışı ve ekonomik bir konuma yönlendirmek için en yüksek esnekliği sağlamalıdır. Örneğin, EA'ların koordine edilmemiş şarj talepleri, yoğun saatlerde yükü artırır ve bu da büyük ölçüde elektrik şebekelerinin stabilitesi üzerinde olumsuz bir etki ortaya çıkaracaktır. Şarj istasyonları şebekeden büyük miktarda yük çekmesinin yanında şebekedeki değerlerde dengesizliklere yol açarak kullanıcı konforunu etkileyebilecektir [14,40]. Üretilen enerjinin esnek bir şebeke yapısıyla ihtiyaç noktasına kaydırılabilmesi veri iletimi ile mümkün olabilecektir. Araçların sistemine dahil edilen IoT tabanlı cihazların ağ yoluyla şarj durumunu iletebilmesi operatörlerin gerekli önlemi alabilmesine olanak tanıyacaktır.

IoE ile elektrikli araçlar, şebekeden araca (G2V) ve araçtan şebekeye (V2G) teknolojiler ile birbirine bağlanabilir. Bu teknoloji, EA'ları şarj ettikten sonra aşırı elektriğin şebekeye geri döndüğü çift yönlü bir enerji akışı kavramına dayanmaktadır. Bu bağlamda IoE, ekstra enerjiyi diğer EA'lara satmak veya şebekeye geri aktarabildiği için faydalıdır. IoE, şebekeler ve kullanıcılar arasındaki diğer işlemlerle birlikte veri ve güç değişimini çift yönlü optimize etmek için çeşitli araçlar ve yöntemler sağlar [19].

Günümüzde güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bireysel kullanımının artmasıyla enerji depolama sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte enerji depolama ihtiyacının karşılanması sağlanarak ayrıca farklı bir enerji depolama sistemine ihtiyaç duymadan araçların bataryaları kullanılarak ihtiyaç fazlası üretilen enerjinin depolanması ve pik yük zamanlarında da depolama sistemlerinin devreye girmesi şebekedeki yükün dengelenmesine yardımcı olacaktır. Şekil 1.10'da sistemin çalışması modellenmiştir.

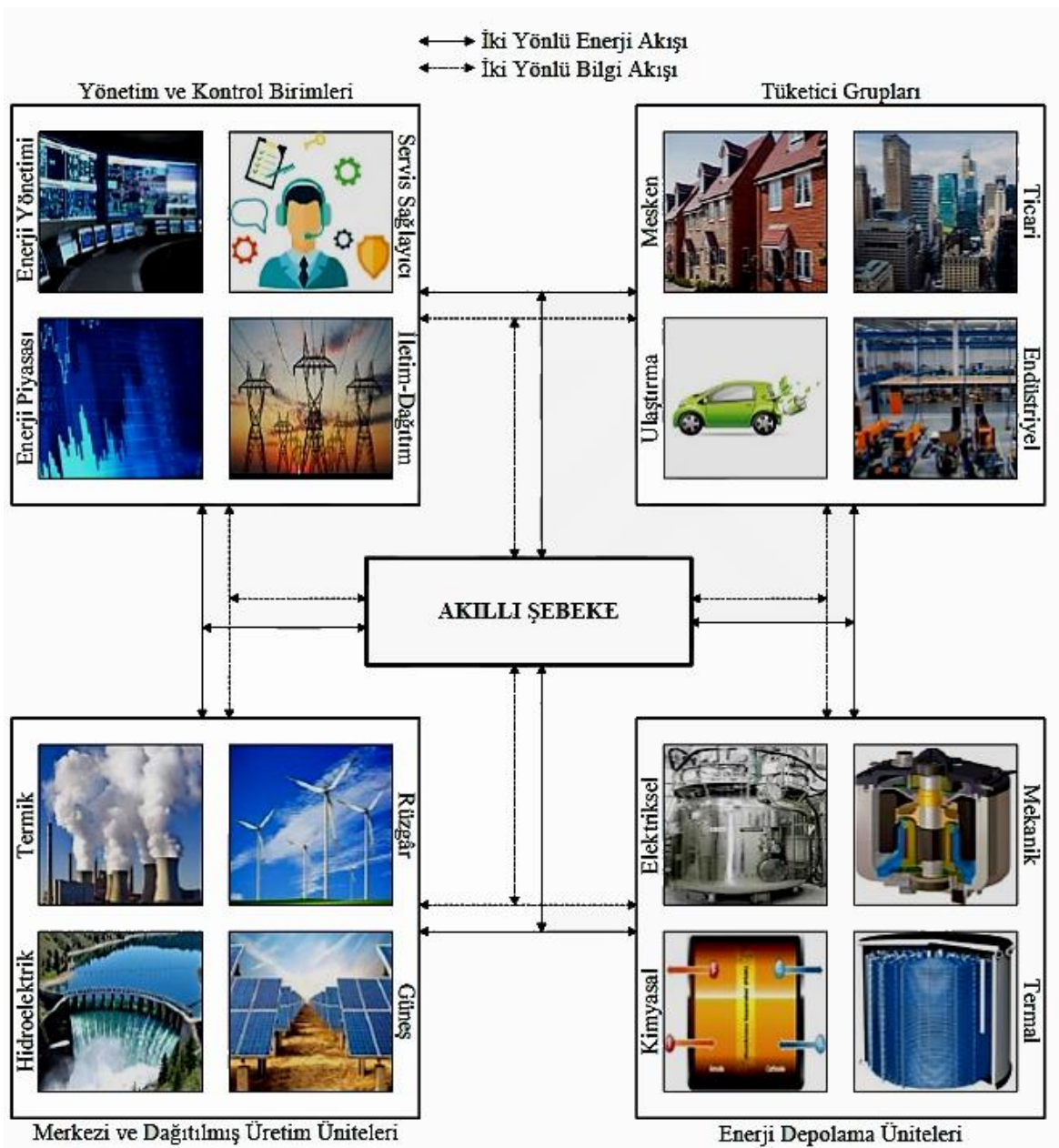


Şekil 1.10 : Tipik bir V2G kurulumunun çeşitli bileşenleri [43].

Şarj-deşarj yoluyla çift yönlü enerji transferini kontrol etmek için cihazlar ve kontrolörler arasında çift yönlü bilgi aktarımı zorunludur. EA'lar, yardımcı programlar (IoE gibi), şarj istasyonları ve kontrolörler arasında güvenilir bilgi alışverişi sağlayarak, güç kalitesini korurken şebeke üzerindeki etkileri en aza indirilebilir. V2G teknolojisi, çift yönlü enerji akışına imkân sağlaması EA'ların bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına olanak tanımakla birlikte emisyon azaltımı ve optimum yenilenebilir enerji entegrasyonunda fayda sağlayacaktır [14]. V2G, enerji tasarrufu sağlamak için önemli bir yaklaşımdır ancak dezavantaj olarak V2G entegrasyonu bir pilin kullanımını artırır ve böylece bir EA pilinin çalışma ömrünü azaltır.

1.4 Akıllı Şebekeler

Akıllı şebekeler, geleneksel elektrik altyapısının bilgi iletişim teknolojileriyle donatılması olarak düşünülebilir. Akıllı şebeke, enerjinin verimliliğini artıran, işletim ve bakım maliyetlerini azaltan, kullanıcıların da aktif olarak katıldığı bir sistemdir. Teknolojik gelişmeleri ve farklı üretim seçeneklerini dikkate alan enerji sektörlerinin artışı ve gelişimi sağlanmaktadır. Akıllı şebekeler, mevcut şebekelerin mikro şebekelerle çift yönlü etkileşim ile uyumlu şekilde çalışabilmesine olanak sağlar [41]. Şekil 1.11’de de görüldüğü gibi akıllı şebekelerde enerji şebekesinin tüm birimleri arasında çift yönlü bilgi ve enerji akışı sağlanabilmektedir.



Şekil 1.11 : Akıllı şebeke tasarımı [42].

Son değişikliklerle birlikte daha esnek bir Şebeke yapısı, dağıtık üretim santralleri ve depolama sistemlerinin entegrasyonu akıllı Şebekelerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıŐtır. Merkezi olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla elde edilen enerji sistemlerinde, üretim merkezi ile tüketiciler arasındaki mesafenin azalması enerji sistemleri mimarisinde değişiklikleri kaçınılmaz kılmıŐtır. Güç sistemlerine dahil olan elektrikli araçlar, AC/DC yükler, depolama sistemleri gibi faktörler enerji sistemlerinde daha kapsayıcı ve esnek mimarileri gerektirmiŐtır. Uzaktan izleme ve denetleyici kontrol işlemlerinin otomatikleŐtirilmesi, iletim ve dağıtım hatlarında verimlilik ve güvenliği büyük ölçüde arttırmıŐtır. Akıllı Şebekelerin ve geleneksel Şebekelerin karşılaştırılmış özellikleri Şekil 1.12’de verilmiştir.



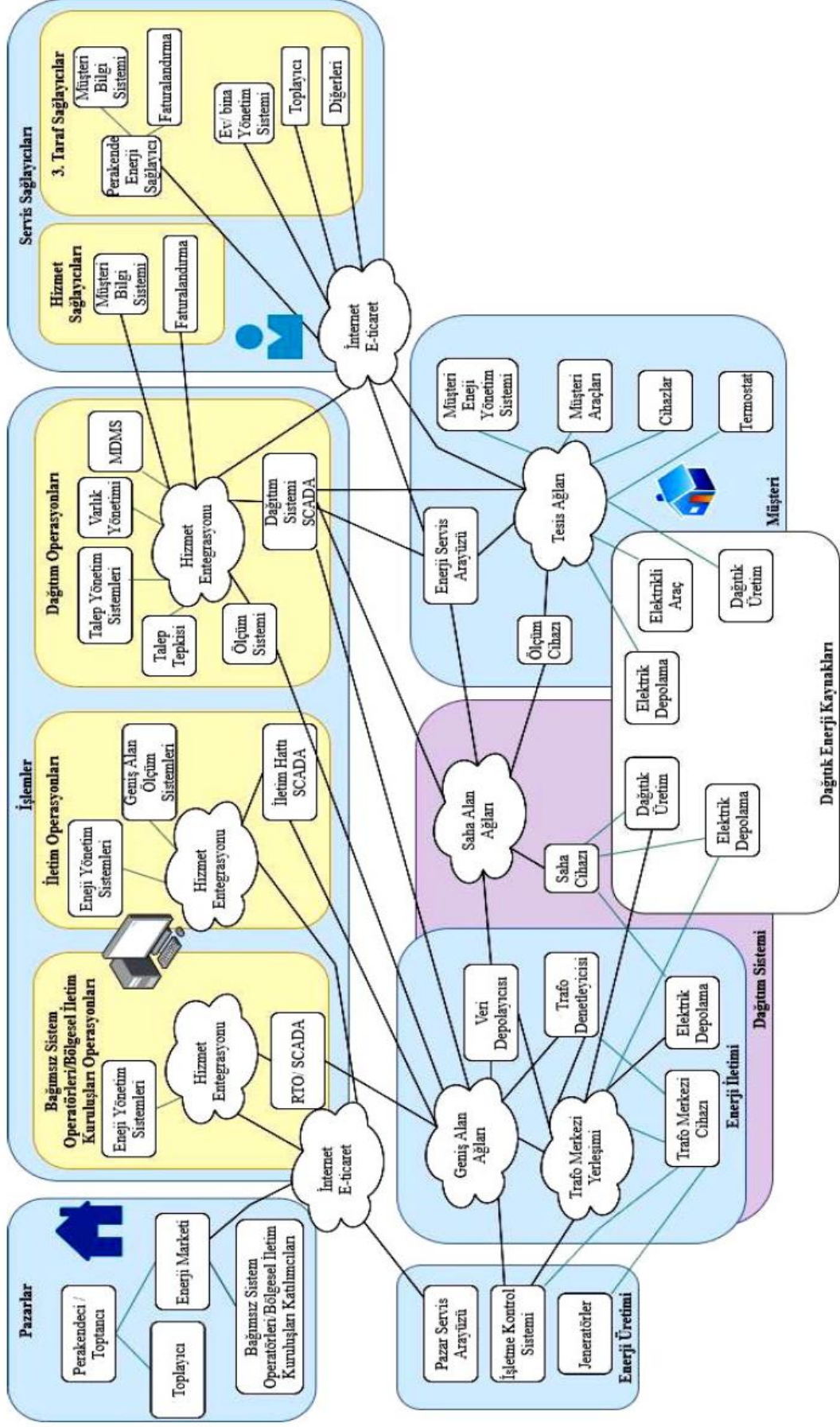
Şekil 1.12 : Akıllı Şebekeler ve geleneksel Şebekelerin karşılaştırılmış özellikleri.

1.4.1 Akıllı Şebekelerde haberleşme

Akıllı Şebekelerin en önemli avantajlarından olan haberleşmenin yaygın ve kolay olması kontrol edilebilirliği arttırmaktadır. Dağıtım güç sistemi operatörleri veya kullanıcı tarafından müdahale etmeyi sağlayan haberleşme sistemleri yapay zekâ ve ağ sistemlerini barındırmaktadır. Akıllı haberleşme sistemleri, Şebekede bulunan envanter ve uygulamalar arasındaki haberleşme bağlantısı ve veri aktarımının kontrolünü gerçekleştirir. Akıllı Şebekede kullanılan ağ sistemleri Şekil 1.13’te gösterilmiŐ olup genel olarak Őunlardır [43]:

- i. Enterprise Bus: Kontrol merkezlerini, pazarları ve üretim merkezlerini birbirine bağlayan kurumsal veri yoludur.
- ii. WAN: Coğrafi olarak uzak bölgeleri birbirine bağlan geniş ağ bağlantısıdır.
- iii. FAN: Kesici ve trafo gibi şebeke elemanlarını kontrol eden cihazları birbirine bağlayan saha ağ bağlantısıdır.
- iv. Premises network: Müşteri ağları ile servis sağlayıcılara ait ağların müşteri tarafını içeren tesis ağlarıdır.





Şekil 1.13 : Akıllı Şebeke veri ağları için mevcut sistemlerin bağlantıları [43].

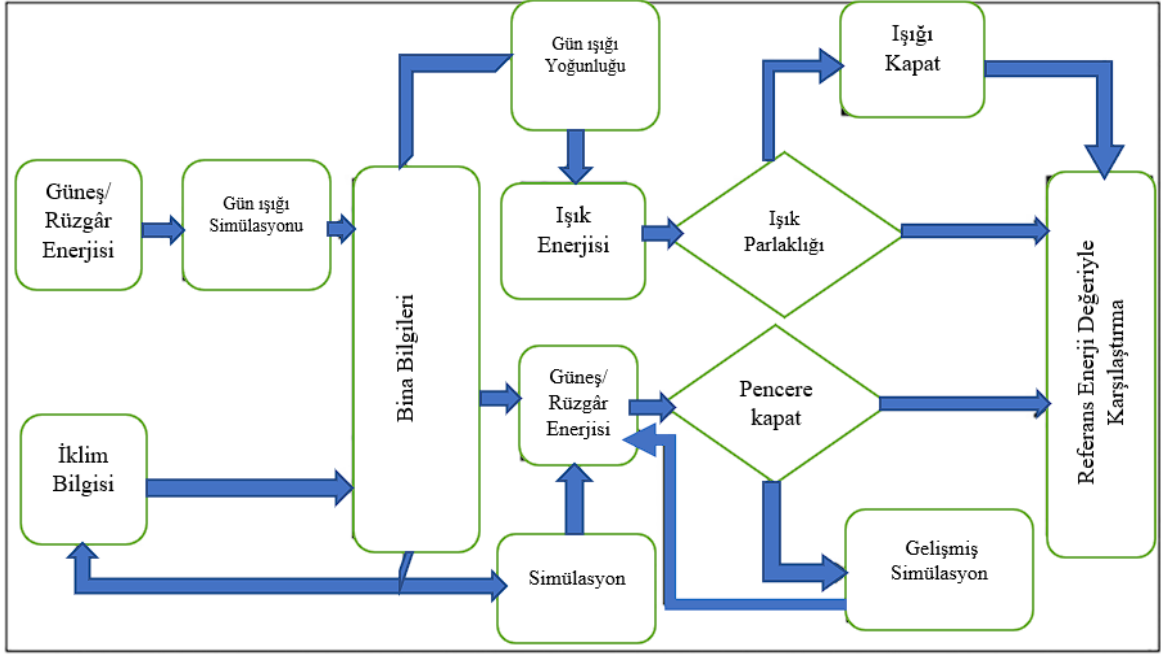
Akıllı şebekelerde meydana gelen çift yönlü ve esnek güç akışının kontrol edilebilmesi için gelişen teknolojiyle birlikte IoE sisteminin kullanılması gerekmektedir. IoE, enerji şebekesinde gerçek zamanlı kontrol ve veri işlemeyi daha hızlı ve güvenilir hale getirmektedir. Akıllı şebekelerde IoE'nin uygulanması nedeniyle 2018 yılında akıllı şebekelere yapılan yatırımların yaklaşık %10 oranında arttığı gözlemlenmektedir [23].

1.5 Bina Enerji Yönetim Sistemleri

Isıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma sistemleri gibi enerji ile ilgili bina hizmetlerinin kontrolü ve izlenmesini sağlayan entegre bilgisayarlı sistemler bina enerji yönetim sistemleri olarak tanımlanmaktadır [16]. Binalar karmaşık yapıları nedeniyle toplam enerji tüketimini etkileyen birçok faktöre sahiptir. Çeşitli araştırmalar, dünyadaki toplam enerjinin yaklaşık üçte birinin binalar tarafından tüketildiğini [3] ve bu enerjinin %60'ının ısıtma ve soğutma amacıyla tüketildiğini göstermektedir.

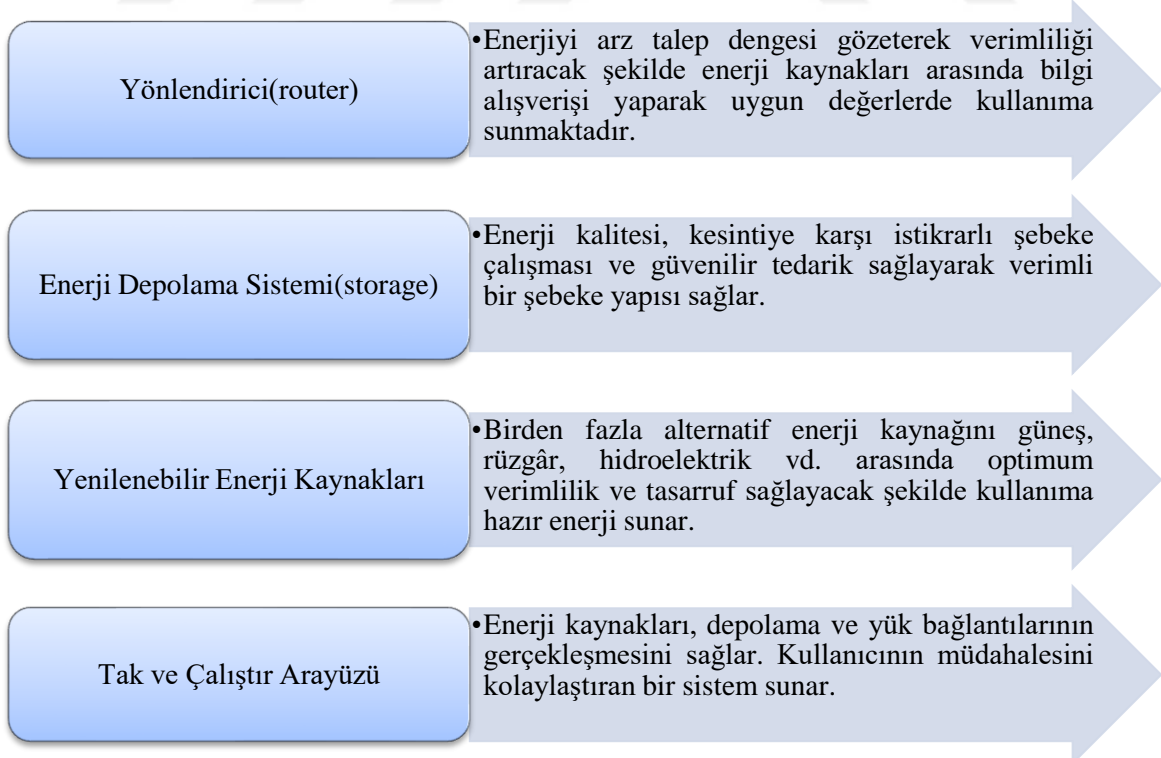
Son birkaç yılda, geleneksel güç şebekeleri giderek daha akıllı ve güvenilir bir çalışma moduna doğru ilerlemektedir. Yeni akıllı şebeke kavramı, mahalle ve geniş alan ağlarındaki gelişmiş ölçüm altyapıları aracılığıyla yardımcı programlar ve tüketiciler arasında iki yönlü bir iletişim sağlamaktadır. Bu yeni çalışma şekli, güç şebekesi genelinde dağıtık üretim ve enerji depolama sistemlerinin izlenmesini ve kontrolünü de desteklemektedir [44]. Gerçek enerji verilerinin tüketimini izleme ve enerji verimliliğini artırmak için uygun yöntemler ve stratejiler oluşturmak üzere uygun bir IoE tabanlı ağ sistemi kullanılabilir. IoE teknolojisi kullanılarak bir enerji yönetim sistemi kurmak, enerji talebi ve arzı ile ilgili yeterli bilgi hazırlayarak enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olacaktır [45].

BEYS, binanın fiziksel özelliklerini, geometrik bilgilerini ve bir binanın enerji verimliliği için kullanılacak bileşen bilgilerini depolamayı içerir. Bu tasarımla, maliyet ve enerji tüketimi fayda analizi dikkate alınarak enerji tasarrufu ve enerji verimliliği gözlemlenebilir. Şekil 1.14'te gösterildiği gibi IoE, çeşitli kaynak ve yük türleri arasında enerji alışverişine izin verir. Bu mimaride hem enerjinin hem de bilginin eşler arası aktarımı gerçekleşir [45].



Şekil 1.14 : IoE tabanlı enerji tasarruflu binaların tasarımı.

IoE tabanlı bina sisteminin temel işlevi, bina sakinlerinin gereksinimlerini ve işlerini yürütme biçimlerini benimsemekle birlikte enerji verimliliğini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu artırmaktır [46]. Bina enerji yönetim sistemlerinde kullanımı artan IoE tasarımında kullanılan temel teknolojiler:

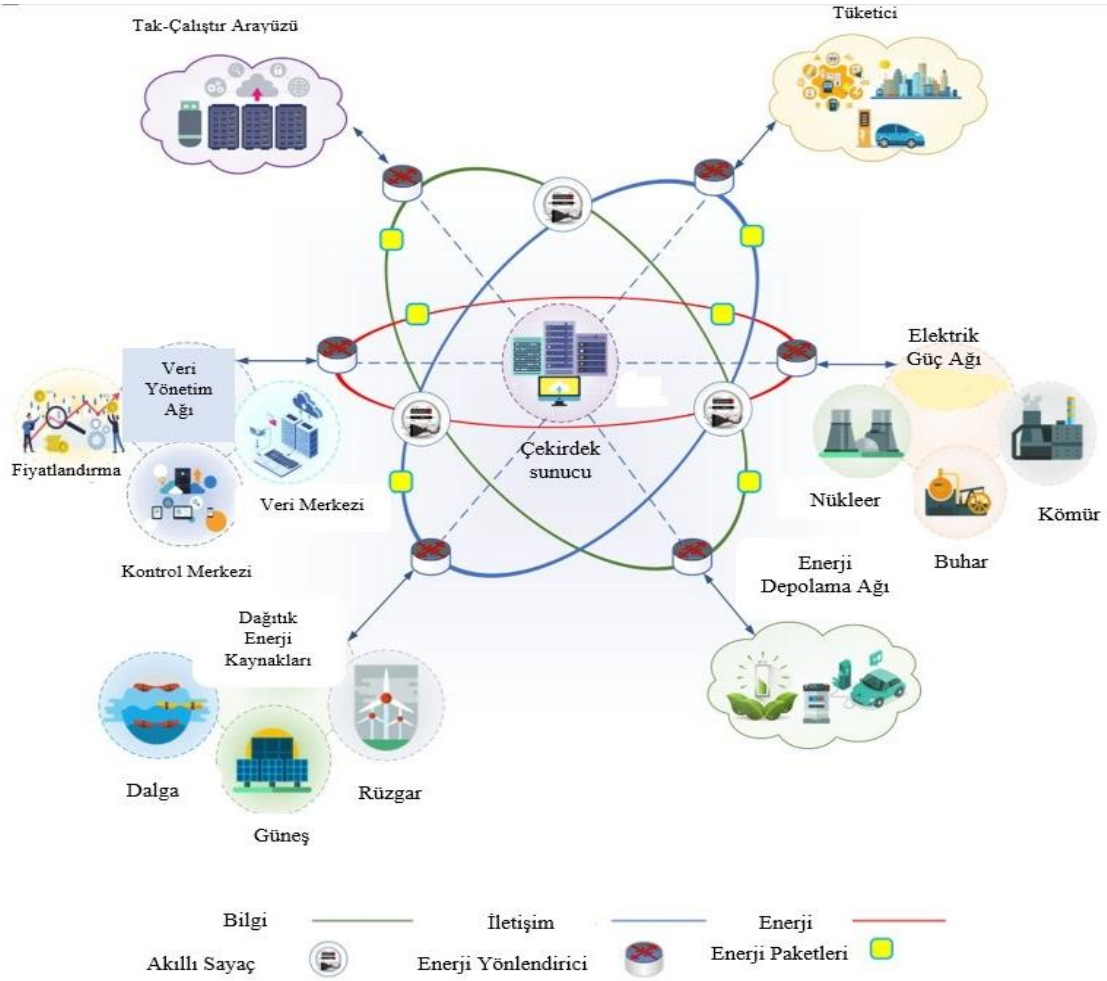


Şekil 1.15 : Bina enerji yönetiminde IOE teknolojileri.

Binaların enerji kullanımını azaltmak, daha düşük enerji faturaları, pik yüklerde azalma ve sera gazı emisyonlarında azalma gibi birçok faydaya yol açmaktadır [47]. Yanlış kontrol edilen ve kötü yönetilen cihazlar, binaların enerji ekonomisinde boşa harcanan enerjiyi büyük ölçüde artırabilir. IoE, binalarda, enerji çıkışını stabilize etmek için yüksek kapasiteli enerji depolama cihazlarına kolayca bağlanan enerji tasarrufu kaynaklarının teşvik edilmesine yardımcı olur. Ayrıca, yüksek verimli çalışma için aynı anda sahada enerji üretebilir, depolayabilir ve tüketebilir.

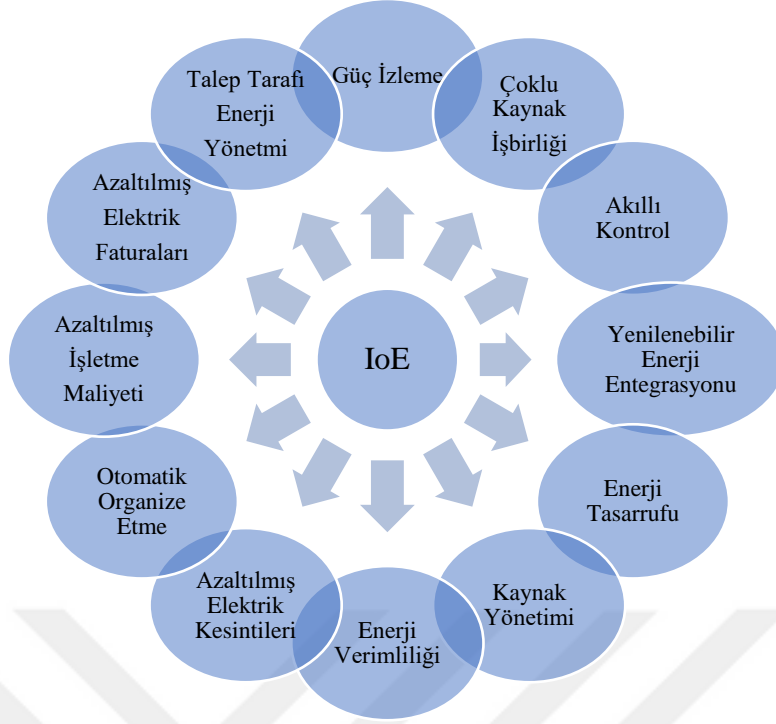
1.6 Enerjinin İnterneti (IoE)

Enerji şebekelerinin yapısı yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar ve akıllı şebeke teknolojisinin gelişmesiyle, merkezi olmayan dağıtık sisteme doğru kaymaya başlamıştır. IoE, farklı enerji biçimlerini entegre ederek enerji sektöründe popüler bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. IoE, dağıtık bir akıllı enerji altyapısı geliştirmek için sensörler ve iletişim teknolojileri aracılığıyla farklı uç cihazlardan enerji bilgilerini toplamak, düzenlemek, optimize etmek ve sırasıyla tüketiciler ve tedarikçiler tarafından talep ve arzı tahmin etmek için interneti kullanır [2]. IoE'nin temel işlevleri şöyle özetlenmiştir: sanal depolama, dinamik fiyatlandırma, akıllı ölçüm altyapısı, yük ve fiyat tahmini gibi birçok alanda etkindir. IoE'nin, Şekil 1.16'da gösterildiği gibi, güç üretim, depolama, veri yönetimi ve dağıtık üretim gibi bir "enerji ağı" olarak tanımlamak mümkündür [48].



Şekil 1.16 : IoE'nin temel yapısı.

IoE, toplanan enerji bilgilerini ağ katılımcıları arasında dağıtarak ve yöneterek güvenilirliği ve enerji verimliliğini artırmak için internet yardımıyla çeşitli elektrik hizmetlerini koordine etmeyi kapsamaktadır. Akıllı şebekelerin esnek ve verimli olabilmesini sağlayan kullanıcı erişimini destekleyen bir yapı olarak enerjinin interneti, günümüz teknolojisinin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 1.17'de de gösterildiği gibi IoE, güç izleme, talep tarafı enerji yönetimi, yenilenebilir enerji entegrasyonu, enerji tasarrufu, kesintilerin azaltılması, kendi kendine yönetim ve kaynak yönetimi IoE'nin önemli yararlarıdır. Ayrıca, IoE teknolojisi ile verilerin gerçek zamanlı izlenmesi ve analizi, daha az arıza süresi, bakım ve işletme maliyeti ortaya çıkarır. IoE, yenilenebilir kaynaklar, akıllı şebekeler, mikro şebekeler, EA, faturalama merkezi ve kontrol merkezinin iş birliğini kolaylaştırır ve bunların tümü enerji verimliliğini ve esnekliğini artırır. IoE, sensörler, internet, akıllı şebeke, yenilenebilir enerji kaynakları, akıllı ölçüm sistemi ve otomatik teknolojileri entegre ederek elektriğin üretimi, dağıtımı ve iletiminde bir farklılık getirmiştir [2].



Şekil 1.17 : IoE'nin şebekesindeki fonksiyonları.

IoE, güç sistemi, bilgi sistemi ve akıllı yönetim sistemlerinin bir arada bulunduğu bir yapı olarak işlemektedir. IoE, enerji israfını en aza indirebilecek enerji hizmetleri için kendi kendini yöneten akıllı bir güç altyapısı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, gaz şebekesi ve elektrik şebekelerinin ara bağlantıları, enerji ekosisteminde gözlemlenebilir ve gelişmiş internet tabanlı altyapı kullanılarak izlenebilir, ölçülebilir ve kontrol edilebilir. Bilgiler güvenli ve hızlı bir şekilde ilgili merkezlerle paylaşılabilir ve gerekli işlemler otomatik olarak gerçekleştirilebilir. İnternet altyapısını kullanmak, tüm enerji ekosisteminin görünürlüğünü ve kontrol edilebilirliğini artırır [17].

IoE, akıllı sayaçlar, güneş panelleri, rüzgar türbinleri, EA, akıllı evler, arasında ve prosumerler (güç üretebilen tüketiciler) arasında eşler arası (P2P) enerji akışı değişimi ile gerçek zamanlı bir işbirliği bağı kurabilir. Güç üretebilen tüketiciler, bunları gerekli tüketim için kullanır ve ekstra gücü yakındaki birbirine bağlı elektrik şebekesine aktarabilir [49]. IoE, prosumerlerin fazla enerjilerini satarak veya enerji taleplerini azaltarak elektrik piyasasında yer almalarını sağlar. P2P, pik yük talebini azaltma, genel operasyonel ve yatırım maliyetlerini düşürme, rezerv kapasitesi gereksinimlerini azaltma, enerji verimliliği ve güç sistemi güvenilirliğini artırma gibi birçok potansiyel faydası vardır [48].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal koşullardan etkilenmeleri sonucu güç sisteminin işleyişindeki belirsizlik, şebekenin güvenliğini tehdit edebilecektir. Sistem operatörü, IoE alt

yapısıyla sistemin daha iyi görünürlüğünü ve izlenmesini sağlayan anlık veri tabanlarına erişebilir ve otomatik olarak yönetilebilir. Örneğin, operatör dağıtım seviyesindeki belirli bir besleyicideki tüketimi azaltmaya karar verirse, hedeflenen bölgesel dağıtım merkezine karşılık gelen bir sinyal gönderilir. Bu merkezden de o besleyicideki tüm tüketicilere benzer bir sinyal gönderilebilir. Tüketicuyu tüketimini azaltmak için bilgilendiren IoE tabanlı arayüzler aracılığıyla gerekli işlemler yapılabilir. Ek olarak, enerji tüketimini azaltmak için önceden tanımlanmış stratejiler, bazı yükleri otomatik olarak kapatmak için kullanıcı tarafından tanımlanabilir [17].



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir enerji şebekesinin güvenilirliğini ve verimliliğini arttırmak için enerji değerlerini ve sahadan gelen verileri yönetmek zorunludur. Ayrıca arz ve talep arasında denge mevcut kaynaklar kullanılarak sağlanmaya çalışılmalıdır. IoE'nin çift yönlü enerji ve veri akış sistemleri ile tüm enerji üreticileri, tüketiciler ve cihazlar haberleşme protokolleri ile bağlantılıdır. Birbirine bağlı olan ve veri iletiminin gerçek zamanlı gerçekleştiği sistemde enerji yönetimi verimli bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Bu bölümde kurulu bir enerji şebekesinin SCADA sistemlerine entegrasyonu süreci ve bu süreçte kullanılan materyallere ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca SCADA sistemine aktarılan şebekenin kontrol ve izleme sürecinde elde edilen verilere örnek verilerek sistemin sağladığı kolaylıklara değinilmiştir.

İncelenen tesisin enerji şebekesi indirici merkezden çekilen fider hattından sağlanan enerjinin dağıtım binasında modüler hücreler aracılığı ile ihtiyacı giderecek şekilde tesisin farklı bölgelerine Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi enerji dağıtımının yapılması sağlanmıştır.



Şekil 2.1 : Enerji dağıtım merkezi.

2.1 Hava Yalıtımlı Metal Mahfazalı Modüler Hücreler

Modüler hücreler, 36 kV'a kadar olan orta gerilim enerji şebekelerinde dağıtım sistemlerinde kullanılmak üzere IEC 62271-200 standartlarına göre tasarlanmış anahtarlama ve kontrol sistemleridir. En önemli avantajlarından biri de uzaktan kumanda ve kontrol edilebilir yapıya sahip olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı enerji dağıtım merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de modüler hücrelerin genel yapısı ve bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Hava yalıtımlı metal mahfazalı hücre [50].

2.1.1 Ana bara bölümü

Hücrenin üst kısmında bulunan ve enerji bağlantılarının yapıldığı genellikle bakır baraların bulunduğu bölümdür.

2.1.2 Alçak gerilim(ag) bölümü

Hücrenin kontrol ve kumanda işlemlerinin yapılabildiği ve enerji değerlerinin ölçüm ekranlarının bulunduğu bölümdür. Hücrelerin kullanım özelliklerine göre alçak gerilim bölümünde koruma röleleri, ölçü aletleri, sayaçlar, yardımcı röleler gibi kontrol ve kumanda elemanları bulunmaktadır.

2.1.3 Çalışma sistemleri bölümü

Yük ayırıcı mekanizmaları ve topraklamaya ait çalıştırma mekanizmalarının bulunduğu bölümdür. Ancak kesicili hücrelerde çalışma mekanizması genellikle kesici üzerinde yer alır.

Çalışma mekanizmalarının önünde bulunan kumanda(kontrol) ve izleme paneli üzerindeki tek hat şemasına uygun olarak; mimik diyagram, yük ve topraklama ayırıcılarına ait konum göstergeleri, ayırıcı ve topraklama ayırıcısı için kumanda kolu yuvaları, işaretler, yük ayırıcı açma-kapama butonları, gerilim göstergesi ve faz sırası kontrol prizi gibi önemli bilgiler bulunmaktadır.

2.1.4 Kesici çalışma sistemleri

Kesici çalışma mekanizması, açma-kapama-açma işlevlerini sağlayan, uzaktan kumanda sistemine uygun, manuel veya otomatik(motorlu) kurulabilen, bir yay düzeni içinde biriktirilmiş enerjiyle çalışır. Kapama yayı elektrik motoru ile, açma yayı ise kesici kapama komutu aldığı anda otomatik olarak kurulur.

2.1.5 Bağlantı bölümü

Şebekeden hücreye giren ve çıkan orta gerilim iletkenlerinin hücre ile bağlantılarının yapıldığı kısımdır. Bu bölümde herhangi bir çalışma yapılabilmesi için iletkenlerin gerilimsiz hale getirilmesi ve topraklanması gerekmektedir. Genellikle bağlantı bölümünde orta gerilim sigortaları, akım-gerilim ölçü trafoları ve topraklama ayırıcıları bulunur.

2.2 Şebeke Enerji Analizörü

Enerjinin kaliteli ve kesintisiz olarak dağıtılması için geliştirilen çeşitli cihazlardan biri olan şebeke analizörü, enerji değerlerinin sürekli izlenebilmesine ve istendiğinde geriye dönük kayıt altında tutulmasına olanak sağlayan bir devre elemanıdır. Şekil 2.3'te tesiste kullanılan kesicili giriş-çıkış hücresi ve üzerindeki enerji analizörü görünmektedir. Kesici hücresi enerjili olduğundan enerji analizörü aracılığıyla sisteme verilen birçok enerji değeri okunabilmektedir.



Şekil 2.3 : Enerjili kesici giriş-çıkış hücresi ve enerji analizörü.

Tesiste kullanılan Entes enerji analizörü, akım değeri, faz açıları, faz gerilimini, aktif-reaktif-görünür güç değerleri, güç faktörü(CosQ), ortalama ve maksimum güçler, aktif güç(kWh), şebeke frekansı(Hz.) gibi bilinmesi gereken tüm elektriksel parametreler ölçülerek ekrana yansıtılır. Ayrıca bu değerler belleğe kaydedilerek istenildiğinde erişim sağlanabilir. Enerji analizörlerinin şebekeye en büyük katkısı da haberleşme protokolleri kapsamında bilgisayar veya cep telefonları ile uzaktan izlenebilir ve kontrol edilebilir olmasıdır. Böylece elektrik hattındaki olumsuzluklar anında tespit edilebildiği için ilgili birimlerce bu arızalara en kısa zamanda müdahale edebilme imkanı sunar [51].

2.3 Koruma Röleleri

Enerji şebekelerinde meydana gelebilecek olumsuzluklara karşı sistemin korunması büyük bir öneme sahiptir. Aşırı akım, gerilim ve frekans gibi temel enerji parametrelerinde meydana gelebilecek olumsuz değer durumlarına karşı sistemdeki cihazların korunması ve enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi için koruma elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2.4'te tesiste kullanılan koruma elamanının bulunduğu kesicili hücre görünmektedir.



Şekil 2.4 : Enerjili kesici giriş-çıkış hücresi ve koruma rölesi.

Tesiste kullanılan Schneider koruma rölesi aşırı akımdan gelişmiş koruma opsiyonlarına, ark koruma ve IEC 61850 uyumlu ethernet ve fiber haberleşme opsiyonlarına sahiptir. Tek bir cihazda besleyici, motor ve trafo koruma işlevleri sunan Easergy P3, aşırı akım ve ark parlaması koruması, en yeni bağlantı özellikleri gibi birçok ihtiyacın karşılanmasına olanak sağlamaktadır [52]. Şekil 2.4'te koruma rölesinin arka bağlantı görünümünde data kablolarının bağlandığı görülmektedir. Data kabloları aracılığıyla internet alt yapısına bağlanarak uzaktan okuma ve müdahale(açma-kapama-iyileştirme) yapılabilmektedir.

2.4 Ölçüm ve Güç Kalite Analizörü

Tesiste kullanılan akım, gerilim ve güç değerlerinin sürekli olarak ölçülmesi, sistemin sürekliliğini ve verimliliğini arttırmaya yardımcı olmaktadır. Şekil 2.5'te akım-gerilim ölçü hücresi verilmiştir. Hücre üzerinde görülen sayaç standart 3 fazlı sayaç olarak sistemin harcadığı enerjiyi kWh olarak hesaplayıp faturalandırma işlemlerinde kullanılmaktadır.



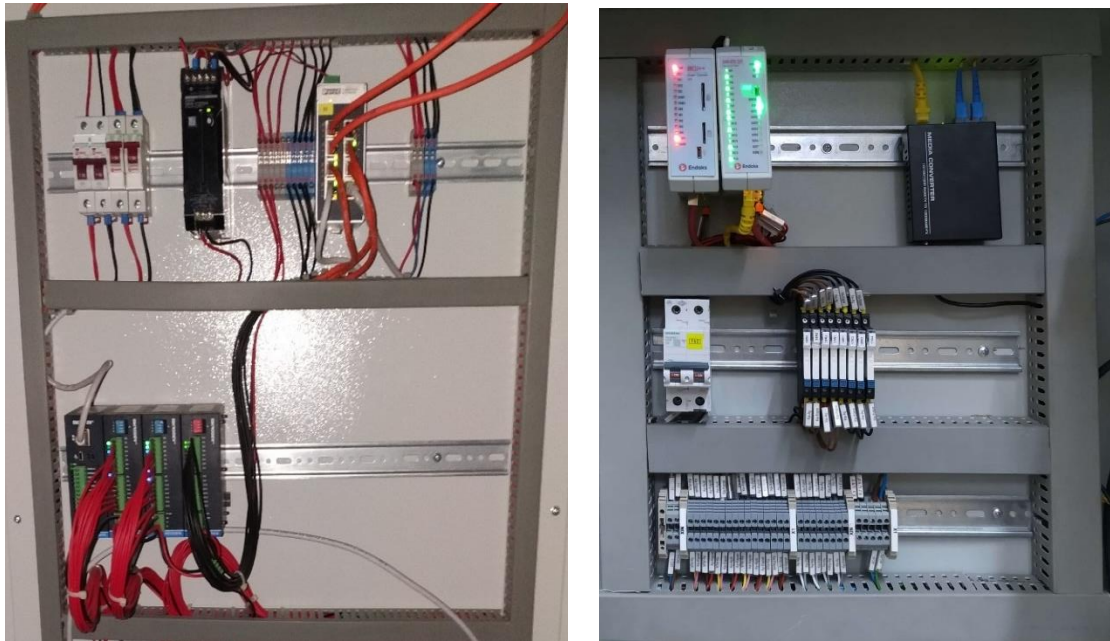
Şekil 2.5 : Akım-gerilim ölçü hücresi ve güç analizörü.

Güç analizörleri ile sistemden çekilen aktif, reaktif ve görünür güç değerlerinin ölçümü ve okuması yapılmaktadır. Okunan değerler Şekil 2.5’te de görüldüğü gibi data bağlantı hattı ile uzak sunuculara aktarılabilmektedir. Elde edilen verilere göre kompanzasyon işlemleri ve gerekli koruma işlemleri uzaktan veya SCADA aracılığı ile otomatik olarak yapılabilmektedir.

2.5 SCADA Panosu

Elektrik, su, imalat ve ulaşım gibi birçok alanda SCADA sistemleri genel olarak süreç işlemlerinin kontrol ve izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tesiste kurulan SCADA sistemi elektrik şebekesinde gerçek zamanlı veri toplama-kaydetme, analiz ve sistemi uzaktan kontrol etme olanaklarını sunmaktadır. Sisteme bağlı olan cihazların anlık olarak sahip oldukları değerler izlenebilmekte ve olumsuz sonuçlara karşı gerek operatör eliyle gerekse kullanılan programlar aracılığıyla otomatik olarak önlem alınabilmektedir. Oluşabilecek maddi veya insan hayatını tehlikeye atabilecek zararlara karşı alınan önlemler enerji verimliliğini arttırmaya yardımcı olmaktadır.

Enerji şebekesinde kullanılan enerji değerlerinin ölçümü ve kaydedilmesi Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te gösterilen enerji analizörleri, güç kalite analizörleri ve koruma röleleri aracılığıyla yapılabilmektedir. Ancak bu değerlerin uzaktan gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi ve gerektiğinde farklı mekanlarda duruma müdahale etme olanağının sağlanabilmesi için Şekil 2.6’da gösterilen SCADA panosuna bağlanması gerekmektedir.

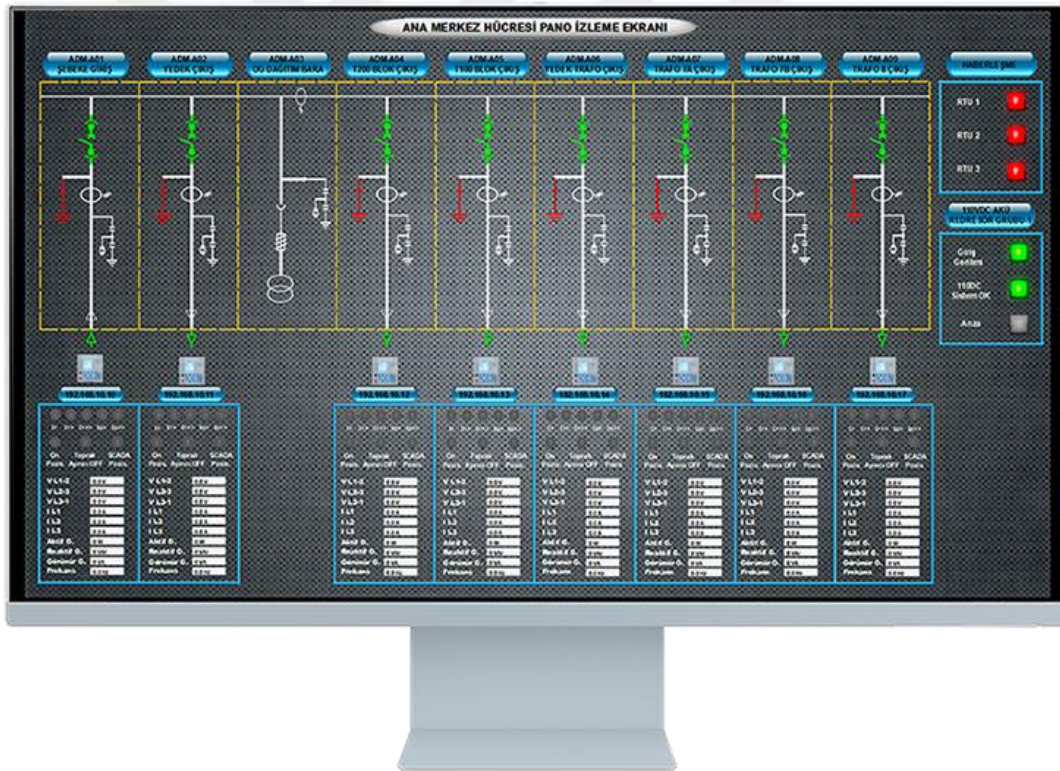


Şekil 2.6 : SCADA panosu.

SCADA panolarında ölçülen verilerin aktarımında data cihazları kullanılmakta ve ethernet kabloları aracılığıyla aktarılan akım, gerilim, güç, arıza bilgisi gibi veriler, sim kart destekli cihazlar ile uzak sunuculara aktarılabilir. Ayrıca kullanılan PLC (programlanabilir lojik kontrolör) cihazları ile uzaktan bağlanılabilen sisteme yük azaltma-arttırma, durdurma-başlatma gibi gerekli operasyonel komutlar, manuel veya program aracılığıyla otomatik olarak verilebilir. Böylece zaman ve mekan olarak bağımsız bir çalışma gerçekleştirilerek gereksiz kayıplardan kaçınılmış olmaktadır.

2.6 Sistem Arayüzü (kontrol ve izleme ekranı)

Şebekeden elde edilen verilerin operatörün izlemesi ve kontrol edebilmesi için HMI'ye ihtiyaç bulunmaktadır. İncelenen tesiste MİKRODEV firmasına ait SCADA sistemleri kullanılmaktadır. Firmaya ait ViewPLUS arayüzü Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

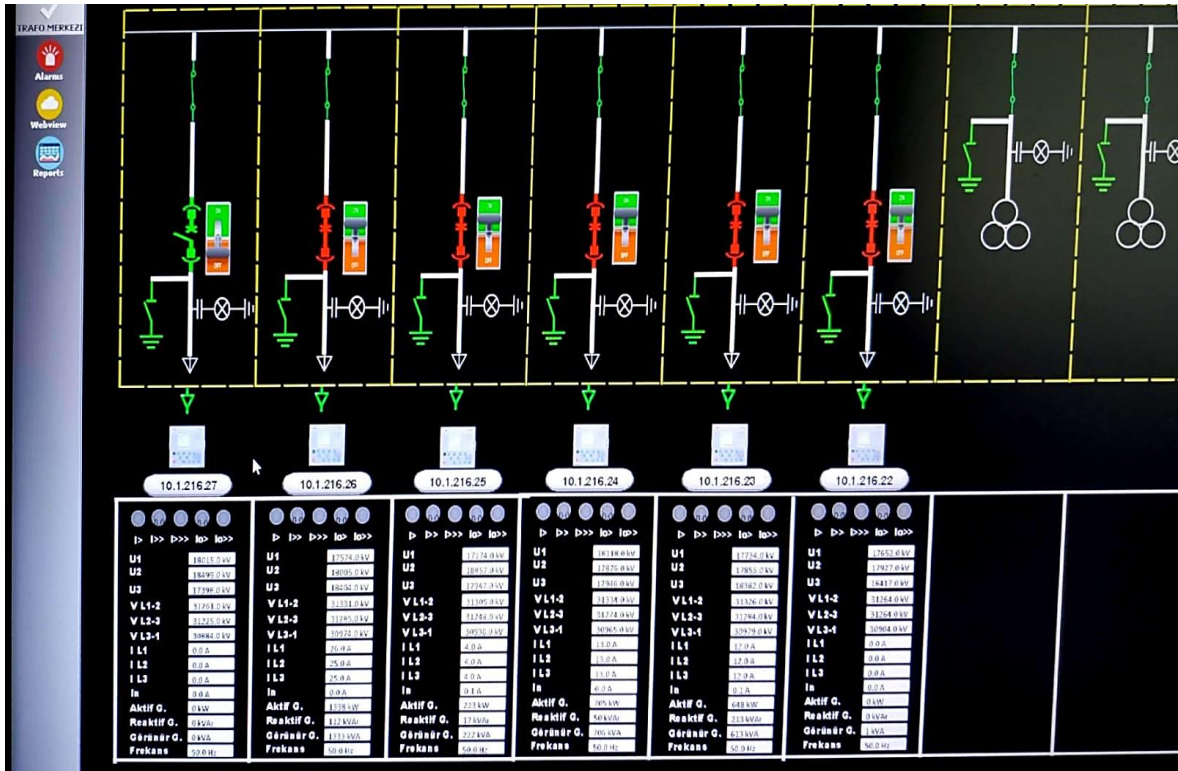


Şekil 2.7 : ViewPLUS arayüzü [53].

SCADA arayüzü ile şebekeden elde edilen verilerin izlenmesi ve operatör manevralarının gerçekleştirilmesinin yanında olumsuz durumlara karşı alarm çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca geçmişe dönük durum raporları alınarak analiz edilebilmektedir.

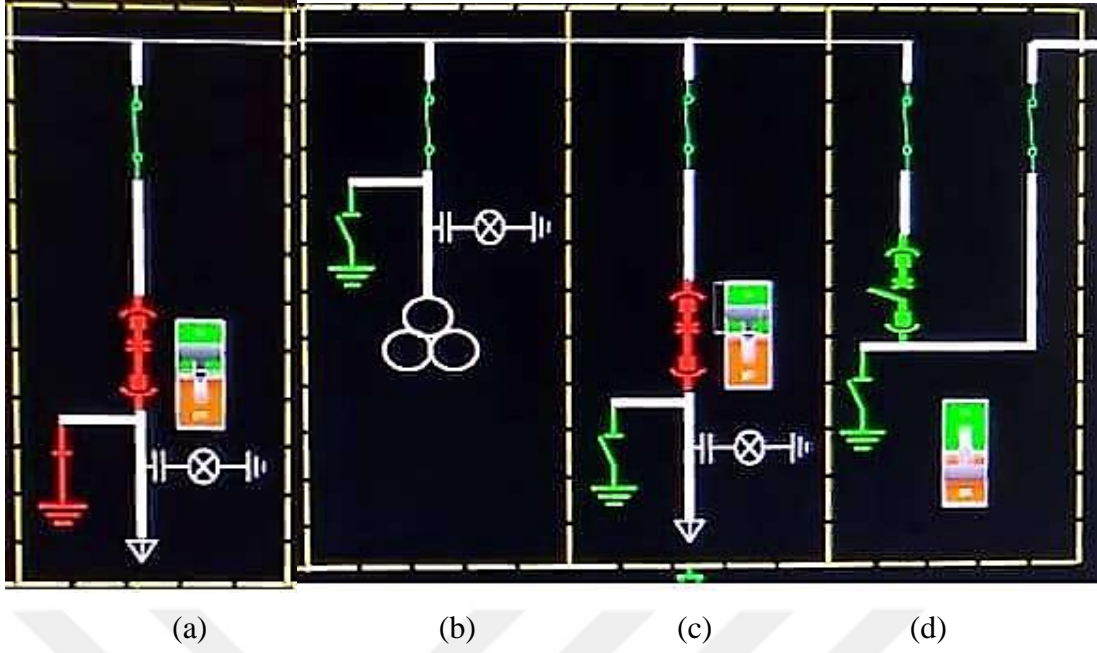
3. BULGULAR

Tesisin elektrik şebekesine kurulan SCADA sistemi aracılığıyla sahada bulunan cihazların izlenmesi ve kontrol edilmesi mekândan bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca gerekli programların kullanımıyla elde edilen veriler otomatik olarak karşılaştırılıp sistemin karar vermesi sağlanabilmektedir. Yukarıda Şekil 2.1’de verilen dağıtım merkezinin SCADA arayüz ekranı Şekil 3.1’de verilmiştir.



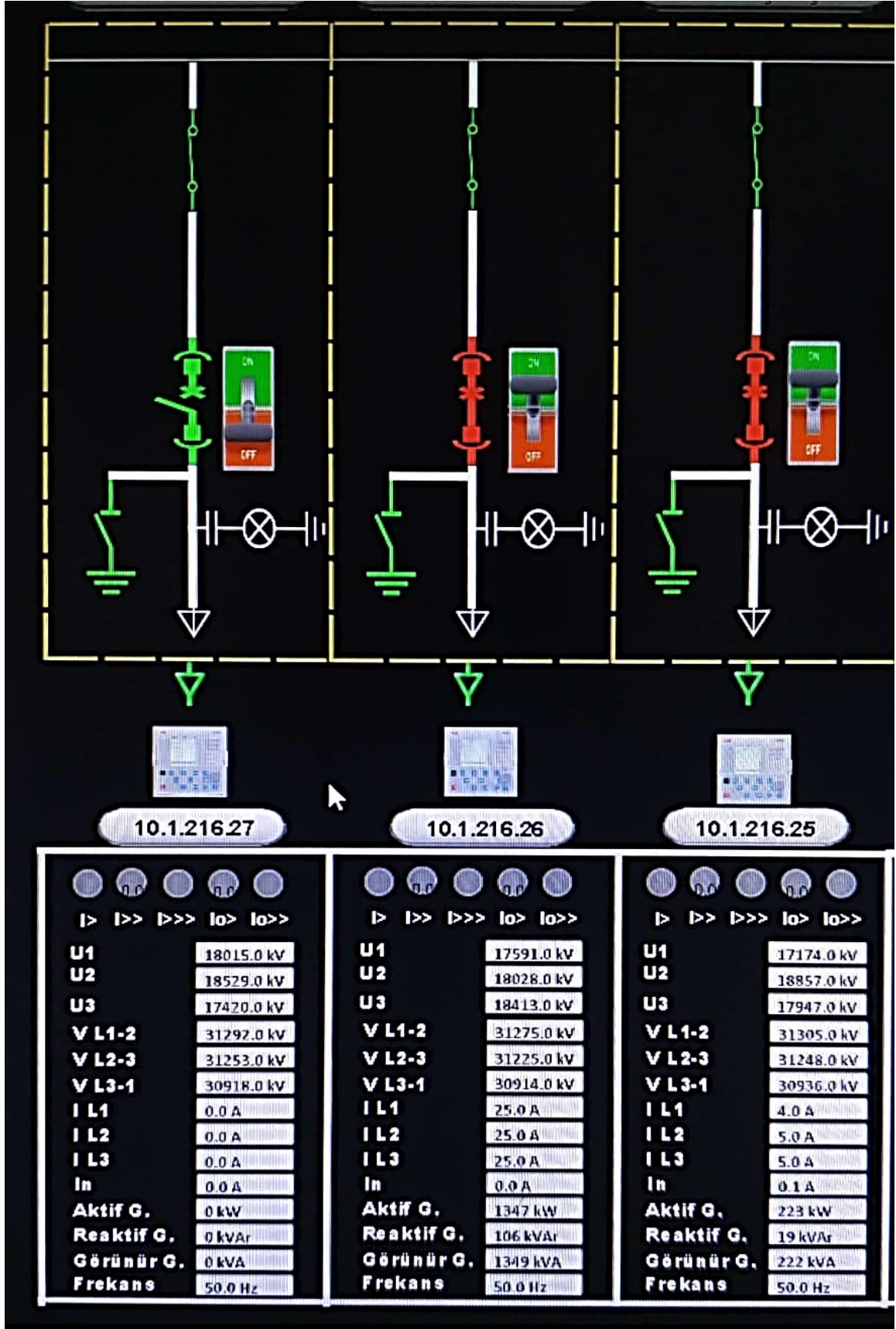
Şekil 3.1 : Dağıtım merkezi SCADA arayüzü.

SCADA arayüzünde sahada bulunan ayırıcı, kesici ve ölçü hücrelerinin şemaları ve analizörlerden elde edilen bilgiler yar almaktadır. Sahadaki hücrelerin aktif veya pasif durumda olduğunu da arayüzde görmek mümkündür. Şekil 3.2’de kesicili giriş-çıkış hücresi (a ve c), ölçü hücresi (b) ve kuplaj hücresi (d) çalışma durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Modüler hücrelerin çalışma durumları.

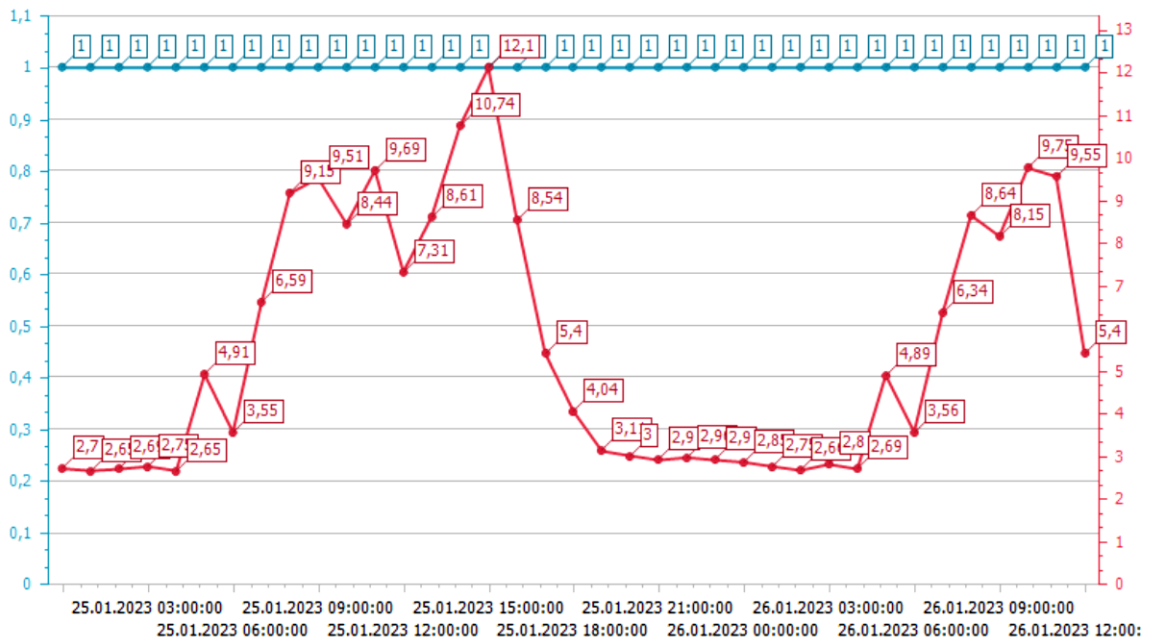
SCADA ekranında hücrelerin pozisyonlarının görselleştirilmiş olması operatörün daha hızlı hareket etmesini kolaylaştırmaktadır. (a) hücrelerine bakıldığında kesicinin konumunun aktif ancak hücrenin topraklandığı, (c) kesici hücresinin de iletimde ve topraklamanın kesik olduğunu okumak mümkündür. (b) ölçü hücresinin aktif olduğu ancak (d) kuplaj hücresinin iletimde olmadığını söylemek mümkündür.



Şekil 3.3 : Kesicili giriş-çıkış hücreleri (a) pasif, (b) aktif, (c) aktif.

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi (a) hücresi açık-pasif olduğundan girişinde var olan enerjiyi çıkışa yansıtmamaktadır. Arayüzde şekil üzerinde bulunan kola tıklandığında kesiciye açma-kapama manevraları yapılabilmektedir. Ayrıca tablolardaki değerler okunduğunda kesici hücresinin girişinde gerilim ölçüldüğü ancak çıkışında ölçülen akım ve güç değerlerinin sıfır olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Şekildeki (b) ve (c) hücrelerinin kapalı-aktif olduğu görsel olarak ve tablodaki değerlerden de anlaşılmaktadır. Tabloda bulunan değerler anlık olarak güncellenmekte ve olumsuz bir duruma karşı belirlenen eşik değerlere göre operasyonel işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

Enerji şebekesindeki değerlerin sürekli olarak izlenebilmesi ve gerektiğinde geçmişe dönük olarak raporlanabilmesi sistemin sürekliliği ve verimi açısından önemlidir. Olası bir aşırı yüklenme durumunda operatörün anında müdahale etmesini sağlayarak yük dengelenmesi sağlanabilir. Ayrıca sistemin geçmişe dönük kayıtlarına ulaşarak pik yük saatlerine erişilebilir ve gerekli müdahalede bulunularak sistemin verimliliği artırılmış olur. Şekil 3.4'te tesisteki bir trafo merkezine ait güç değerlerinin 24 saatlik verileri gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Trafo merkezine ait 24 saatlik güç değerleri.

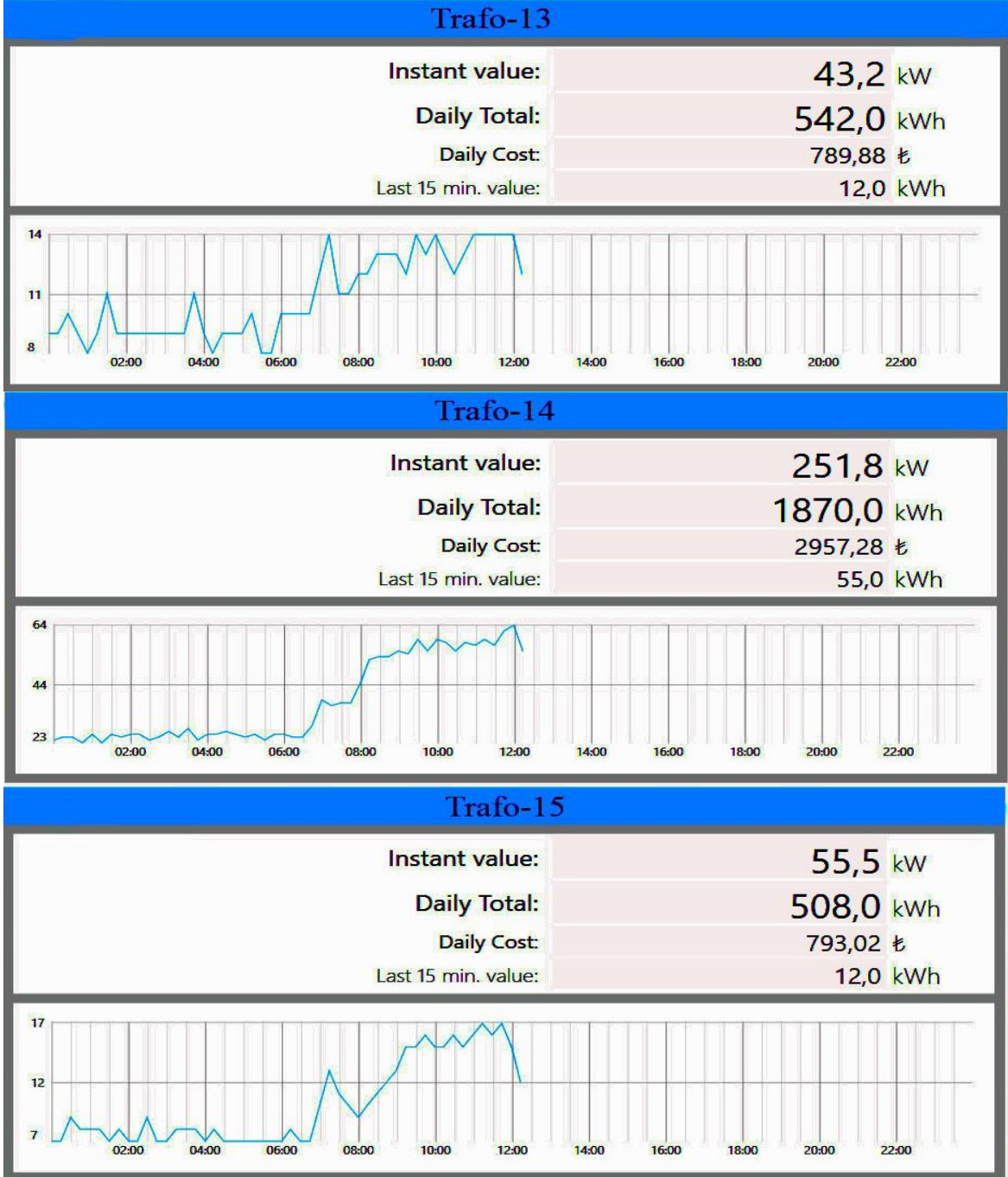
Trafo merkezine ait kayıtlı güç değerlerinin 1 saat aralıklarla harcanan güç değerlerine bakıldığında hangi saatlerde daha fazla enerji harcandığı görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.1'de olduğu gibi verilerin tablo halinde dökümü de alınabilmektedir.

Çizelge 3.1 : Trafo merkezine ait 24 saatlik güç değerleri

Date/Time	Week Day	Consumption	Measure1	Measure2	Work hours
		[kWh]			
25.01.2023 00:00	Wednesday	2,70			1
25.01.2023 01:00	Wednesday	2,65			1
25.01.2023 02:00	Wednesday	2,69			1
25.01.2023 03:00	Wednesday	2,75			1
25.01.2023 04:00	Wednesday	2,65			1
25.01.2023 05:00	Wednesday	4,91			1
25.01.2023 06:00	Wednesday	3,55			1
25.01.2023 07:00	Wednesday	6,59			1
25.01.2023 08:00	Wednesday	9,15			1
25.01.2023 09:00	Wednesday	9,51			1
25.01.2023 10:00	Wednesday	8,44			1
25.01.2023 11:00	Wednesday	9,69			1
25.01.2023 12:00	Wednesday	7,31			1
25.01.2023 13:00	Wednesday	8,61			1
25.01.2023 14:00	Wednesday	10,74			1
25.01.2023 15:00	Wednesday	12,10			1
25.01.2023 16:00	Wednesday	8,54			1
25.01.2023 17:00	Wednesday	5,40			1
25.01.2023 18:00	Wednesday	4,04			1
25.01.2023 19:00	Wednesday	3,11			1
25.01.2023 20:00	Wednesday	3,00			1
25.01.2023 21:00	Wednesday	2,90			1
25.01.2023 22:00	Wednesday	2,96			1
25.01.2023 23:00	Wednesday	2,90			1
Consumption Sum:		136,89	Work Sum:		24,00

Çizelgede hangi saatler arasında en fazla ne kadar güç harcadığı ve 24 saat boyunca toplam harcanan güç değeri (136 kWh) okunabilmektedir.

Şebekedeki trafo merkezlerine ait gün içerisindeki yük değerlerinin anlık olarak okunabilmesi ve faturaya etki eden fiyat bilgisinin elde edilmesi de gerekli durumlarda tasarruf tedbirleri almayı kolaylaştırmaktadır. Şekil 3.5'te bazı trafo merkezlerinin anlık bilgileri verilmiştir.



Şekil 3.5 : Trafo merkezlerine ait günlük ve anlık güç-harcama değerleri.

Şekil 3.5'te Trafo 13 için okunan anlık 43,2 kW ve gün içerisinde o ana kadar harcanan 542 kWh güç değerinin faturaya 789,88 TL olarak yansıtılacağı görünmektedir. Ayrıca grafik olarak gün içerisinde hangi saatlerde ne kadar güç harcandığına da erişilebilmektedir. Grafikte genellikle mesai saatleri içerisinde harcanan gücün daha fazla olduğu okunmaktadır. Trafonun nominal güç değerlerinin anlık çekilen güç değeri ile karşılaştırılma imkânı sağlanarak gereken tedbirlerin alınmasıyla sistemin verimliliği artırılmış olacaktır.

4. SONUÇ

Sürekli artan enerji ihtiyacının karşılanması için yeni enerji kaynaklarının kullanılmasıyla ortaya çıkabilecek çevresel sorunlardan dolayı çalışmalar daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının iklim ve çevre koşullarından olumsuz etkilenme doğasına sahip olması sebebiyle kaynak sayısının artırılmasının yanında kaynaklardan en verimli şekilde yararlanmayı sağlayacak enerji şebeke yapısının geliştirilmesi de önem arz etmektedir.

Sistemin verimliliğini artırmak, mevcut kaynaklar kullanılarak minimum kayıp ile kullanıcı konforundan ödün vermeden sistemin sürekliliğini ve güvenilirliğini maksimum seviyede sağlamak mümkündür. Sistemde yaşanabilecek olumsuzluklardan kaynaklanacak can ve mal kayıplarının önlenmesi ve arızaların en kısa sürede giderilerek sistemin enerjili olmasını sağlamak verimliliği arttırmaktadır. Sistemin sürekliliğini sağlayacak adımların tamamen merkezi bir yapı ile insan gücüne bağlı olarak atılması, iş gücü ihtiyacı ve zaman kaybını artırarak maddi kayıplara yol açmaktadır. SCADA sisteminin internet ağı ile çalışması istenilen zaman ve mekanda sistemin verimliliğini arttıracak manevralar yapmayı sağlayarak enerji verimliliğini arttırmaktadır.

SCADA sistemleri ile mevcut şebekeye ek olarak yenilenebilir enerji üretim santralleri bağlanarak gerektiğinde kendi ürettiğimiz enerji ile sistem beslenebilir. Kurulan yenilenebilir enerji santrallerindeki üretim miktarı ölçülerek gerektiğinde depo edilebilir veya talebi karşıladığı takdirde sisteme aktarılabilir. Bu durum satın alınan enerji miktarını azaltarak maliyeti olumlu yönde etkileyecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kumar, P., & Uppal, A.** (2021). A Framework of Internet of Energy for Coordinated Operation in Power Delivery. In P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (pp. 1-40). CRC Press.
- [2] **Miglani, A., Kumar, N., Chamola, V., & Zeadally, S.** (2020). Blockchain for Internet of Energy management: Review, solutions, and challenges. *Computer Communications*, 151, 395-418.
- [3] **Vu, T. L., Le, N. T., & Jang, Y. M.** (2018, October). An overview of Internet of Energy (IoE) based building energy management system. In *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (pp. 852-855). IEEE.
- [4] **Tiryaki, Y.B.** (2016). *Akıllı şebekeler altyapısına uygun bir orta gerilim trafo merkezinin tasarımı ve ekonomik analizi* (Tez No. 442605). [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [5] **Guo, H., Wang, F., James, G., Zhang, L., & Luo, J.** (2018). Graph theory based topology design and energy routing control of the energy internet. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(20), 4507-4514.
- [6] **Kabalci, E., & Kabalci Y.** (2019). *From Smart Grid to Internet of Energy*. Academic Press.
- [7] **Gaiceanu, M. & Arama, I.N.** (2020). IEC 61850 Based Protection Systems. In N.M. Tabatabaei, E. Kabalci & N. Bizon (Eds.), *Microgrid Architectures, Control and Protection Methods* (ss.697-719). Springer.
- [8] **Muhanji, S. O., Flint, A. E., & Farid, A. M.** (2019). *eIoT: The Development of the Energy Internet of Things in Energy Infrastructure* (p. 160). Springer Nature.
- [9] **Hannan, M. A., Faisal, M., Ker, P. J., Mun, L. H., Parvin, K., Mahlia, T. M. I., & Blaabjerg, F.** (2018). A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations. *Ieee Access*, 6, 38997-39014.
- [10] **Gunapriya, D., Sivakumar, R., Sabareeshwaran, K. & Sharmeela, C.** (2022). IoT and its Requirements for Renewable Energy Resources. In C. Sharmeela, P. Sanjeevikumar, P. Sivaraman & M. Joseph (Eds.), *IoT, Machine Learning and Blockchain Technologies for Renewable Energy and Modern Hybrid Power Systems* (ss.29-61). River Publishers.
- [11] **Auon, A., Ghandour, M., Ilinca, A. & Ibrahim, H.** (2021). Demand-side management. In E. Kabalci (Ed.), *Hybrid renewable energy systems and microgrids* (ss.463-491). Academic Press.
- [12] **Ahsan, L., Baig, M. J. A., & Iqbal, M. T.** (2022). Low-Cost, Open-Source, Emoncms-Based SCADA System for a Large Grid-Connected PV System. *Sensors*, 22(18), 6733.

- [13] **Kermani, M., Adelmanesh, B., Shirdare, E., Sima, C. A., Carni, D. L., & Martirano, L.** (2021). Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications. *Renewable Energy*, 171, 1115-1127.
- [14] **Mahmud, K., Town, G.E, Morsalin, S. & Hossain, M.J.** (2018). Integration of electric vehicles and management in the internet of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(3), 4179-4203,
- [15] **Zhang, R., Cheng, X., & Yang, L.** (2018). Flexible energy management protocol for cooperative EV-to-EV charging. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 172-184.
- [16] **Uppal, A. & Kumar, P.** (2021). Evaluation of Soft Computing Techniques and IEC61850 Protocols for the Development of the Internet of Energy Framework. In P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.41-70). CRC Press.
- [17] **Shahinzadeh, H., Moradi, J., Gharehpetian, G. B., Nafisi, H., & Abedi, M.** (2019, February). Internet of Energy (IoE) in smart power systems. In *2019 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI)* (pp. 627-636). IEEE.
- [18] **TAŞ.** (2018). Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi.
- [19] **Ghosh, A., Chakraborty, D., & Law, A.** (2018). Artificial intelligence in Internet of things. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 3(4), 208-218.
- [20] **Ma, L., Wang, Z., Zhu, T., & Lu, Z.** (2019). Evaluation model for economic operation of active distribution network orienting to Energy Internet. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14(3), 1151-1164.
- [21] **Mao, M., Mei, F., Jin, P., & Chang, L.** (2014, June). Application of IEC61850 in energy management system for microgrids. In *2014 IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)* (pp. 1-5). IEEE.
- [22] **Ali, I., Thomas, M. S., & Kumar, P.** (2015). Energy efficient reconfiguration for practical load combinations in distribution systems. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(11), 1051-1060.
- [23] **Baidya, S. & Nandi, C.** (2021). Solar Energy Generation and Internet of Energy (IoE): Challenges and Purview. In P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.175-193). Taylor & Francis.
- [24] **Doorsamy, W. & Paul, B.S.** (2021). The Role of Blockchain and IoT in Modern Energy Systems. İçinde P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.159-174). CRC Press.
- [25] **Rana, A.S., Wani S.A., Parveen, N. & Thomas, M.S.** (2021). Estimation of Fault Location Using Cyber Physical System in WAMCP. İçinde P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.139-158). CRC Press.
- [26] **Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R.** (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.

- [27] **Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkcı, C. B. & Öngen, A.** (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 230-240
- [28] **IRENA**, Renewable capacity highlights 11 April 2022. <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>
- [29] **Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi.** (2022, Ekim 30). *Türkiye elektrik üretim-iletim 2021 yılı istatistikleri*. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- [30] **Goswami, D.Y. & Kreith, F.** (Eds.). (2016). *Energy efficiency and renewable energy handbook* (2.baskı). CRC Press.
- [31] **Cintuglu, M. H., Ma, T., & Mohammed, O. A.** (2017). Protection of autonomous microgrids using agent-based distributed communication. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1), 351–360.
- [32] **Miglani, A., Kumar, N., Chamola, V., & Zeadally, S.** (2020). Blockchain for Internet of Energy management: Review, solutions, and challenge. *Computer Communications*, 151(1), 395-418,
- [33] **Eissa, M. M., & Awadalla, M. H.** (2019). Centralized protection scheme for smart grid integration with multiple renewable resources using Internet of Energy. *Global Transitions*, 1(4), 50–60.
- [34] **Aslan, N.** (2020). *Elektrikli araçlar için fırçasız doğru akım motor tasarımı* (Tez No. 632425) [Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [35] **Tuncay, R.N.** (2019, Ocak 17). *Akıllı mobilite çalıştayı*[sunum]. Okan Üniversitesi, İstanbul.
- [36] **Varol, G.** (2019). *Elektrikli araçlarda enerji depolama ve geri kazanımlı frenleme sistemlerinin incelenmesi* (Tez No. 546460) [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [37] **Singh, K. V., Bansal, H. O., & Singh, D.** (2019). A comprehensive review on hybrid electric vehicles: architectures and components. *Journal of Modern Transportation*, 27(2), 77-107.
- [38] **Singh, A., Sharma, S.R., Tripathi, V.K., Solanki, D.S & Jarial, R.K.** (2021). Internet of Energy for Plug-In Hybrid Electric Vehicle. In P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.71-106). CRC Press.
- [39] **Global EV Outlook 2017**; International Energy Agency: Paris, France, 2017; pp. 1–71.
- [40] **Rimal, B. P., Kong, C., Poudel, B., Wang, Y., & Shahi, P.** (2022). Smart Electric Vehicle Charging in the Era of Internet of Vehicles, Emerging Trends, and Open Issues. *Energies*, 15(5), 1908.
- [41] **Erdinç, O.** (2017, Ağustos 1-2). *Yenilenebilir enerji, akıllı şebekeler ve enerji verimliliği* [sunum]. Sürdürülebilir şehirler eğitimi, İstanbul.
- [42] **Yiğit, K.** (2019). *Gemiler için yeni bir elektrik enerjisi yönetim sisteminin akıllı şebeke altyapısına uygun olarak geliştirilmesi* (Tez No. 587442). [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

- [43] **Tozak, M.** (2020). *Bir akıllı şebeke sisteminin modellenmesi, simülasyonu ve deneysel olarak doğrulanması* (Tez No. 635318). [Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [44] **Zafar, U., Bayhan, S., & Sanfilippo, A.** (2020). Home energy management system concepts, configurations, and technologies for the smart grid. *IEEE access*, 8, 119271-119286.
- [45] **Kumari, M.** (2021). IoE for Energy Efficient Buildings: Challenges and Solutions. In P. Kumar, S. Nikolovski, & Z.Y. Dong (Eds.), *Internet of energy handbook* (ss.193-208). CRC Press.
- [46] **Mohammadian, H. D.** (2019). IoE—A solution for energy management challenges. In *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1455-1461). IEEE.
- [47] **Rathor, S. K., & Saxena, D.** (2020). Energy management system for smart grid: An overview and key issues. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4067-4109.
- [48] **Hussain, H. M., Narayanan, A., Nardelli, P. H., & Yang, Y.** (2020). What is Energy Internet? Concepts, technologies, and future directions. *Ieee Access*, 8, 183127-183145.
- [49] **Strielkowski, W., Streimikiene, D., Fomina, A., & Semenova, E.** (2019). Internet of energy (IoE) and highrenewables electricity system market design. *Energies*, 12 (24), 4790.
- [50] **Astor Enerji.** (2023, Mayıs 07). *Orta Gerilim Katalog*. <https://astoras.com.tr/katalog>
- [51] **Entes.** (2023, Mayıs 13). *Enerji Analizörleri*. <https://www.ent.es.com.tr/enerji-analizoru-sebeke-analizoru-nedir-enerji-analizoru-nerelerde-kullanilir/>
- [52] **Schneider Electric.** (2023, Mayıs 14). *Easergy koruma röleleri*. <https://www.se.com/tr/tr/product-range/64884-easergy-p3/#overview>
- [53] **Mikrodev.** (2023, Mayıs 18). *Operatör Kontrol ve İzleme Ekranı*. <https://www.mikrodev.com/tr/urun/viewplus-scada/>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Bilal OĞRAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2015 Dicle EDAŞ Arıza Onarım Bakım Mühendisi.
- 2016-2017 ASTOR Enerji Elektrik Elektronik Mühendisi.
- 2018- halen MEB Elektrik-Elektronik Teknolojisi Öğretmeni.