KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL İLİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

FURKAN YAZICI

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

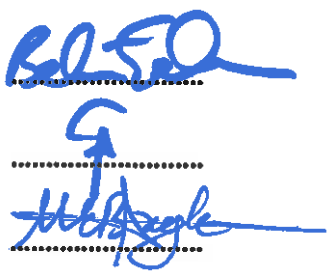
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL İLİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

FURKAN YAZICI

Prof. Dr. Bekir ÇAKIR
Danışman, **Kocaeli Üniversitesi**
Dr. Öğretim Üyesi Tarık ERFİDAN
Jüri Üyesi, **Kocaeli Üniversitesi**
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Engin BAŞOĞLU
Jüri Üyesi, **Gümüşhane Üniversitesi**



Tezin Savunulduğu Tarih: 07.03.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Gelişen teknolojilerle birlikte Dünya'da ve Avrupa'da mevcut şebekelerin yenilenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve buna bağlı olarak verimliliğin arttırılması hedefi ile elektrik şebekeleri alt yapı çalışmalarına hız verilmiş ve günümüz şartlarına uygun hale getirilme konusunda yatırımlar devam etmektedir. Elektromekanik yapıda olan elektrik şebekeleri, artan nüfus ve elektrik tüketimini karşılamak üzere, otomasyon ve haberleşme ağırlıklı olarak akıllı şebekelere dönüştürülmektedir. Dünya ve Türkiye'deki gelişmeleri yakından inceme fırsatı bulduğum Akıllı Şebekeler konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Bekir ÇAKIR'a ve tez yazım sürecinde desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Engin BAŞOĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca beni destekleyen eşim ve aileme sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Mart - 2019 Furkan YAZICI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GELENEKSEL ŞEBEKELER 2
1.1. Türkiye'de Elektrik Şebekesi Altyapı ve Piyasa Durumu 3
1.2. ENTSO-E 6
1.3. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları 7
1.3.1. Türkiye'de rüzgâr enerjisi 8
1.3.2. Türkiye'de güneş enerjisi 9
1.4. Ulusal Yenilenebilir Enerji Stratejisi 11
2. AKILLI ŞEBEKELER 12
2.1. Akıllı Şebeke Yapısı 15
2.1.1. Geniş alan izleme ve kontrol 16
2.1.2. Bilgi ve iletişim teknolojisi entegrasyonu 16
2.1.3. Yenilenebilir ve bağımsız güç kaynakları entegrasyonu 16
2.1.4. İletim sistemi geliştirme uygulaması 16
2.1.5. Dağıtım şebekesi yönetimi 17
2.1.6. Gelişmiş ölçüm altyapısı 17
2.1.7. Elektrikli araç şarj altyapısı 18
2.1.8. Son kullanıcı sistemi 18
2.2. Akıllı Şebekelerin Avantajları 18
2.2.1. Akıllı ve verimli 18
2.2.2. Talep karşılama 18
2.2.3. Küresel emisyonu azaltma 18
2.2.4. Onarım ve bakım 18
2.2.5. Güvenilirlik 19
2.2.6. Enerji üretimi ve dağıtımı 19
2.2.7. Tüketici odaklılık 19
2.2.8. Güvenlik 19
2.2.9. Kalite odaklılık 19
2.2.10. Teknoloji 19
2.2.11. Ekonomik kalkınma 19
2.3. Akıllı Şebeke İle İlgili Uluslararası Normlar 19
3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARI 21
3.1. Türkiye'de Akıllı Şebeke Uygulamaları ve Altyapı Çalışmaları 21
3.1.1. Eylem planı 22
3.2. Avrupa'da Akıllı Şebeke Çalışmaları ve Uygulamaları 23

3.2.1. Avrupa birliği ... 23
3.2.2. Fransa ... 26
3.2.3. Almanya ... 26
3.3. Amerika ... 30
3.3.1. Önemli 3 akıllı şebeke projesi ... 30
3.4. Japonya ... 32
3.4.1. Yokohama city ... 32
3.4.2. Toyota city ... 32
4. İSTANBUL İLİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ ... 33
4.1. Proje Bileşenleri ... 34
4.1.1. Enerji kaynakları ... 34
4.1.1.1. Güneş kaynağı ... 35
4.1.1.2. Rüzgâr kaynağı ... 35
4.1.2. Enerji santralleri ... 36
4.1.2.1. Güneş enerjisi santrali ... 36
4.1.2.2. Rüzgâr enerjisi santrali ... 37
4.1.2.3. Kojenerasyon santrali ... 38
4.1.3. Şebeke ... 38
4.1.4. Yük ... 38
4.2. Analiz Sonuçları ... 39
4.2.1. Güneş enerji santrali çalışma raporu ... 40
4.2.2. Rüzgâr enerji santrali çalışma raporu ... 40
4.2.3. Kojenerasyon santrali çalışma raporu ... 41
4.2.4. Genel çalışma raporu ... 42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ... 48
KAYNAKLAR ... 50
KİSİSEL YAYIN VE ESERLER ... 52
ÖZGEÇMİŞ ... 53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Geleneksel şebeke yapısı 2
Şekil 1.2. Dünya Bankası elektrik iletim-dağıtım kayıp haritası 3
Şekil 1.3. Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişim grafiği 3
Şekil 1.4. Aylık ve yıllık toplam elektrik tüketim grafiği 4
Şekil 1.5. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı 6
Şekil 1.6. Entso-E bağlantı haritası 7
Şekil 1.7. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi 8
Şekil 1.8. Yıllara göre Türkiye'de RES artışı 9
Şekil 1.9. Türkiye'de RES'lerin bölgelere göre dağılımı 9
Şekil 1.10. Türkiye Güneş enerji potansiyel atlası 10
Şekil 1.11. Türkiye global radyasyon değerlerii 10
Şekil 1.12. Günlük Elektrik Üretim Kaynakları Kullanım Dağılımı 11
Şekil 2.2. Akıllı şebeke mimari yapısı 13
Şekil 2.3. Geleneksel şebeke ve akıllı şebeke mimari yapısı 14
Şekil 2.4. Akıllı şebeke bileşenleri 15
Şekil 3.1. Avrupa akıllı şebeke uygulama haritası 24
Şekil 3.2. Avrupa Birliği akıllı şebeke proje sayısı 24
Şekil 3.3. Avrupa Birliği akıllı şebeke proje bütçesi 25
Şekil 3.4 Avrupa Birliği akıllı şebeke proje bütçe kaynak dağılımı 25
Şekil 3.5. 2016 Yılı Almanya elektrik üretim kaynak dağılımı 27
Şekil 3.6 Modellstadt Mannheim (MOMA) projesi 28
Şekil 3.7 MOMA karakterisitik şeması 29
Şekil 3.8. MOMA Tekhat Şeması 29
Şekil 3.9. Amerika akıllı şebeke projeleri 30
Şekil 3.10. EPB Sistem Yapısı 31
Şekil 3.11. EPB Arıza Onarım Grafiği 31
Şekil 4.1. Benzetimi yapılan akıllı şebeke bağlantı şeması 33
Şekil 4.2. Homer Pro Enerji Kaynak Girdileri 34
Şekil 4.3. Homer Pro Santral Girdileri 36
Şekil 4.4. Rüzgar türbini Hız-Güç karakteristiği 37
Şekil 4.5. Yıllık yük karakteristiği 38
Şekil 4.6. Yıllık elektrik üretim 39
Şekil 4.7. Güneş santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim 40
Şekil 4.8. Rüzgar santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim 41
Şekil 4.9 Kojenerasyon santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos 41
Şekil 4.10. Enerji kaynaklarının aylık ortalama üretimi 43
Şekil 4.11. Toplam Tüketim ve Santrallerin Üretim Grafikleri 43
Şekil 4.12. Şebeke Kullanım – Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim 44

Şekil 4.13. Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim- Şebekeye Satış Grafikleri..... 45
Şekil 4.14. Yenilenebilir enerji kaynakları toplam üretim grafiği 45
Şekil 4.15. Rüzgâr hızı – rüzgâr santrali üretim grafikleri..... 46
Şekil 4.16. Güneş ışınımı – güneş santrali üretim grafikleri 46

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Türkiye 2017-2026 yılları arasi brüt elektrik tüketim tahmini 4
Tablo 1.2. Türkiye 2017-2026 yılları arası kayıp-kaçak tahmini..... 5
Tablo 2.1. Geleneksel şebeke ve akıllı şebeke Karşılaştırma 14
Tablo 3.1. Yeni nesil röle ve trafo izleme sistemi montaj hedefi 22
Tablo 4.1. 5 Ocak 2019 ekonomik parametreler..... 34
Tablo 4.2. Yıllık İstanbul güneş enerjisi alım değerleri..... 35
Tablo 4.3. İstanbul için yıllık ortalama rüzgar alım değerleri..... 36
Tablo 4.4. 500kW güneş santrali kurulum değerleri..... 36
Tablo 4.5. 500kW rüzgar santrali kurulum değerleri..... 37
Tablo 4.6. 200kW kojenerasyon santrali kurulum değerleri..... 38
Tablo 4.7. Sistem kurulum ve amortisman süresi hesabı..... 42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AA : Alternatif Akım
AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
DA : Doğru Akım
DC : Direct Current (Doğru Akım)
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
BIT : Bilgi ve İletişim Teknolojisi
WAMS : Wide-Arema Monitoring System (Geniş Alan İzleme Sistemi)
WASA : Wide-Area Stational Awarenes (Geniş Alan Durumsal Farkındalık)
FACTS : Flexible AC Transmission System (Esnek AA İletim Sistemi)
DRL : Dynamic Line Rating (Dinamik Hat Puanlama)
TL : Türk Lirası

İSTANBUL İLİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

ÖZET

Yeni nesil elektrik iletim, dağıtım ve otomasyon sistemi olarak adlandırılan akıllı şebeke sistemleri elektrik enerjisi ve buna bağlı bilgi teknolojisinin çok yönlü akışını kullanarak otomatik bir enerji dağıtım ağı oluşturmak amacıyla tasarlanmaktadır. Merkezi olarak tek yönlü enerji akışı sağlayan, enerji dağıtım ve tüketimine istenilen şekilde cevap veremeyen geleneksel şebekelerin yerine, alt yapısı güçlü, anlık enerji tüketimlerine aktif bir şekilde cevap verebilen, enerji kayıplarının azaltılması ve verimliliğin yükseltilmesini amaçlayan yeni şebeke sistemleri geliştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, mevcut şebeke yapıları incelenip, akıllı şebeke sistemi ve dünya genelindeki akıllı şebeke uygulamaları anlatılmıştır. Her geçen gün enerji ihtiyacının arttığı, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına daha çok gereksinim duyulduğu akıllı şebeke sistemlerinin altyapı ve mimari tasarımları açıklanmıştır. İstanbul ili için örnek bir akıllı şebeke sistemi oluşturularak, rüzgâr, güneş ve kojenerasyon santrallerinin şebeke ve birbirleri ile çalışma davranışları Homer Pro programında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebeke, Yeni Nesil Şebeke, Yenilenebilir Enerji.

MODELING AND SIMULATION OF THE SMART GRID RECOMMENDED FOR THE CITY ISTANBUL

ABSTRACT

Smart grid which a new generation of electricity transmission, distribution and automation system is being designed to create an automated energy distribution network using the versatile flow of electricity and associated information technology. Instead of traditional networks that provide a central, unidirectional energy flow and can not respond to today's energy distribution and usage as desired. The intelligent network designs are being developed that can proactively respond to powerful, instantaneous energy consumption and reduce energy losses and improve efficiency.

In this thesis, an overview of the existing network structures has been made, and the applications of the intelligent network system and the world were explained. Today, in which the energy demand increases and clean and renewable energy sources are needed more and more, the smart networks operate in harmony with each other. For the city Istanbul, a sample smart grid system was designed which consist of a wind, solar and natural gas plants have been simulated in the Homer program by working with the network and in harmony with each other.

Keywords : Smart Grid, New Generation Grid, Renewable Energy

GİRİŞ

Güvenilir enerji kaynakları modern toplumlar için en önemli ihtiyaçtır. Yüksek kapasite kullanımı ve düşük esneklik günümüz enerji şebekelerini tehdit etmektedir. Kullanım ihtiyacının artmasıyla birlikte elektrik şebekelerinin istikrarlı ve güvenli olması da artık beklenen bir durumdur. Türkiye'de ve Avrupa'da ortalama elektrik tüketimi yıllık %2 oranında artmaktadır. Tüm bu gereksinimleri göz önüne aldığımızda Avrupa başta olmak üzere Türkiye'de de ihtiyaca cevap veremeyen geleneksel elektrik şebeke sistemlerini modernleştirmek zorunluluk haline gelmiştir.

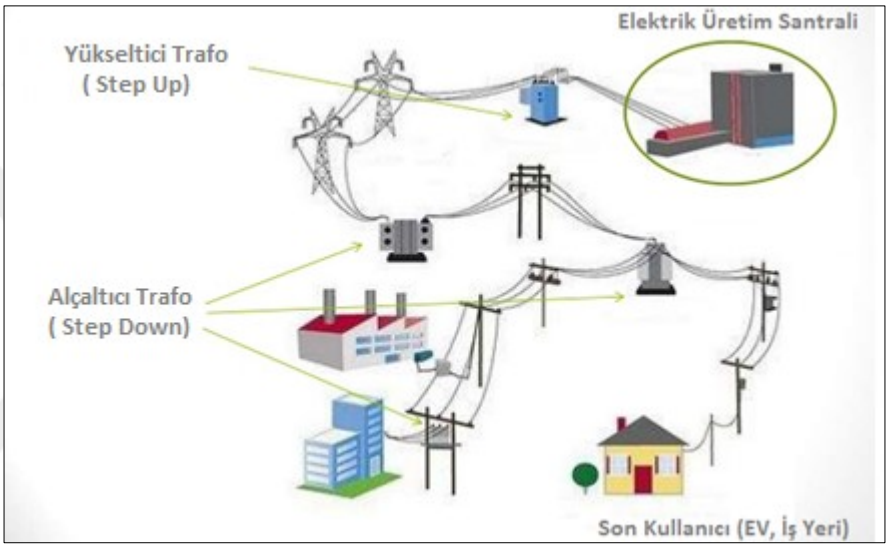
Yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif bir şekilde elektrik şebekelerinde etkili olduğu günümüzde, elektrik şebeke sistemlerinin güvenli olmasının yanı sıra kontrol edilebilir olması da gelişmiş sistemler için önem kazanmıştır. Diğer yandan fosil yakıtların ekosisteme olan zararı ve git gide tükeniyor olmasından dolayı, çevre dostu rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebi arttırmıştır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegre olmasıyla enerji çeşitliliği açısından zengin bir yapı ortaya çıkmıştır.

Akıllı sistemler kaçınılmaz bir alt yapı çalışmasını beraberinde getirmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojisindeki (BIT) akıllı şebekeler olarak adlandırılan sistemlerde tek bir merkez veya birkaç merkez üzerinden enerjinin verimli bir şekilde üretimi, iletimi ve dağıtılmasını sağlayarak sistem otomatik hale getirilir. Akıllı şebekeler büyük ölçekli enerji hatlarını birbirine yıldız bağlı düğümler vasıtasıyla bir veya birden farklı noktalardan birbirine bağlayarak geleneksel yapının aksine bir ağ yapısı oluşturur.

Bu tezde geleneksel ve akıllı şebekelerin yapısı üzerinde durulup, Türkiye'deki ve Dünya'daki örnekleriyle birlikte günümüz ve geleceğin akıllı sistemi olan akıllı şebeke uygulamaları ve planları incelenmiş, Homer Pro programı ile İstanbul ili için örnek bir akıllı şebeke benzetimi yapılmıştır.

1. GELENEKSEL ŞEBEKELER

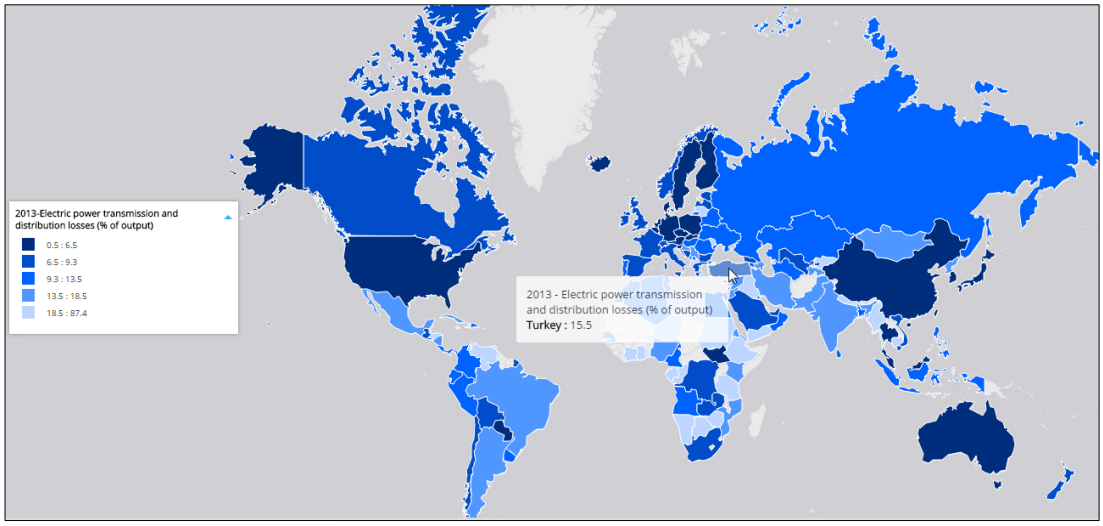
Dünyada ilk şebeke alternatif akım (AA) taşımak amacıyla 1886 yılında faaliyete geçirilmiştir. Elektrik enerjisi hem alternatif akım, hem de doğru akım olarak iletilebilir ancak taşıma kolaylığından dolayı yüzyılı aşkın zamandır alternatif akım tercih edilmektedir.



Şekil 1.1. Geleneksel şebeke yapısı

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, geleneksel şebeke, merkezi büyük elektrik üretim veya dağıtım şebekelerinden, son kullanıcılara elektrik enerjisi taşıyan tek yönlü dağıtım sistemidir. İletim hatlarında ısınma gibi elektrik kayıplarını en aza indirmek için yüksek gerilim - düşük akım biçiminde uzun mesafelere taşınan elektrik enerjisi, düşürücü transformatörler tarafından daha düşük gerilime (230V'a) düşürülerek evlerde ve iş yerlerinde kullanılabilir gerilim seviyesine getirilir.

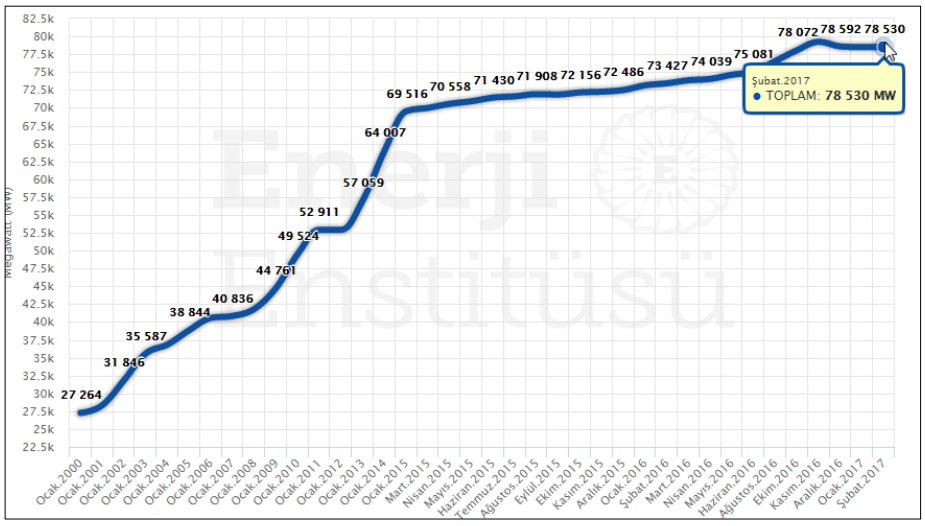
Dünya Bankası'nın Dünya Elektrik Şebekeleri İletim ve Dağıtım Raporu'nda 2013 yılı için Türkiye'deki elektrik kayıp kaçak oranı %15,5, Amerika'da %6 ve Almanya'da %3,9 olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.2. Dünya Bankası elektrik iletim-dağıtım kayıp haritası [1]

1.1. Türkiye'de Elektrik Şebekesi Altyapı ve Piyasa Durumu

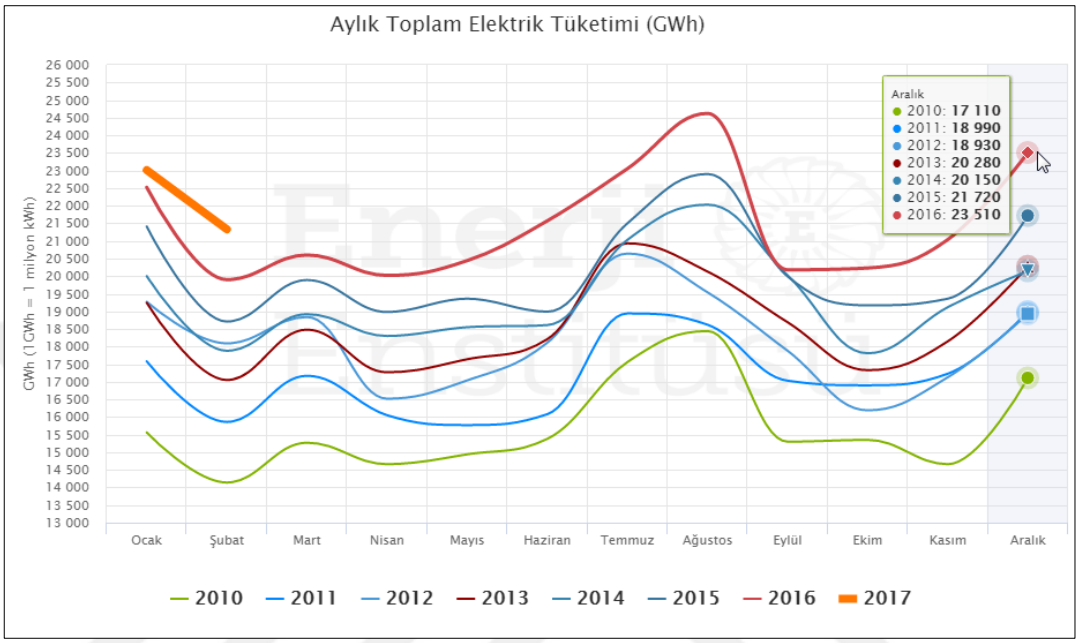
Türkiye'de elektrik tüketim miktarı her geçen yıl artmaktadır. Nüfus artışı ve büyüyen şehirler elektriğe bağlılığı her alanda arttırmaktadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Raporu'nda; 2015 yılı sonu itibariyle Türkiye'de dağıtım sistemini kullanan tüketici sayısının 39,72 milyona ulaştığını ve aynı yıl toplam tüketim miktarının 156,16 GWh olarak gerçekleştiğini belirtmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişim grafiği [2]

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 2016 talep tahmin raporunda 2026 yılı sonunda bu tüketimin 409,676 GWh olacağını öngörmektedir. Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te Türkiye kurulu güç ve aylık elektrik tüketim grafikleri görülmektedir.

Şekil 1.3'den anlaşılacağı üzere, 2000'li yıllarda 27.264 MW olan elektrik kurulu gücü, nüfusun ve sanayinin artmasıyla birlikte her geçen yıl artarak 2017 Şubat itibari ile 78.530 MW olmuştur. Şekil 1.4'te 2010-2017 arasında toplam elektrik enerjisi tüketim grafikleri görülmektedir.



Şekil 1.4. Aylık ve yıllık toplam elektrik tüketim grafiği [2]

EPDK Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı 10 yıllık talep tahminleri raporunda belirtilen, Türkiye 2017-2026 yılları arası brüt elektrik tüketim tahmini Tablo 1.1'de verilmiştir. Bu tahmine göre 2017 yılına kadar sürekli artan elektrik tüketiminin, 2017–2026 yılları arasında da sürekli artması beklenmektedir [2].

Tablo 1.1. Türkiye 2017-2026 brüt elektrik tüketim tahmini (GWh)

YIL	DÜŞÜK	ARTIŞ (%)	BAZ	ARTIŞ (%)	YÜKSEK	ARTIŞ (%)
2017	278.057	-	284.553	-	289.926	-
2018	285.634	2,7	294.748	3,6	302.263	4,3
2019	293.749	2,8	305.289	3,6	315.279	4,3
2020	301.670	2,7	315.619	3,4	328.308	4,1
2021	309.680	2,7	326.107	3,3	341.716	4,1
2022	317.644	2,6	336.521	3,2	355.268	4,0
2023	325.453	2,5	346.775	3,0	368.876	3,8
2024	333.043	2,3	356.893	2,9	382.559	3,7
2025	340.183	2,1	366.848	2,8	396.076	3,5
2026	347.149	2,0	376.786	2,7	409.676	3,4

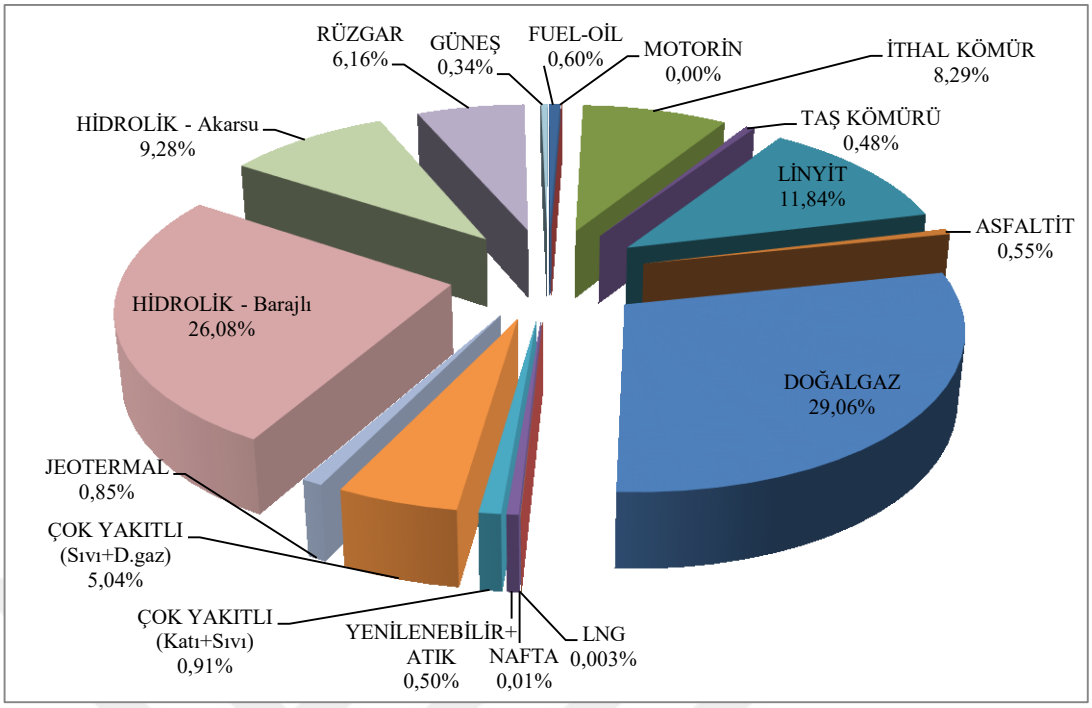
Türkiye'de 2015 sonu itibariyle elektrik iletim sisteminde 701 adet transformatör merkezi, 1.628 adet transformatör, dağıtım sisteminde ise 143.768 MVA gücünde 417.440 adet transformatör bulunmaktadır. Toplam iletim hatlarının uzunluğu 56.774 km, dağıtım hatlarının uzunluğu ise 912.552 km havai, 157.758 km'si ise yeraltı olmak üzere 1.070.337 km'dir. İletim hatlarında ortalama kayıp %2,2 iken, dağıtım hatlarındaki kayıp bölgelere göre %4,98-%72,12 arasında değişmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere, iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların bu derece büyük oranlarda olması, bu sistemlerin artık verimsiz olduğu ve verimliliği yüksek-kayıpları az olan akıllı şebeke altyapısı ile yeni sistemlere geçilmesi gerektiğinin göstergesidir [2].

EPDK, Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı'nın 10 yıllık talep tahminleri raporunda, yüksek senaryo olarak yayımladığı brüt tüketim tablosunda iletim kayıplarının mevcut şebekede enerji ihtiyacının artışıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir.

Tablo 1.2. Türkiye 2017-2026 yılları arası kayıp-kaçak tahmini

YIL	Dağıtım Sistemi Tüketicileri (Kayıp kaçak dahil)	Diğer Tüketiciler	Toplam	İç İhtiyaç	İletim Kaybı	Brüt Tüketim
2017	200.998,9	69.399,0	270.397,9	12.823,1	6.704,6	289.925,6
2018	208.653,5	73.258,1	281.911,6	13.367,9	6.983,3	302.262,8
2019	216.847,0	77.198,2	294.045,2	13.937,1	7.296,9	315.279,3
2020	225.060,9	81.143,0	306.203,8	14.512,7	7.591,6	328.308,1
2021	233.556,2	85.160,1	318.716,3	15.105,1	7.894,9	341.716,4
2022	242.163,6	89.199,2	331.362,8	15.703,9	8.201,7	355.268,4
2023	250.818,3	93.243,2	344.061,5	16.305,1	8.509,9	368.876,5
2024	259.529,0	97.300,2	356.829,3	16.909,6	8.819,9	382.558,7
2025	268.131,4	101.311,6	369.443,1	17.506,6	9.126,4	396.076,1
2026	276.791,3	105.342,3	382.133,5	18.107,3	9.434,9	409.675,7

Türkiye'de elektrik kurulu gücünün yakıt türlerine göre dağılımı; %34,1 ile doğal gazlı santraller, %26,08 ile barajlı hidroelektrik santraller ve %11,84 ile linyit santraller olarak belirtilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payı hidroelektrik santrallerin dahil edilmesi durumunda %42,71'dir. Toplam termik santral kurulu gücün payı ise %57,29'dir. Şekil 1.5'de Türkiye'nin 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1.5. 2015 yılı sonu itibariyle kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (%) [3]

1.2. ENTSO-E

1 Temmuz 2009 tarihi itibariyle Avrupa'daki enerji iletim sisteminde teknik standartları belirleyen UCTE ve piyasa kurallarını belirleyen ENTSO (Avrupa İletim Sistem İşletmecileri - European Transmission System Operators) organizasyonu bütün yetki ve sorumluluklarıyla birlikte ENTSO-E organizasyonu çatısı altına taşınmıştır. Daha önceden UCTE senkron bölgesi olarak tanımlanan senkron blok, ENTSO-E bünyesinde ENTSO-E Avrupa Kıtası Bölgesel Grubu (ENTSO-E RG CE - ENTSO-E Regional Group Continental Europe) olarak adlandırılmakta olup, Türkiye elektrik sisteminin ENTSO-E sistemi ile senkron paralel bağlantısı çalışmalarını da yürütmüştür. Yürütülen çalışmalar neticesinde elde edilen ilerlemelerle birlikte test aşamasına geçilmiştir. ENTSO-E kurallarına göre, test dönemi boyunca enterkonnekte sistemin güvenliği ve performansı, ENTSO-E Plenary Avrupa Kıtası Bölgesel Grubu tarafından izlenmektedir. Türkiye elektrik sisteminin Avrupa elektrik sistemine entegrasyonu çalışmaları kapsamında test aşamasında öncelikli olarak izole işletme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 11-25 Ocak 2010 tarihlerinde maksimum sistem koşulları, 22 Mart-4 Nisan 2010 tarihlerinde de minimum sistem koşullarında izole işletme testleri başarıyla tamamlanmıştır. Türkiye ENTSO-E' ye henüz üye

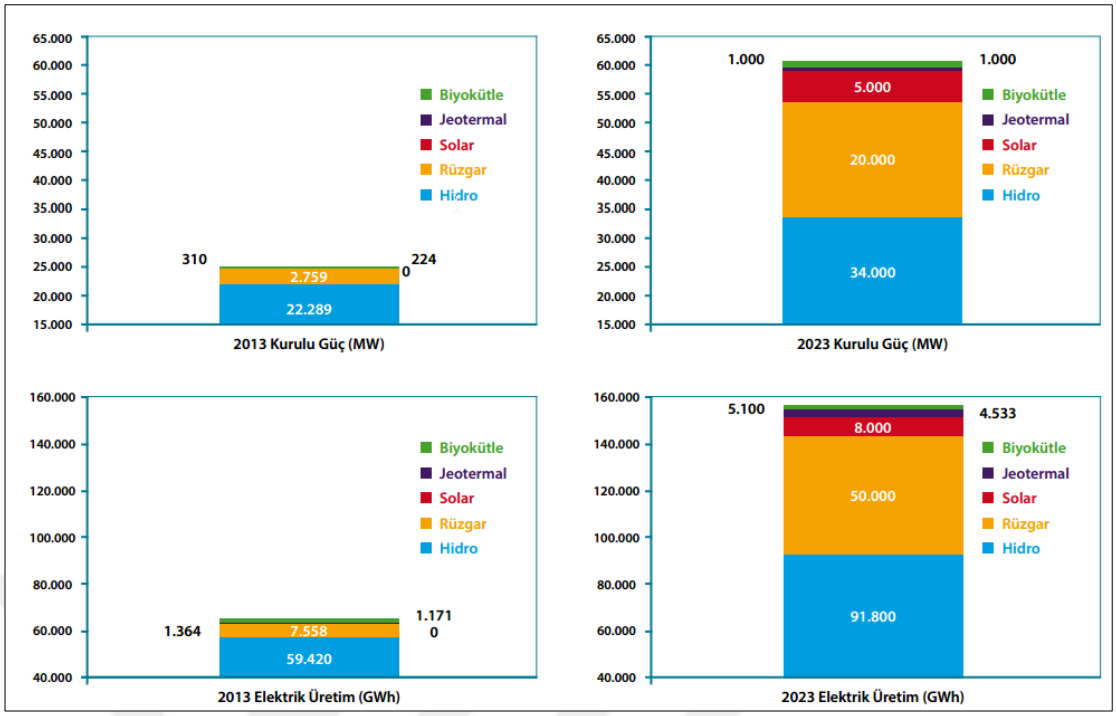
değildir ancak TEİAŞ kurumsal bazda gözlemci üye olarak varlığını sürdürmektedir [4]. Şekil 1.6'da Entso-E bağlantı haritası verilmiştir.



Şekil 1.6. Entso-E bağlantı haritası [4]

1.3. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye, Avrupa Parlamentosu enerji kullanımının teşviki hakkındaki 2009/28/EC sayılı direktifi ('Yenilenebilir Enerji Direktifi') (1) doğrultusunda hazırladığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'na (YEEP) göre; 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam elektrik enerjisi talebinin en az yüzde 30'unu karşıladığı bir üretim portföyü oluşmasını ve ulaştırma sektörü ihtiyaçlarının yüzde 10'unun yenilenebilir enerjiden karşılanmasını hedeflenmekte, aynı zamanda 2023 yılında enerji yoğunluğunu; yani gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) başına tüketilen enerji miktarını 2011 yılında gerçekleşmiş olana göre en az yüzde 20 düşürmeyi amaçlamaktadır [3-5]. Türkiye'de kurulu yenilenebilir enerji bazlı santrallere ait 2013 yılı kurulu güç dağılım oranları ve 2023 yılı kurulum hedefleri Şekil 1.7'de görülmektedir.

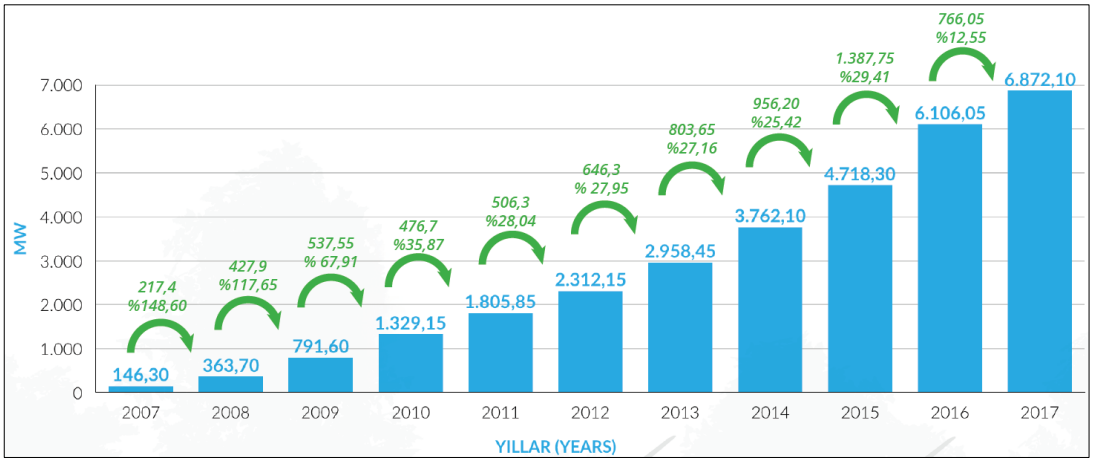


Şekil 1.7. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi ve kurulu güç kapasitesi: 2013 verileri ve 2023 hedefi

1.3.1. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

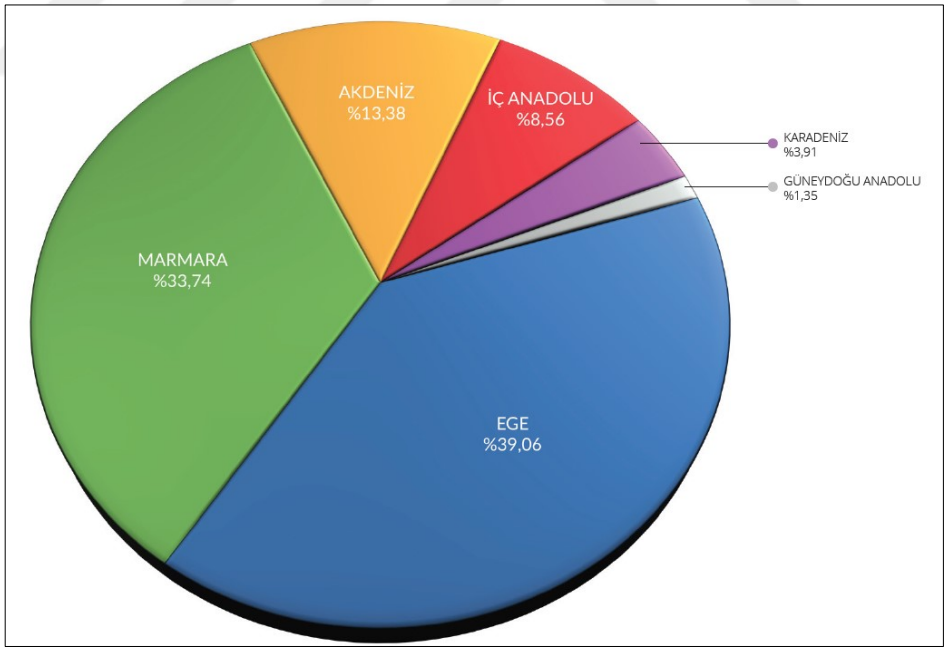
Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretilebilmesi için, rüzgâr türbinlerinin bulunduğu yerin ortalama rüzgar hızının türbinleri optimum hızda döndürebilecek seviyede olması gerekir. Buna göre 6,5m/s rüzgar hızı enerji açısından orta düzey, 7,5m/s iyi ve 8,5m/s ve üzeri rüzgar hızları çok iyi olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip yerlerde kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller neticesinde, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30'una karşılık gelmektedir. 2017 yılı sonu itibariyle işletmede olan lisanslı rüzgâr enerji santrallarının kurulu gücü ise 6.872,10 MW'dır [5-6]. Şekil 1.8'de yıllara göre kurulu güçteki artış gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Yıllara göre Türkiye'de RES artışı [7]

Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri (RES) rüzgar enerjisinin şiddeti ve yıllık fizibilite değerlerine bağlı olarak %38,92 ile Ege Bölgesinde, %34,49 ile Marmara Bölgesinde, %14,55 ile Akdeniz Bölgesinde ve %8,76 ile İç Anadolu Bölgesi'nde kuruludur. Şekil 1.9'da 2017 yılı Ocak ayı itibariyle kurulumu gerçekleştirilmiş olan RES'lerin oranları verilmiştir.

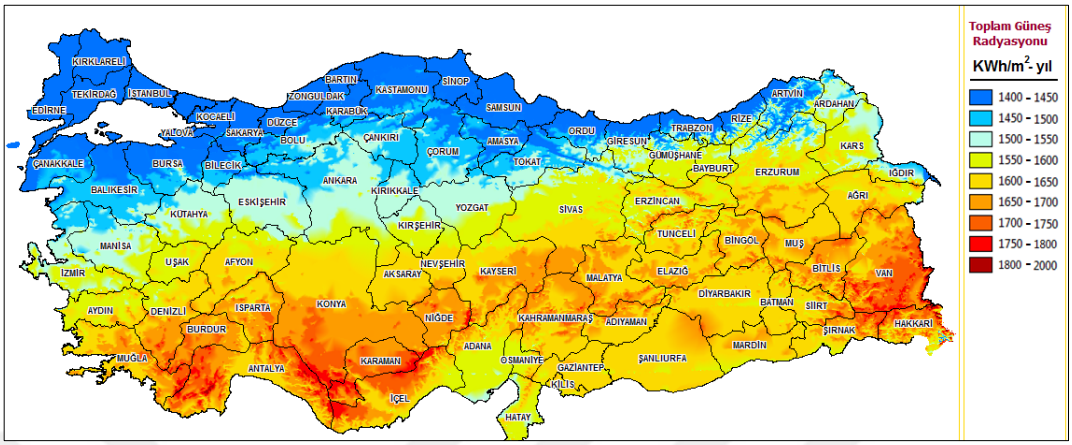


Şekil 1.9. Ocak 2018 yılı itibari ile Türkiye'de RES'lerin dağılımı [7]

1.3.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

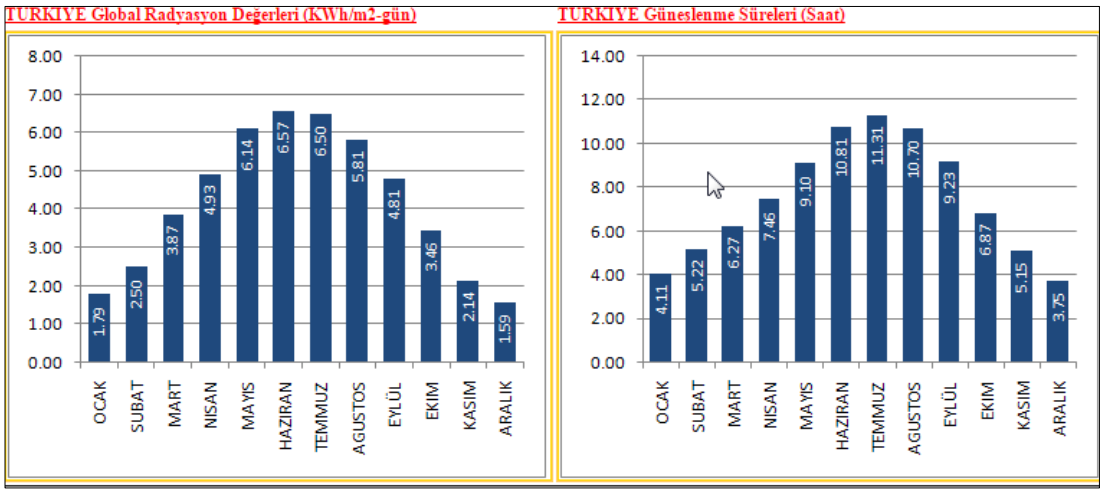
2018 yılı sonu itibariyle işletmedeki güneş enerjisi santral sayısı 5.868 adet olup, 4.981,2 MW'ı lisanssız, 81,8 MW da lisanslı olmak üzere toplamda güneş enerjisi

kurulu gücü 5.063 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'deki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı da 7.477,3 GWh ile %2,5'a yükselmiştir. [8]



Şekil 1.10. Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlası [8]

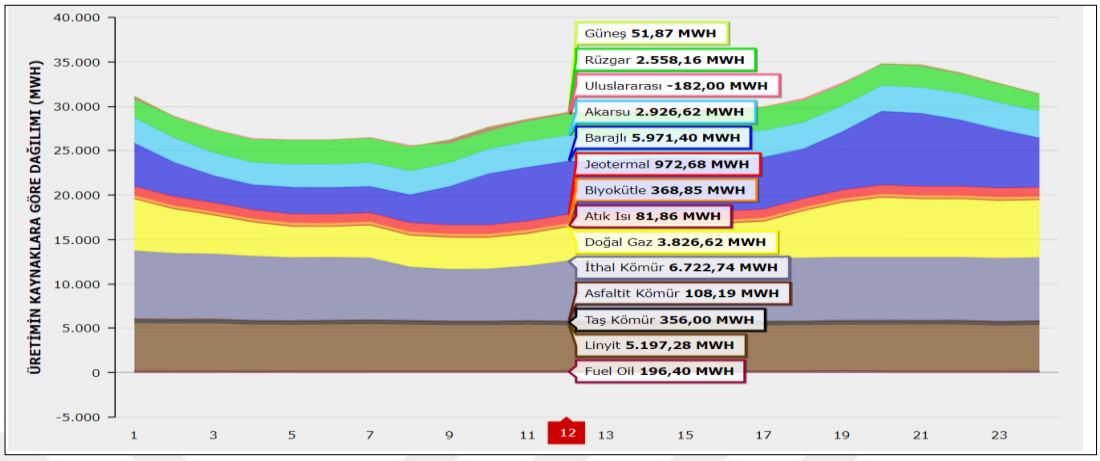
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı Şekil 1.10'da gösterilen Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2.737 saat ve yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m^2 dir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 hedefine göre, lisanslı GES kurulum gücü en az 3.000 MW olacaktır [8-9]. Şekil 1.11'de aylara göre global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 1.11. Türkiye global radyasyon değerleri, Türkiye güneşlenme süreleri [8]

3 Mart 2019 saat 15:45 itibariyle Yük Tevzi Bilgi Sistemi'nden alınan Türkiye elektrik yük eğrisi ve kaynak dağılımı Şekil 1.12'deki gibidir. Bu grafikte elektrik üretim

kaynakları; %27,87 doğalgaz, %11,7 rüzgâr enerjisi ve %1,98 güneş enerjisi olacak şekildedir [9].



Şekil 1.12. Günlük Elektrik Üretim Kaynakları Kullanım Dağılımı, /3.03 2019 [9]

1.4. Ulusal Yenilenebilir Enerji Stratejisi

Türkiye, endüstriyel faaliyetlerin olumsuz çevresel etkilerinin en aza indirilmesi ile ilgili olarak, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olmuş ve 28 Mayıs 2009 tarihinde Kyoto Protokolünü imzalamıştır. Ayrıca, Türkiye 2010 yılından bu yana olumsuz çevresel etkilere karşı bir dizi önlem uygulamaktadır. Ayrıca 18 Mayıs 2009 tarihli ve 2009/11 sayılı Yüksek Planlama Kurulu Kararı eki olan, Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin 2023 yılı için hedefler belirlenmiştir. Bunlar;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının %30 ‘a çıkarılması,
- Hidroelektrik potansiyelimizin tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması,
- Rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücün 20.000 MW’a ulaşması,
- 600 MW’lık jeotermal potansiyelin işletmeye girmesi,
- Güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için gereken düzenlemelerin yapılması,
- Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için alınacak tedbirler sonucunda, elektrik üretiminde doğalgazın payının %30’un altına düşürülmesi,

olarak sıralanmaktadır [48]

2. AKILLI ŞEBEKELER

Akıllı şebekeler enerji akışlarını otomatik olarak izleyebilen ve enerji arzı ve talebindeki değişmeleri uygun olarak ayarlayabilen enerji ağlarıdır. Akıllı şebekeler, akıllı ölçüm sistemleri ile birleşince, gerçek zamanlı tüketim hakkında bilgi sağlayarak tüketiciler ve tedarikçiler arasında arz-talep dengesini sağlar. Akıllı sayaçlarla, tüketiciler zaman ve hacim olarak enerji kullanımlarını gün boyunca farklı enerji fiyatlarına uyarlayabilir ve daha düşük fiyat dönemlerinde daha fazla enerji harcayarak enerji faturalarında tasarruf sağlayabilir. Şekil 2.1'de örnek bir akılı şebeke ile tasarlanmış akıllı şehir örneği görülmektedir.



Şekil 2.1. Akıllı şebeke örneği [10]

Akıllı şebekeler yenilenebilir enerji kaynaklarını sisteme daha iyi entegre etmeye ve şebeke ile birlikte uyumlu çalışmalarına yardımcı olur. Akıllı şebekeler, güneş enerjisi santralleri ve rüzgâr enerjisi santralleri gibi mevsim şartlarına bağlı olarak üretimleri değişiklik gösteren santralleri sürekli olarak tam kapasite çalıştıramaz. Ancak enerji talebiyle ilgili bilgileri hava durumu ile birleştirip, şebeke operatörlerinin yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunu daha iyi planlamasını ve şebekelerini dengelemelerine

olanak tanımasını sağlar. Akıllı şebekeler ayrıca, kendi enerjilerini üreten tüketicilerin fiyatlarını yanıtlayıp üretilen fazla enerjiyi şebekeye satma imkânı da sunmaktadır [10]. Şekil 2.2'de akıllı şebekelerin mimarı yapısı verilmiştir.



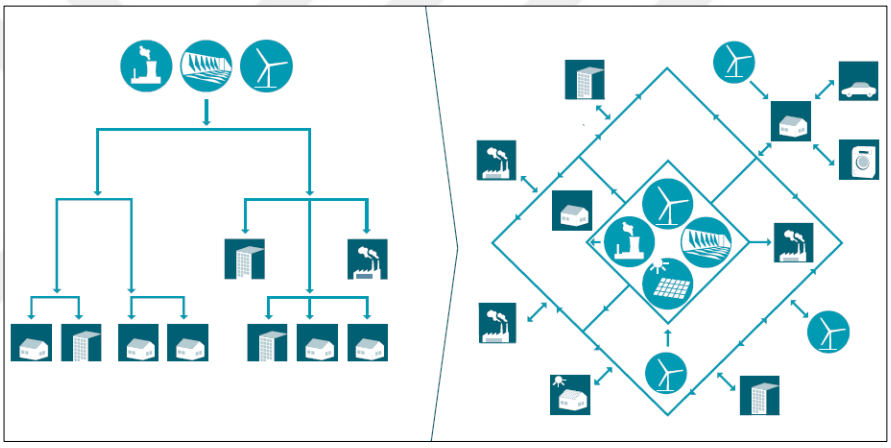
Şekil 2.2. Akıllı şebeke mimari yapısı [11]

Mevcut elektrik şebekelerinde; denetleyici ve veri toplama sistemi olan, enerjinin iletimi ve dağıtımını sağlayan SCADA sistemi kullanılır. Enerjinin üretiminden, arz-talep dengesini kontrol etmek, sistemi güvenli ve istikrarlı kılmak amacıyla kullanılan günümüz SCADA sistemlerinin yetersizlikleri şu şekildedir;

- Sınırlı bant genişlikleri ve nispeten yavaş veri hızları ile şebeke anahtarlamalarına etkin ve istenilen sürede cevap verememesi
- Dağıtım transformatörleri altındaki şebekelerini genellikle izleyememesi

Yeni nesil elektrik iletim ve dağıtım sistemi olan akıllı şebeke, bilgi teknolojisini kullanarak hem mevcut şebeke altyapısının izlenebilirliğini hem de kontrol edilebilirliğini sağlamakla birlikte, arz-talep dengesini gözlemleyerek rüzgar, güneş, bio, jeneratörler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını sisteme daha etkin bir şekilde dahil ederek enerji çeşitliliğini ve güvenilirliğini arttırır. Akıllı şebekelerde tek bir merkezden enerji beslemesi olmadığı için, dağınık ve çeşitlendirilmiş bir ağ gibi enerji akışı çift veya çok yönlü bir şekilde sağlanıp, sistemdeki tüm enerji üretim kaynaklarının ve talebin gerçek zamanlı koordinasyonu sağlanır. Akıllı şebekelerin görevleri; son kullanıcıların aktif bir şekilde sisteme dahil edilmesini sağlamak, tüm

enerji üretim ve depolama kaynaklarının sisteme tam entegrasyonunu gerçekleştirmek, geniş alanlı iletişim ağları, sunucular, ağ geçitleri, vb. iletişim araçlarıyla tüm sistemi anlık izleyebilmek, dağıtım durumunu izleyip enerji akış tahminini yapmak için gerilim, akım ve güç faktörünü anında okuyup, enerji kalitesi için volt-VAR kontrolü sağlamak, üretim, iletim, dağıtım, piyasa işletimi, toptan satış, perakende satış, ithalat ve ihracat faaliyetleri ile bu faaliyetlere ilişkin iş ve işlemlerden oluşan elektrik enerjisi piyasasını ve aynı zamanda serbest tüketici kimliği ile son kullanıcıların enerji tercih ve çeşitliliğini sağlamak, iletim ve dağıtım sistemlerinin birbirleriyle tam entegrasyonunu sağlayıp, enerji piyasası içinde mevcut ve yeni kaynakların işlevselliğini artırarak enerji kalitesini sağlamaktır [12]. Şekil 2.3'de geleneksel şebeke ve akıllı şebeke mimari yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. Geleneksel şebeke ve akıllı şebeke mimari yapısı [29]

Geleneksel şebeke ve akıllı şebeke özellikleri bakımından karşılaştırıldığında , akıllı şebekelerin otomasyon, izleme, enerji kalitesi ve enerji güvenliği açısından üstün özellikler ve ekipmanlarla donatıldıkları görülmektedir. Tablo 2.1'de her iki şebekenin özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Geleneksel Şebeke ve Akıllı Şebeke Karşılaştırma [13]

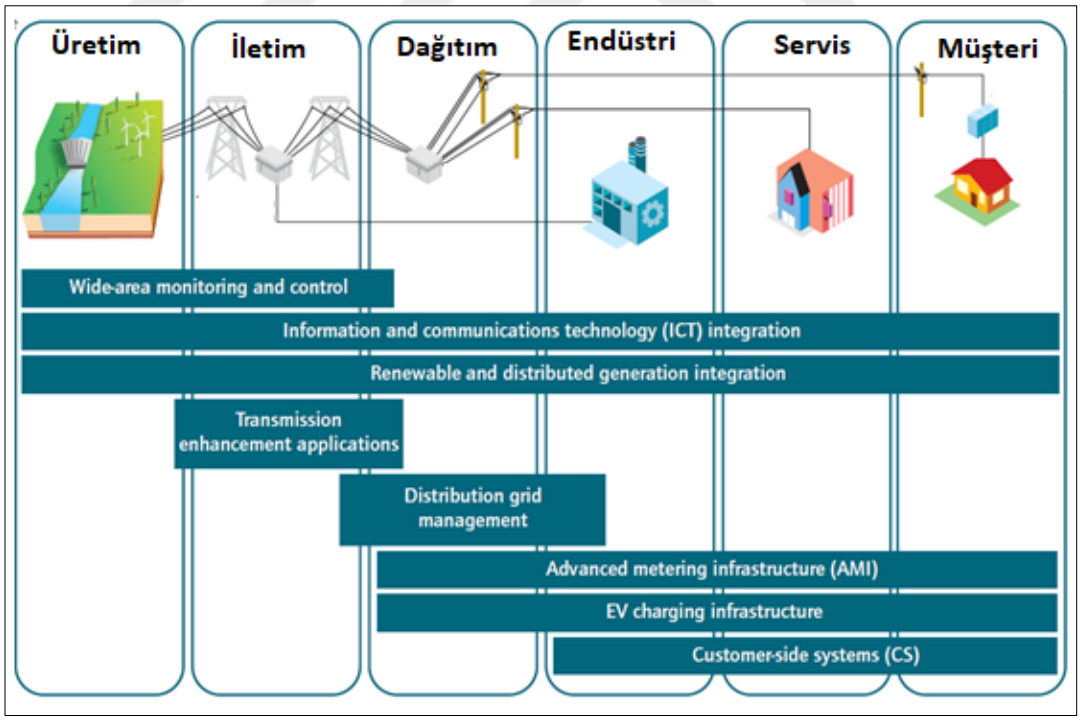
Mevcut Geleneksel Şebeke	Akıllı Şebeke
Genellikle elektromekanik	Tamamen dijital
Tek yönlü haberleşme	Çift yönlü haberleşme
Genellikle merkezi enerji üretimi	Dağınık ve bağımsız enerji üretimi
Enerji analiz sensörleri yaygın değil	Yaygın enerji sensörleri kullanımı
Uzak izleme etkin değil, genellikle manuel	Dijital ve otomatik izleme
Arıza ve kesintiler	Akıllı ve arz-talep dengesi
Uzak kontrol eksikliği	Sağlam kontrol teknolojisi

Tablo 2.1. (Devam) Geleneksel Şebeke ve Akıllı Şebeke Karşılaştırma [13]

Mevcut Geleneksel Şebeke	Akıllı Şebeke
Düşük enerji verimliliği	Yüksek enerji verimliliği
Yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyon zorluğu	Her türlü yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyon
Tüketicilerin enerji kaynağı seçme çeşitliliğinin az olması	Tüketicilerin enerji çeşitliliği seçme özgürlüğü

2.1. Akıllı Şebeke Yapısı

Akıllı şebeke uygulamaları, her biri yapısal olarak birbirinden farklılık göstermekle birlikte temel fonksiyon ve yönetim mekanizmaları açısından benzer özellikler gösterir. Enerji üretimi, dağıtımı ve yönetimi ile birlikte tüketicilerin optimize bir şekilde enerjiyi kullanabilmesi için kontrol mekanizmaları tasarlanır ve geliştirilir. Şekil 2.4'de tüm birimleriyle birlikte, gelişmiş bir akıllı şebeke yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4. Akıllı şebeke bileşenleri [14]

2.1.1. Geniş Alan İzleme ve Kontrol

İletim hatları içerisindeki güç sistemi bileşenlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve görüntülenmesi, sistem davranışlarını ve performansını takip etmek ve aynı zamanda sistem optimizasyonunu kontrol etmek açısından son derece önemlidir. Bu sistem araçları, elektrik kesintilerini önlemek ve öncesinde tahmin etmek , buna bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını izlemek ve yönetmek amacıyla, detaylı sistem analizi yapmak için tasarlanmıştır. İzleme ve kontrol mekanizmaları; geniş alan izleme sistemi (WAMS:wide-arema monitoring system), geniş alan durum farkındalığı (WASA: wide-area stational awarenes), kontrol, karar verme, iyileştirme, tahmin etme vb. özellikleri sağlayacak şekilde tasarlanır.

2.1.2. Bilgi ve İletişim Teknolojisi Entegrasyonu

Akıllı şebeke yapısı içerisinde tüm bileşenlerde uygulanan bilgi ve iletişim teknolojisi; radyo, internet, kablo veya telefon hattı gibi iletişim kanallarını kullanarak, haberleşme ve kontrol cihazları ile ana kumanda ve yönetim birimini birbirine bağlayarak, akıllı şebeke içerisinde çift yönlü enerji akışını ve verimli enerji yönetimini sağlar.

2.1.3. Yenilenebilir ve Bağımsız Güç Kaynakları Entegrasyonu

Yenilenebilir enerji kaynakları ve dağıtılmış-bağımsız enerji üretim merkezleri iletim düzeyinde büyük ölçekli, dağıtım düzeyinde orta ölçekli ve ticari ve konut kullanım düzeyinde ise küçük ölçekli enerji üretimi sağlayabilir. Tüm bu kaynakların sistem içerisinde kontrol edilebilmesi ve enerji talebine göre optimize bir şekilde dağıtılabilmesi gerekmektedir. Ayrıca elektrik depolama sistemleri ile birlikte arz-talep dengesini değerlendirmek ve dengelemek, bu sistemlerin birbirleriyle haberleşmesi ve bu sistemlerin etkin bir şekilde otomasyon bileşenleri ile kontrol edilebilmesi gerekmektedir.

2.1.4. İletim Sistemi Geliştirme Uygulaması

Elektrik sistemlerinde; iletim hatlarının taşıma kapasitesini arttırmak, kalitesinin ve formunun bozulmadan taşınabilmesi için enerji kayıplarını azaltılması ile ilgili bir çok uygulamalar yapılmaktadır. Günümüz elektrik şebekelerinde güç elektroniği tabanlı FACTS (Flexible AC Transmission System) sistemi uygulanmaktadır. Akıllı şebeke

sistemini mevcut iletim hatları üzerinde kurmak, bir takım uyumsuzluk ve enerji kayıpları ortaya çıkarabilir. Offshore güneş ve rüzgar santrallerinin HVDC (High Voltage DC) teknoloji ile DC formda taşınması, sistem kayıplarını azaltıp, sistem kontrol edilebilirliğini arttırarak uzak enerji üretim kaynaklarının verimli kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca DRL (Dynamic Line Rating) sistemi elektrik iletim hatlarındaki sensörleri izleyerek, sistemdeki aşırı yüklenmeleri ve aşırı ısınmaları kontrol ederek sistemde oluşabilecek enerji kesintilerini önlemede yardımcı olur.

2.1.5. Dağıtım Şebekesi Yönetimi

Dağıtım ve trafo merkezlerinin izlenmesi ve uzaktan kontrol edilebilmesi, kesintileri, bakım sürelerini ve bakım gerilim seviyelerini lokalize ederek, kesintiden etkilenen iletim alanını küçültür. Gelişmiş dağıtım şebekelerinde, sensörler ve analizörler ile arıza yeri tespiti, gerilim kontrolü ve reaktif güç kompanzasyonu, otomatik fider konfigürasyonu etkin bir şekilde sağlanır. Dağıtım şebekelerinin yönetiminde en etkili araç sensör ve analiz sensörleri teknolojisinin kullanımıdır. Bu sayede sistemin enerji akışı ve ekipmanların performansları izlenerek, gerekli tedbir alınır.

2.1.6. Gelişmiş Ölçüm Altyapısı

Gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI), bilginin çift yönlü akışını, sistemdeki elektrik tüketimlerini, zaman ve elektrik talebini ölçerek elektrik üretim kontrol mekanizmalarına bilgi vererek üretimi arttırmasını ve böylece akıllı şebeke elektrik fiyat ve denge sağlanmasını destekler. Sistemin sağladığı geniş işlevsellik aralığı;

- Uzak tüketici elektrik kullanım fiyat bilgisini izleyerek piyasa fiyat dengesi oluşturulması
- Müşteri elektrik kullanım verilerini toplamak, kaydetmek ve rapor etmek için verilerin alınması
- Daha detaylı enerji analizi için detaylı yük profilleri
- Elektrik kesinti yeri ve olay analizi
- Uzaktan bağlantı ve ayırma
- Sistemdeki Kayıp-Kaçak teşhisi

2.1.7. Elektrikli Araç Şarj Altyapısı

Elektrikli araçların şarj istasyon altyapıları, düşük gerilimde şarj etme ve tahsilat işlemlerinin akıllı şebeke ile tam entegrasyonu için geliştirilmektedir. Uzun vadede elektrikli araç şarj istasyonları ve evlerde kullanılabilecek araç şarj üniteleri daha yaygın hale getirilecektir.

2.1.8. Son Kullanıcı Sistemi

Müşteri tarafı sistemleri, elektrik tüketimini düzenleyen ve yöneten, elektrik depolama ve akıllı dağıtım sistemlerini içeren evler ve endüstriyel kullanımlar için tasarlanan sistemlerdir. Ev içerisindeki akıllı cihazlar, analizörler ve gösterge panoları sayesinde, müşterilerin elektrik tüketimlerini anlık görebilmeleri ve son kullanıcıların kullanım faturalarının düzenlenebilmesi için tasarlanan sistemlerdir [15].

2.2. Akıllı Şebekelerin Avantajları

Akıllı şebeke sistemlerinin, operasyonel ve bütçesel avantajları aşağıdaki gibidir.

2.2.1. Akıllı ve Verimli

Akıllı şebekeler sistemin aşırı yüklerini algılama ve elektrik kesintilerini önlemek için enerji akışını yönlendirme kabiliyetine sahiptir.

2.2.2. Talep Karşılama

Sağlamlığı nedeniyle talepleri değerlendirerek gerekli durumlarda yakıt ve yenilenebilir enerji santrallerini devreye alarak taleplere etkin cevap verebilir.

2.2.3. Küresel Emisyonu Azaltma

Büyük ölçekli yenilenebilir enerji kaynaklarını (rüzgar, güneş, bio vb.) sisteme entegre edip devreye sokarak karbon emisyonunun azalmasına yardımcı olur.

2.2.4. Onarım ve Bakım

Sistem bozukluklarını analiz ederek iyileştirme ve otomatik bakım sistemini devreye sokarak verimliliği ve bakım maliyetini azaltır.

2.2.5. Güvenilirlik

Mevcut ağ kapasitesini ve aynı zamanda güç kalitesi ve güvenilirliğini arttırır.

2.2.6. Enerji Üretimi ve Dağıtımı

Farklı bölgelerdeki bağımsız güç kaynaklarını sisteme entegre ederek enerji maliyetlerini ve egzoz emisyonlarını düşürür.

2.2.7. Tüketici Odaklılık

Tüketicilerin serbest piyasada istedikleri üreticiden elektrik enerjisi satın alabilme olanağını sağlar.

2.2.8. Güvenlik

Akıllı şebekelerde güvenlik önlemleri en üst düzeyde alınır ve siber saldırı, doğal felaket gibi istenmeyen müdahalelerden sistemin etkilenmemesinin sağlanması gerekir.

2.2.9. Kalite Odaklılık

Akım-güç dengesini anlık kontrol ederek, harmonik etkileri azaltıcı ve enerji kalitesini koruyucu aksiyonu alma yetkinliği olmalıdır.

2.2.10. Teknoloji

Yeni teknolojiler ve yeni enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu ve alt yapı revizyonlarına uyum sağlaması gerekir.

2.2.11. Ekonomik Kalkınma

Sistemlerin ve enerji kaynaklarının entegrasyonunu ve birbirleriyle iletişimini sağlaması nedeniyle, enerji piyasasında yeni iş alanlarına ve fırsatlara olanak sağlaması beklenir.

2.3. Akıllı Şebeke İle İlgili Uluslararası Normlar

Akıllı şebeke hedeflerine ulaşmak için uluslararası 100 den fazla norm belirlenmiştir. Bunlardan bazıları şöyledir.

IEC/TR 62357-1:2012(E) : Güç sistemleri yönetimi ve bilgi alış verişi ile ilgili referans mimarisi

IEC 61970 IEC 61970 : Ortak bilgi yönetimi / Enerji yönetimi

IEC 61850 : Güç Otomasyonu

IEC 61968 : Ortak bilgi yönetimi / Dağıtım yönetimi

IEC 62351: Güvenlik

IEC 62056 : Sayaç okuma , tarife ve yük kontrolü

IEC 61508 : Elektrik, elektronik ve programlanabilir sistemlerin güvenliği

IEC 62196 / ISO/IEC 15118: Elektrikli taşıtların entegrasyonu

IEC 60904, IEC/TS 62257, IEC 62446 : Kojenerasyon ve Trijenerasyon sistemlerinin entegrasyonu [16]

3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARI

Türkiye'de Avrupa Birliği Fasıl 15 – Enerji kapsamı doğrultusunda uyum ve enerji iç piyasası (elektrik ve doğal gaz piyasaları), enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer güvenlik ve radyasyondan korunma ile arz güvenliği alanlarında çalışmalar yürütülmektedir. Bu bağlamda Türkiye Enerji Politikası öncelikleri;

- Maliyet, zaman ve miktar yönünden enerjinin tüketiciler için erişilebilir olması,
- Serbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkânlarının harekete geçirilmesi,
- Dışa bağımlılığın azaltılması,
- Enerji alanında ülkemizin bölgesel ve küresel etkinliğinin artırılması,
- Kaynak, güzergâh ve teknoloji çeşitliliğinin sağlanması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının azami oranda kullanılmasının sağlanması,
- Enerji verimliliğinin artırılması
- Enerji ve tabii kaynakların üretiminde ve kullanımında çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi

olarak belirlenmiştir.

3.1. Türkiye'de Akıllı Şebeke Uygulamaları ve Altyapı Çalışmaları

Avrupa Birliği enerji müktesebatı gereğince elektrik ve doğalgaz direktifleri doğrultusunda, elektrik ve doğalgaz sektörlerinin serbestleşmesi ve modernize edilerek yeniden yapılanması konusunda adımlar atılmaktadır. Enerji verimliliği ve enerjinin rasyonel kullanımı ile ilgili AB direktifleri (Directive 2012/27/ EU, Directive 2010/30/EU) doğrultusunda Türkiye kendi uygulama ve eylem planını belirlemiştir [17].

3.1.1. Eylem Planı

TEİAŞ Stratejik Planı'nın (2015-2019) Elektrik İletim Sisteminin Emre Amadeliğine Yönelik Yöntem ve Araçları Geliştirmek Hedef 3.1 maddesinde: Trafo başına düşen yıllık ortalama açma sayısının birin altında olmasını sağlamak için toplam 4000 adet yeni nesil röle ve mevcut trafolara 250 adet uzaktan trafo izleme sistemi temin edileceği, ayrıca nümerik teknolojiye sahip yeni nesil röleleri; iletim sistemi işletmeciliği ve arıza analizlerinin daha sağlıklı yapılması adına; akıllı şebeke yapısına uygun, seçici röle koordinasyonu sağlayan numerik teknolojiye haiz koruma rölelerinin, 2015 yılından başlamak üzere yıllık 1000 adet olmak üzere toplam 4000 adet OG (orta gerilim) fider yönetim rölesi temini hedeflendiği belirtilmektedir [18]. Tablo 3.1'de yıllara göre yeni nesil röle ve uzaktan trafo sistemi entegrasyon planı görülmektedir.

Tablo 3.1. Yeni Nesil Röle ve Trafo İzleme Sistemi Montaj Hedefi

Performans Göstergesi	Mevcut Durum	2015	2016	2017	2018	2019
Nümerik Teknolojiye Sahip Yeni Nesil Röle / adet	11000	1000	1000	1000	1000	--
Uzaktan Trafo İzleme Sistemi / adet	250	50	50	50	50	50

İletim sisteminde kullanılmaya başlanan uzaktan trafo izleme sistemi ile (Online Monitoring systems), işletme sürekliliğini sağlamak için dielektrik teşhis içeren elektrik parametreler açısından trafo işletme şartlarının nümerik ve grafiksel değerlendirilmesine, yük altında kademe değiştiricisinin verimliliğinin izlenmesine ve trafonun mevcut durumunun izlenmesine yardımcı olarak trafolarda meydana gelebilecek büyük arızaların önüne geçilebilecektir.

Yine aynı hedefler doğrultusunda enerji iletim hatlarına ait arıza endeksinin her yıl 0,2 birim düşürülmesi ve milli güç kalitesi ölçüm noktalarının tüm iletim sistemini kapsayacak şekilde genişletilmesi için 600 adet yeni güç kalitesi çözümleyicisi (GKÇ) temin edilmesi hedeflenmektedir.

Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde elektrik iletim sistemini ekonomik, kaliteli, şeffaf ve izlenebilir bir şekilde işletmek amacı altında, sistem kullanıcılarına sunulan elektriğin sürekli, kaliteli ve ENTSO-E bağlantısı çerçevesinde belirtilen programa göre gerçekleştirilebilmesi için belli üretim birimlerinden yan hizmetler tahsil

edilmekte ve bu yan hizmetlerin etkinliğini arttırmak amacıyla izleme ve kontrol sistemleri 2019 yılı sonuna kadar tam anlamıyla sisteme entegre edilecektir [18].

3.2. Avrupa'da Akıllı Şebeke Çalışmaları ve Uygulamaları

Dünya genelinde akıllı şebeke planları, yatırımları ve uygulamaları her geçen yıl artış göstermektedir. Ülkeler kısa, orta ve uzun vadeli akıllı şebeke yatırım planları yapmaktadır. Dünya akıllı şebeke yatırımlarında önemli gelişmeler, ülkelerin programları ve uygulamaları aşağıda belirtilmiştir. Dünya genelinde iletim ve dağıtım hatları yenileme ve akıllı şebeke modifikasyonu için 2030 yılına kadar yaklaşık 500 milyar Euro yatırım yapılması öngörülmektedir [18].

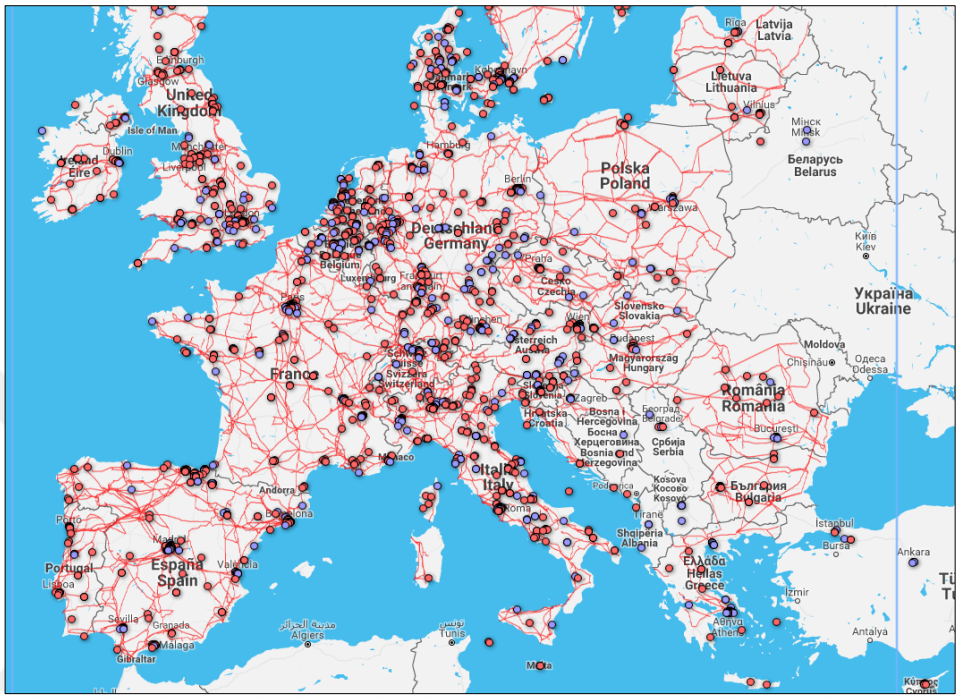
3.2.1. Avrupa Birliği

Avrupa Birliği içerisinde toplam enerjinin %15'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Avrupa Birliği 2020 yılı Enerji ve İklim Hedefleri; sera gazı emisyon oranını %20 düşürmek, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını %20'ye çıkarmak ve enerji verimliliğini %20 arttırmak olarak özetlenebilir. 2030 yılı Enerji ve İklim Hedefleri ise sera gazı emisyon oranını %40'a düşürmek, üretilen enerjinin en az %27'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, enerji verimliliğini %27-30 oranında arttırmak ve üretilen enerjinin %15'inin diğer Avrupa Birliği ülkeleri arasında iletilebilmesini sağlamaktır. 2050 hedefleri ise sera gazı emisyon oranını %80-90 seviyelerine düşürmek olarak açıklanmıştır [18-19]. Şekil 3.1'de Avrupa Birliği içerisinde akıllı şebeke uygulama haritası verilmiştir.

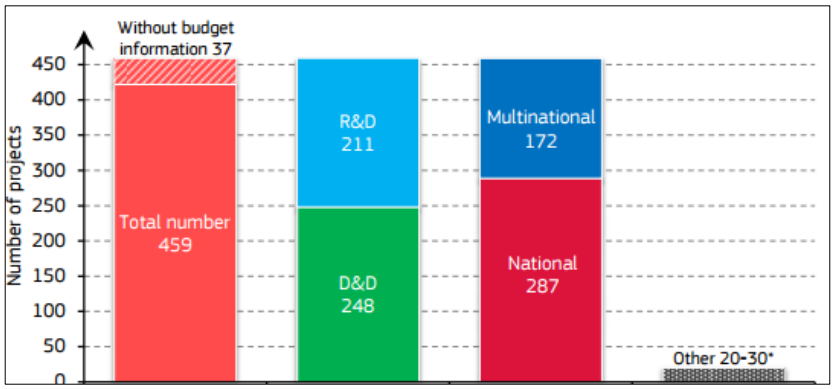
2002 yılından bu yana Avrupa Birliği'nin EU-28 ülkeleri içerisinde yaklaşık 459 akıllı şebeke projesi için 3,15 milyar Euro yatırım yapılmış ve 45 milyon adet akıllı sayaç sisteme dahil edilirken, aynı zamanda 2020 yılına kadar akıllı şebeke altyapı ve iyileştirme çalışmaları için yaklaşık 56,5 milyar Euro (bu yatırımların %37'si iletim hatları) yatırım yapılması ve bunların %72'si EU ülkeleri olmak üzere Avrupa Bölgesi içerisinde 200 milyon akıllı sayaç monte edilmesi planlanmaktadır.

Avrupa'daki akıllı şebeke uygulamaları 578 farklı bölgede uygulanıyor olup, bu uygulamalara ayrılan bütçenin yaklaşık yarısı Fransa, Birleşik Krallık ve İspanya'ya aktarılmaktadır. Bölge ve şehir koşullarına bağlı olarak akıllı şebeke projelerine

ayrılan ödenek değişmekte olup, Roma-İtalya, Biscay-İspanya ve Londra-İngiltere akıllı şebeke uygulamaları için her birine 100 milyon Euro'dan fazla ödenek ayrılmıştır. Şekil 3.2'de akıllı şebekeler alanında arge ve uygulama proje adetleri verilmiştir.

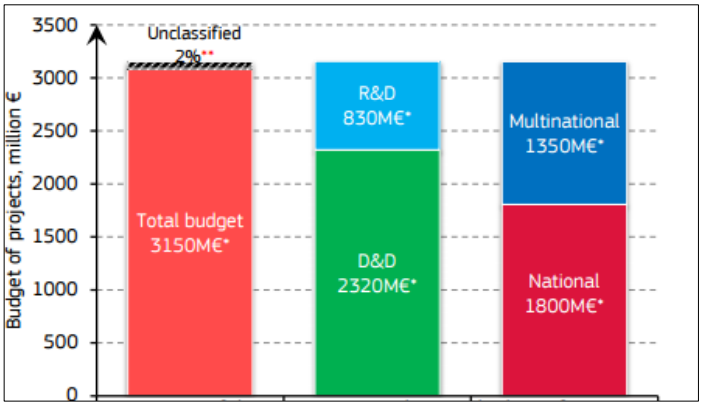


Şekil 3.1. Avrupa akıllı şebeke uygulama haritası



Şekil 3.2. Avrupa Birliği akıllı şebeke proje sayısı [19]

Araştırma ve geliştirme (R&D) projeleri için yaklaşık 830 milyon Euro, demo ve dağıtım (D&D) projeleri için 2,32 milyon Euro ayrılmıştır. Şekil 3.3'de bütçe tutarları gösterilmiştir.

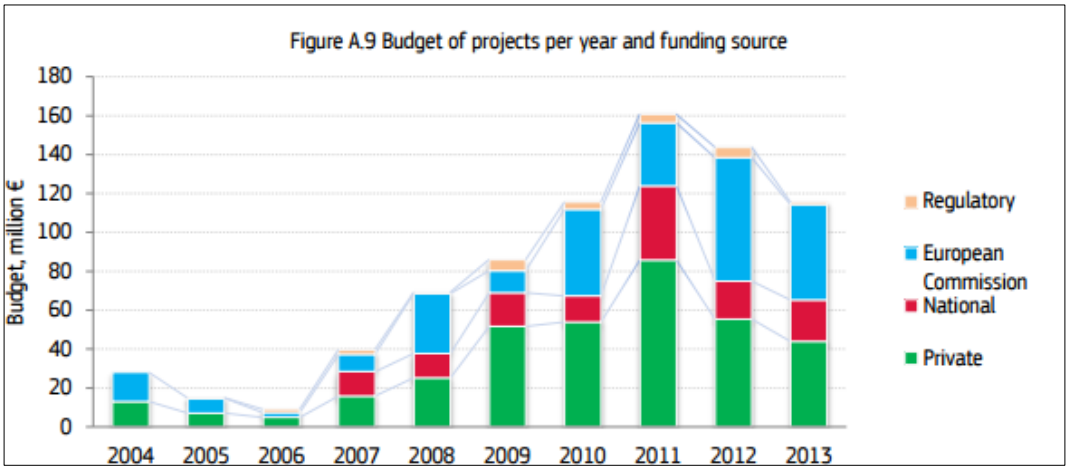


Şekil 3.3. AB akıllı şebeke proje bütçesi, [19]

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın bildirdiği rapora göre Avrupa Birliği'nin mevcut elektrik altyapı, iletim, dağıtım ve yenilenmesi için 1,5 milyar Euro'nun üzerinde bir yatırıma ihtiyaç vardır.

3.2.1.1 EU Kaynak Finansmanı

Avrupa Birliğinde akıllı şebeke özel araştırma-geliştirme ve demo-dağıtım projelerinin %90'ı kamu kaynaklarından sağlanmaktadır. Doğu Avrupa ülkelerindeki projelerin finansmanının büyük bir bölümünü Avrupa Komisyonu (EC) üstlenmektedir. Toplam akıllı şebeke proje bütçesinin %50'den fazlası Fransa, Birleşik Krallık, Danimarka ve İspanya için ayrılmaktadır. Diğer kaynaklar ise; Avrupa Komisyonu Finansmanı (EC Funding), Birleşik Krallık Düşük Karbon Fonu ve özel sermayelerdir. Şekil 3.4'te kaynak dağılımları belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Avrupa Birliği akıllı şebeke proje bütçe kaynak dağılımı [19]

3.2.2. Fransa

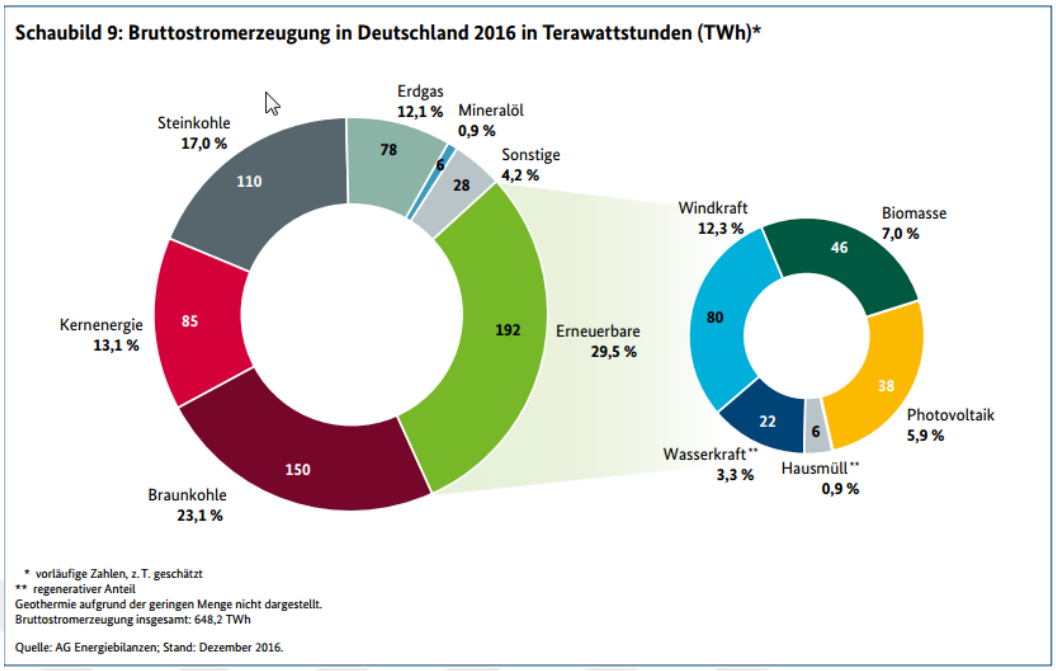
Fransa, Avrupa Birliği direktifi ve uluslararası stratejiler çerçevesinde bir kaç yıldan beri akıllı şebeke uygulamaları ve geliştirmeleri üzerinde çalışmaktadır. Akıllı şebekeler, Fransa hükümetinin yayınladığı 'Yeni Endüstriyel Fransa'nın 34 Şekli (the 34 Schemens of the New Industrial France) kalkınma raporunda Üçüncü Endüstriyel Devrim'in kilit unsuru olarak görülmektedir. Fransa'da bir dizi uygulanmış ve bir çok şehirde halen geliştirme ve test aşamasında olan projeler mevcuttur. Bunlardan bazıları;

- Nice City Grid : 300 hane ve Electricity of France, Electricity Distribution Network of France gibi devlet kurumlarının katıldığı 11 işletme güneş enerjisi ve enerji depolama projesi üzerinde çalışmaktadır.
- Önümüzdeki 6 yıl içerisinde hali hazırda kurulu olan 35 milyon sayaç, yeni akıllı sayaçlar ile değiştirilecektir.
- Mart 2010'dan bu yana Linky akıllı sayaçları 225.000 haneye monte edildi [20].

3.2.3. Almanya

Almanya elektrik şebekesi on yıllardır yıllık ortalama 16 dakika olan elektrik kesintisi ve %99,99 güvenilirliği ile Avrupa'nın en güvenilir elektrik şebekesidir. 800'den fazla elektrik kuruluşunun hizmet verdiği toplam elektrik hatlarının uzunluğu 1,78 milyon km'dir. Almanya Ekonomi ve Enerji Bakanlığı (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi)'nın 30 Ağustos 2016 tarihli bildirisinde Akıllı Şebeke Model Bölgeleri (Modellregionen der Intelligenten Vernetzung) tasarısı kabul edilmiş ve bununla ilgili 56 milyar Euro ödenek ayrılmıştır [21].

Almanya Ekonomi ve Enerji Bakanlığı'nın 2017 yılı raporunda, 2015 Çevre koruma planı çerçevesinde karbondioksit emisyonunu azaltmak amacıyla, elektrik sistemi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının arttırılacağı belirtilmektedir [20]. Enerji ve Su Birliği (BDEW)'nin 2012 yılında %22,8 olarak bildirdiği yenilenebilir enerji payı (rüzgar:%7,9, güneş: %4,5), 2016 yılında %6,7 oranında artarak %29,5'e ulaşmıştır. Bu oran 2030 yılında %50, 2050 yılında ise %80 olarak hedeflenmektedir [22]. Şekil 3.5'te Almanya'nın 2016 yılı elektrik üretim kaynak dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.5. 2016 Yılı Almanya elektrik üretim kaynak dağılımı [22]

BWMi'nin desteklediği akıllı enerji bölgeleri ve akıllı şehirler oluşturma amaçlı E-Energy programı kapsamında 2014 yılında teknoloji yarışması yapılmış olup, altı proje E-Energy kazananı olarak pilot bölge seçilmiştir. Bu projelerin finansmanı için kamu kaynakları ve özel firma iştirakleriyle 140 milyon Euro ödenek ayrılmıştır. Bu firmalar aşağıda listelenmiştir.

- eTelligence

Koordinator Firma: EWE AG

- E-DeMa

Koordinator Firma: RWE Deutschland AG

- MeRegio

Koordinator Firma: EnBW Energie Baden-Württemberg AG

- Modellstadt Mannheim

Koordinator Firma: MVV Energie AG

- RegModHarz

Koordinator Firma : RegenerativKraftwerk Harz GmbH & Co KG

- Smart Watts

Koordinator Firma: utilicount GmbH & Co. KG [22]

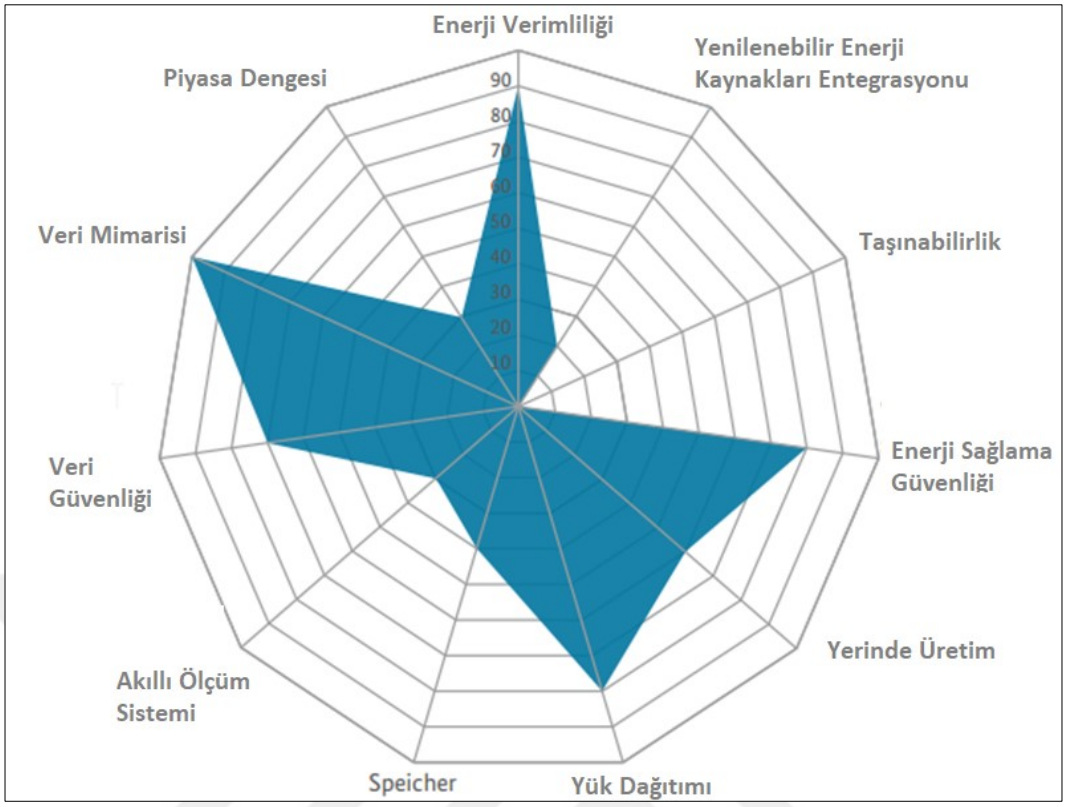
3.2.3.1 Mannheim Model Şehir Projesi (MOMA)



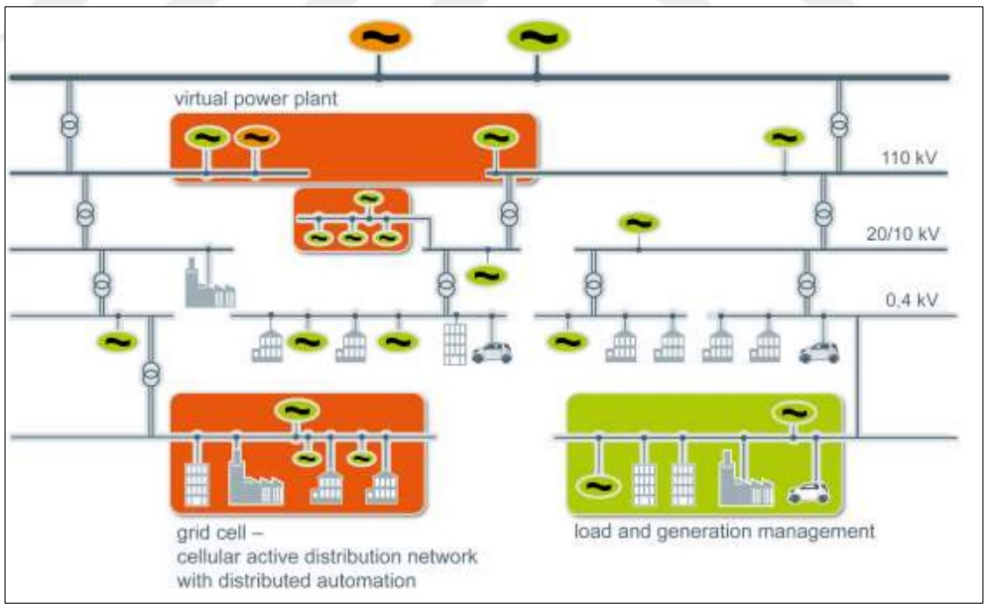
Şekil 3.6. Modellstadt Mannheim (MOMA) projesi [22]

Bu proje kapsamında proje konsorsiyumu oluşturulmuş olup, proje yürütücüsü ve enerji sağlayıcı MVV Energy, yazılım ve yönetim sistemini IBM Germany gibi firmalar üstlenmiş ve 2008 – 2013 yılları arasında Almanya, Mannheim şehrinde 1000 haneye akıllı sayaç bağlanmış ve şehir şebekesindeki yük karakteristiklerinin çıkarılması, mikro kojenerasyon sistemlerinin yönlendirilmesi, ekonomik verimliliğin sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi yük ve verimlilik esaslı test ve simülasyonlar yapılmıştır [23].

Şekil 3.7'de MOMA karakteristik şemasından okunacağı üzere, %90 verimlilik, %20 yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonu, %80 enerji güvenliği vb. amaçlanmıştır. 300 adet MOMA-dağıtım noktası oluşturulmuş ve IP tabanlı haberleşme hücreleri ile iletişim sağlanmıştır [23].



Şekil 3.7. MOMA karakterisitik şeması [23]

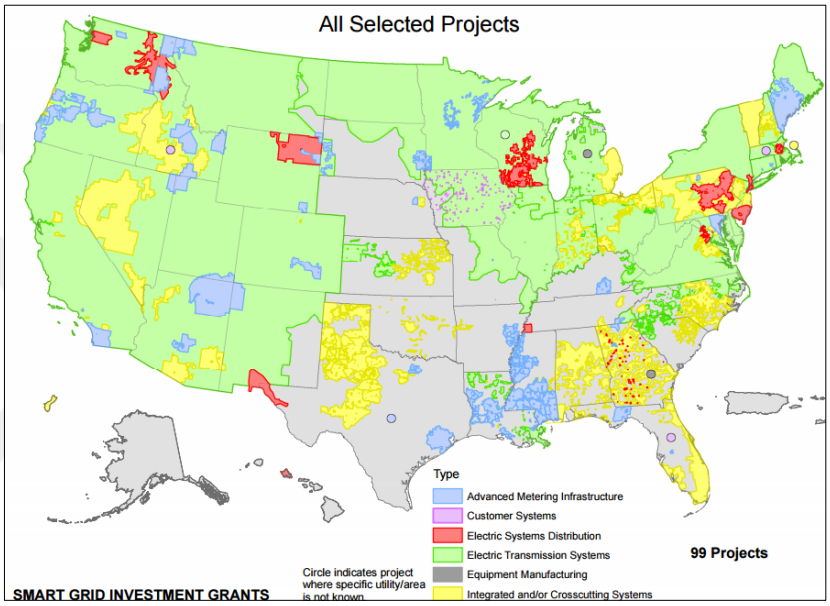


Şekil 3.8. MOMA Tekhat Şeması [23]

Evlerin, elektrikli araçların, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve ilgili tüm sistem bileşenlerinin sisteme entegrasyon şeması Şekil 3.8'de görülmektedir.

3.3. Amerika

Elektrik Güç Araştırma Enstitusü (EPRI)'ne göre ülke elektrik şebeke sisteminde akıllı şebeke uygulamasını tam olarak sağlayabilmek için, önümüzdeki 20 yıl boyunca 338-476 milyar USD arasında yatırım yapılması gerekmektedir. Bu yatırımların %19-24'ünü iletim ve dağıtım merkezleri, %69-71'ünü dağıtım hatları, %10'unu ise tüketici bağlantı sistemleri oluşturmaktadır [24]. Şekil 3.9'da Amerika Birleşik Devletleri'nin akıllı şebeke projeleri görülmektedir.



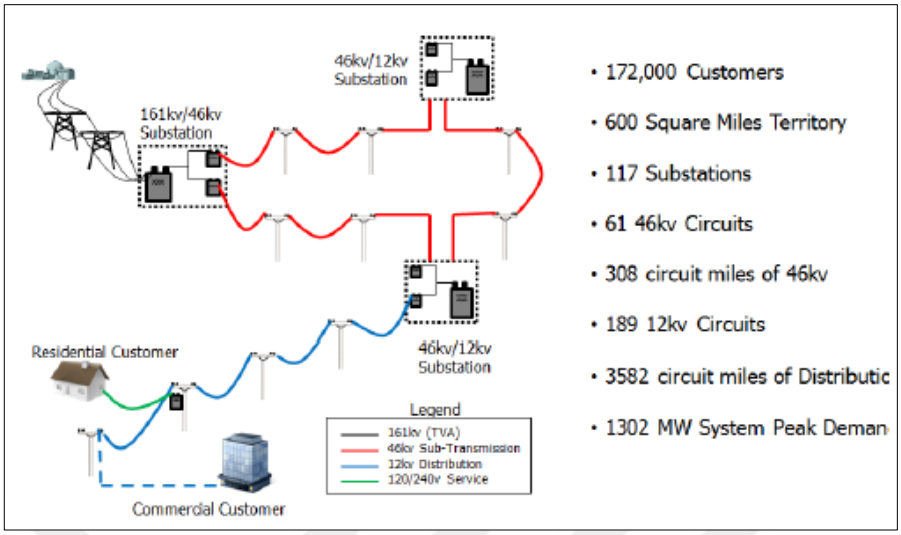
Şekil 3.9. Amerika akıllı şebeke projeleri [24]

3.3.1. Önemli 3 Akıllı Şebeke Projesi

- Electric Power Board (EPB), headquartered in Chattanooga, Tennessee
- Florida Power and Light Company (FPL), headquartered in Juno Beach, Florida
- PECO, headquartered in Philadelphia, Pennsylvania

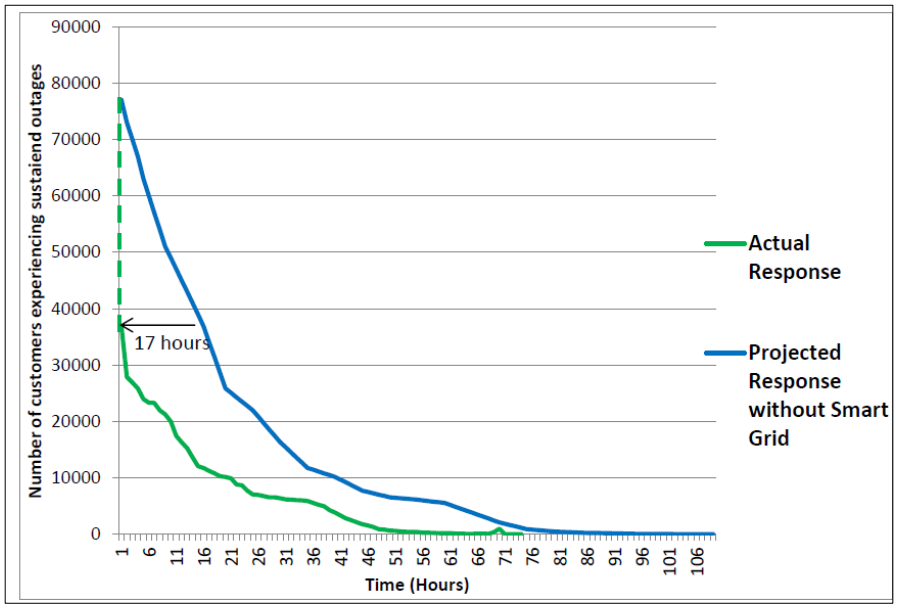
3.3.1.1. EPB

Şekil 3.10'da EPB sisteminin yapısı verilmiştir. EPB Projesi Chattanooga ve Tennessee şehirlerinde uygulanan, 172.000 müşteri, 117 trafo merkezi ve 3.582 mil uzunluğunda 1.300 MW gücünde akıllı şebeke uygulamasıdır. Yaklaşık 228 milyon USD tutarındaki proje, 170.000 müşteriye akıllı sayaç izlemesi ve 1400 otomatik fider kesicileri ile tüm sistemin kontrol, izleme ve otomasyonunu yapabilmektedir.



Şekil 3.10. EPB Sistem Yapısı

2012 yılında yaşanan fırtınada EPB sistemi akıllı kesicileri aktif tutarak, sadece 40.000 müşteriye elektrik kesintisi hissettirmiş ve 17 saat içerisinde sistemi otomatik onarmıştır. Uzmanlar EPS sistemi olmadan kesintiden etkilenen müşteri sayısının 80.000'e yakın olacağını ve günlerce süreceğini belirtmiştir. EPB projesi sayesinde bu fırtına sonrası yaklaşık 1,4 milyon USD tasarruf sağlanmıştır [24]. Şekil 3.11'de EPB sisteminin arıza onarm grafiği verilmiştir.



Şekil 3.11. EPB Arıza Onarım Grafiği Temmuz 2012

3.4. Japonya

2010 yılında Japonya hükümeti enerji alanında yeni strateji planı açıklamış ve enerji sistemlerini daha güvenli ve çevreci kriterler altında yapılandıracağını bildirmiştir. Bu strateji kapsamında dört ana bölgede akıllı şehir projeleri başlatmıştır. 2010 yılında başlatılan büyük ölçekli dört proje aşağıdaki gibidir.

- Kyoto Keihanna Districh
- Yokohama City
- Kitakyushu City
- Toyota City [25]

3.4.1. Yokohama City

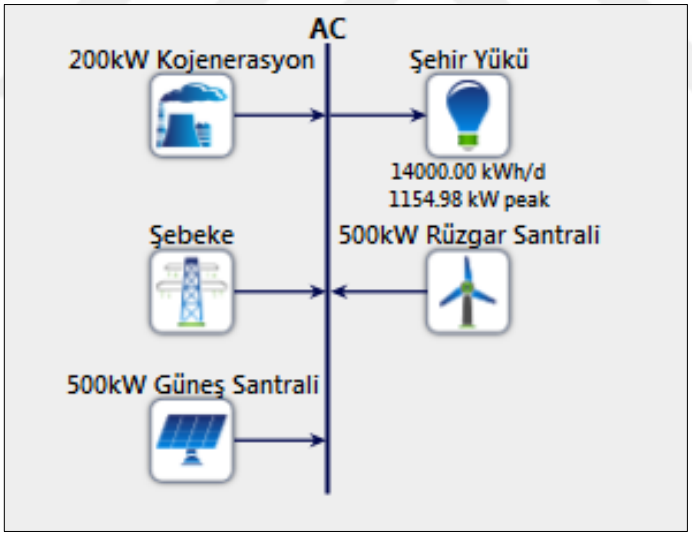
662 Milyon Dolar bütçe ayrılan, 170.000 hane, 150.000 araç ve 3,7 milyon kullanıcının sisteme dahil olduğu Yokohama akıllı şehir projesi, karbon emisyon değerini 2025 yılına kadar %30, 2050 yılına kadar %60 oranında düşürmeyi amaçlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif bir şekilde sisteme entegre edilmesi ve geliştirilmesi konusunda Nissan, Panasonic, Toshiba firmaları ile çalışılmaktadır [25].

3.4.2. Toyota City

Toyota akıllı şehir şebekesi, 203 Milyon Dolar bütçe ayrılarak, 420.000 kullanıcının ve 370.000 adet hibrit ve elektrikli aracın programa dahil olduğu, 2030 yılına kadar emisyon değerini %50 ye, 2050 ‘ye kadar ise %70’e düşürmeyi amaçlayan, içinde ev enerji yönetim sistemleri (HEMS), hibrit araç ve elektrikli araç depolama ve şarj üniteleri, aynı zamanda yüzlerce elektrik firmasının piyasa oluşturduğu bir yapıdır [25].

4. İSTANBUL İLİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

Homer Pro programında, örnek bir sistem oluşturularak; 1 adet 500kW kurulu gücünde güneş enerjisi santrali, 1 adet 500kW kurulu gücünde rüzgâr enerjisi santrali, 1 adet 200kW kurulu gücünde kojenerasyon santralinin, şebeke ve belirtilen şehir yükü ile birlikte çalışma davranışları incelenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Akıllı şebekelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli kullanılması ve diğer enerji kaynaklarıyla birlikte en verimli şekilde çalışması amaçlanır. Benzetimi yapılan örnek proje İstanbul iklim ve piyasa koşullarında tasarlanmış, çalıştırılmış ve rapor edilmiştir. Benzetimin amacı, akıllı şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji santralleri ve diğer üretim santrallerinin birlikte çalışma davranışlarının incelenmesi ve sistemin amortisman süresinin hesaplanmasıdır.



Şekil 4.1. Benzetimi yapılan akıllı şebeke şeması

Şekil 4.1'de tasarlanan enerji santrallerinin program ara yüzündeki tek hat şeması görülmektedir. Birbirlerine akıllı şebeke üzerinden AC sistemiyle bağlı olan enerji santralleri ve diğer şebeke bileşenlerinin, iletim ve dağıtım kayıpları, aynı zamanda santrallerin inverter, trafo vb. gibi iç bileşenleri ve iç kayıpları sistemde ihmal edilmiş ve gösterilmemiştir.

Sistem maliyet ve amortisman hesaplamalarında 5 Ocak 2019 günü ekonomik veriler göz önüne alınmış olup bu değerler Tablo 4.1 ‘de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. 5 Ocak 2019 Ekonomik Parametreler

5 Ocak 2019 Güncel Parametreler	
USD/TL	5,48
EUR/TL	6,32
1m^3 Doğalgaz (TL)	1,14
GES Elektrik Satış Fiyatı (USD Cent /kWh)	10,4
RES Elektrik Satış Fiyatı (USD Cent/kWh)	9,3
Ayedaş Elektrik Satış Fiyatı TL/kWh	0,41

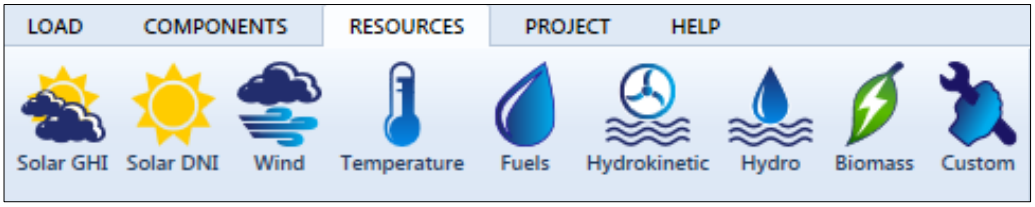
4.1. Proje Bileşenleri

Benzetimi yapılan örnek projede, Homer Programı’nda her bir enerji kaynağı ayrı ayrı tanımlanmıştır. İstanbul bölgesi için tasarlanmış olan projede İstanbul için mevsimsel güneş ve rüzgâr alım değerleri girilerek, projenin gerçek zamanlı benzetimi sağlanmıştır.

Ayrıca birbiri ile haberleşen elektrik üretim santrallerinin beslediği şehrin elektrik kullanım davranışı tanımlanmış olup, bu tüketim davranışına göre sistemin en ekonomik ve en verimli şekilde çalışması amaçlanmıştır.

4.1.1. Enerji Kaynakları

Projede tanımlanan rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin çalışma karakteristiklerini direkt olarak etkileyecek olan mevsimsel rüzgar ve güneş enerjisi girdileri, Homer Pro programı vasıtasıyla NASA Surface Meteorology Database üzerinden İstanbul bölgesi için güneş ve rüzgar mevsimsel değerleri programa indirilmiştir ve projeye eklenmiştir.



Şekil 4.2. Homer Pro Enerji Kaynak Girdileri

Şekil 4.2'de programda tanımlanan enerji santrallerinin çalışmasını etkileyen ve çalışmasını kontrol eden enerji kaynak girişleri görülmektedir. Bu kaynaklar projeye eklenerek ilgili santrale girdi olarak tanımlanır.

4.1.1.1. Güneş Kaynağı

NASA Meteoroloji ve Güneş Enerjisi Bilgi Bankası'ndan internet üzerinden İstanbul için aylık güneş enerjisi değerleri alınmış ve projeye girdi olarak eklenmiştir. Bu değerler Tablo 4.2'de listelenmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere yıllık mevsimsel güneş ışınım değerleri yaz aylarında çok, kış aylarında ise azdır. Bu değerler ile doğru orantılı olarak güneş enerji santralinin elektrik üretimi, güneş enerji ışınım değerlerinin en çok olduğu zaman en fazla, güneş ışınım değerlerinin en az olduğu zaman ise en azdır.

Tablo 4.2. İstanbuk ili için yıllık güneş değerleri

Aylar	Hava Açıklık İndeksi	İstanbul Günlük Radyasyon (kWh/m^2/gün)
Ocak	0,374	1,520
Şubat	0,415	2,270
Mart	0,453	3,390
Nisan	0,482	4,600
Mayıs	0,526	5,790
Haziran	0,572	6,630
Temmuz	0.609	6,870
Ağustos	0,588	5,920
Eylül	0,555	4,540
Ekim	0,454	2,750
Kasım	0,396	1,730
Aralık	0,349	1,270

4.1.1.2. Rüzgâr Kaynağı

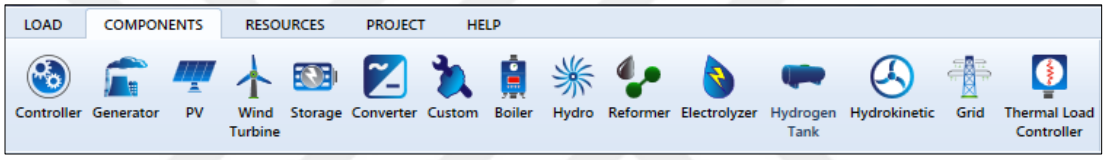
İstanbul için 200 metre yükseklikte bulunan rüzgâr türbini için NASA Meteoroloji ve Güneş Enerjisi Bilgi Bankası'ndan internet üzerinden alınan rüzgâr hızı aylık ortalama değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. İstanbul için yıllık ortalama rüzgar hızı değerleri

İstanbul Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)			
Ocak	13,350	Temmuz	12,780
Şubat	14,910	Ağustos	12,910
Mart	13,670	Eylül	14,450
Nisan	11,850	Ekim	14,270
Mayıs	10,490	Kasım	13,100
Haziran	11,390	Aralık	13,456

4.1.2. Enerji Santralleri

Homer Pro programında, projede santral olarak; güneş, rüzgâr, jeneratör (kojenerasyon) ve şebeke tanımlanmıştır. Şekil 4.3'te Homer Pro programında santral girdilerine ait arayüz resmi verilmiştir.



Şekil 4.3. Homer Pro Santral Girdileri

Programda tanımlanan enerji santralleri, kurulum ve işletme giderleri ile birlikte belirtilmiş ve santral üreticilerinden ilgili santral çalışma ve performans değerleri alınarak sistemde tanımlanmıştır.

4.1.2.1. Güneş Enerjisi Santrali

Projede 500kW kurulu gücünde Solarmax marka güneş panelleri ile tasarlanmış lisanssız güneş enerjisi santrali kurulmuştur. Homer Pro üzerinden Solarmax marka panellerin elektrik üretim karakteristiği alınmıştır.

Tablo 4.4. 500kW güneş enerji santrali kurulum değerleri

Kapasite	: 500kW
Marka	: Solarmax
Toplam Kurulum Maliyeti	: 3.300.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AC
Santral Ömrü	: 25 yıl
Santral Yenileme Maliyeti	: 2.000.000 TL
Yıllık Bakım / Onarım gideri	: 16.500 TL

Ayrıca santral kurulum maliyetinde gerçek örneklerden yola çıkarak, fider bağlantısına kadar olan alçak gerilim kablolama, trafo bağlantısı, OG Hücre vb. santral bileşenleri göz önüne alınmıştır. Tablo 4.4'te güneş enerjisi santrali kurulum maliyetine dair bilgiler listelenmiştir. Tanımlanan güneş enerjisi santralinde iç kayıplar ihmal edilmiş ve trafo, DA-AA dönüştürücü vb. bileşenler projede belirtilmemiştir.

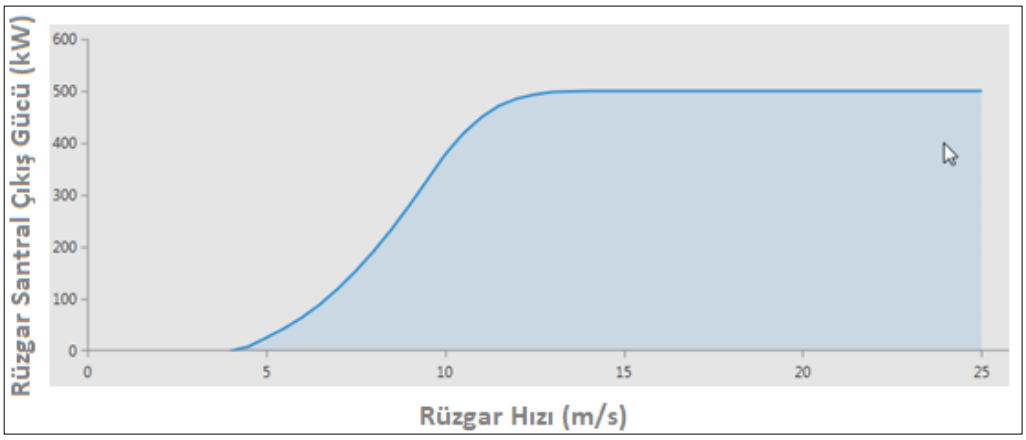
4.1.2.2.Rüzgâr Enerjisi Santrali

Rüzgâr enerjisi santrali olarak 500 kW gücünde 1 adet Windflow 45-500 model rüzgâr türbini kurulmuştur. İç kayıplar ihmal edilen santralin kurulum değerleri Tablo 4.5'de belirtilmiştir.

Tablo 4.5. 500kW rüzgar santrali kurulum değerleri

Kapasite	: 500kW
Marka	:Windflow
Toplam Kurulum Maliyeti	: 3.550.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AA
Santral Ömrü	: 25 yıl
Santral Yenileme Maliyeti	: 2.750.000 TL
Yıllık Bakım / Onarım gideri	: 40.000 TL
En Düşük Rüzgar Çalışma Hızı	: 4,5 m/s
En Yüksek Rüzgar Çalışma Hızı	: 25 m/s
Nomial Rüzgar Çalışma Hızı	: 11,5 m/s

Windflow 45-500 model rüzgâr gülünün rüzgar hızı - yük karakteristiği Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Rüzgar türbini Hız-Güç karakteristiği

4.1.2.3.Kojenerasyon Santrali

200 kW gücünde Generic marka gaz motorlu kojenerasyon santrali sisteme dahil edilmiştir. Doğalgaz tüketerek, 200kW elektrik ve 250kWh ısı üreten santralin tüm üretimi, kullanıcı tarafından tüketilmektedir. Alt ısıl değeri 85Mj/kg olan doğal gaz ile tam yükte saatte yaklaşık 58 m^3 doğal gaz tüketen kojenerasyon santralinin kurulum değerleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. 200kW kojenerasyon santrali kurulum değerleri

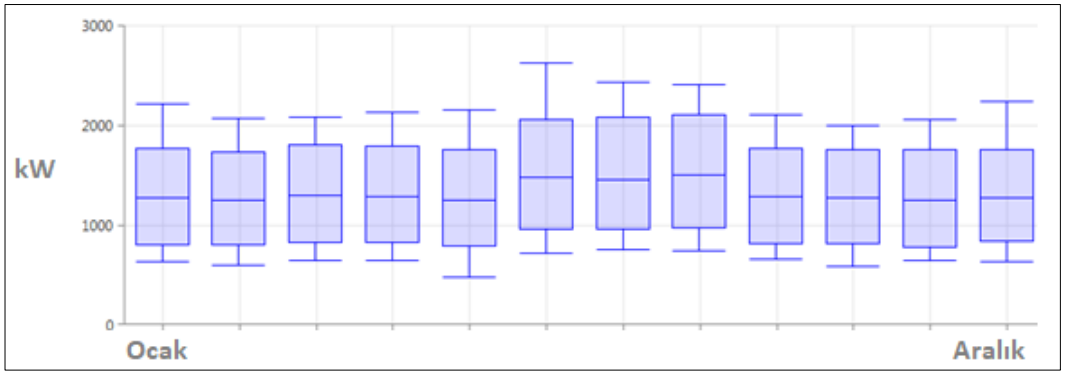
Kapasite	: 200kW
Marka	: Generic
Toplam Kurulum Maliyeti	: 1.260.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AA
Santral Ömrü	: 40.000 saat
Santral Yenileme Maliyeti	: 550.000 TL
Bakım / Onarım gideri	: 18 TL/saat
Maksimum yakıt tüketimi	: 58 m^3
Günlük Çalışma Aralığı	: 06:00 – 22:00

4.1.3. Şebeke

Şebeke, tüm elektrik üretim santrallerinin ve son kullanıcıların elektrik alış ve satış yapabileceği şekilde tasarlanmıştır.

4.1.4. Yük

Dalgalı tüketim yaptığı düşünülen bir şehrin tüketim değerleri, mevsimsel ve günlük tüketim davranışına göre tanımlanmıştır. Tüketim yükü tepe değeri en fazla 1.649,9 kW, ortalama tüketim yükü ise 833,3 kW olmuştur.

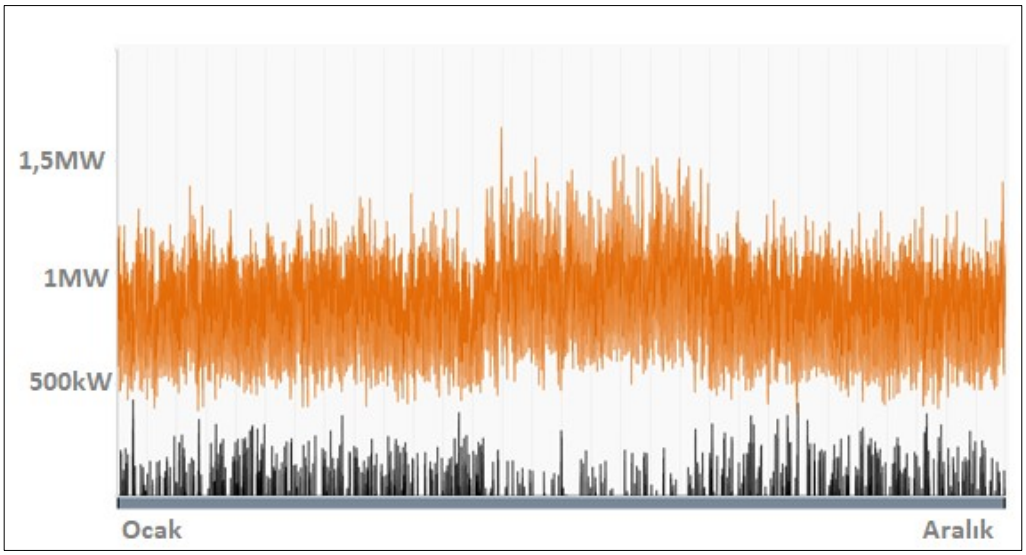


Şekil 4.5. Yıllık yük karakteristiği

4.2. Analiz Sonuçları

Yapılan analiz sonuçlarında; sistemde tanımlanan yenilenebilir enerji üretim santralleri olarak 500kW güneş enerjisi santrali, 500kW rüzgâr enerjisi santrali ve 200kW kojenerasyon santrali ve şebekenin, birincil yük olarak tanımlanan ve ortalama yükü 833,3kWh olan şehir tüketimine karşı göstermiş oldukları çalışma ve akıllı üretim davranışları gözlemlenip, her bir üretim kaynağının kurulum maliyeti ve üretim verileri karşılaştırılarak sistemin amortisman süresi hesaplanmıştır. Kurulan örnek sistem verimlilik esasına dayalı çalışmakta olup, arz talep dengesini en düşük maliyetli üretim kaynağından, ihtiyacın artmasıyla en yüksek maliyetli üretim kaynağına doğru yönlendiren kontrol ve otomasyon mekanizmaları bu benzetimde de aktif bir şekilde kullanılmıştır.

Şebeke ve birbirleri ile senkron bir şekilde çalışan tanımlı santraller, günlük rüzgar ve güneş ışınımı değerleri, serbest piyasa elektrik alım satım fiyatı ve yük tüketimine bağlı olarak mümkün olduğunca verimli çalıştırılmışlardır. Elektrik üretim miktarı, talepten fazla olduğu durumlarda ve elektrik üretim fiyatının, şebeke elektrik alış fiyatından düşük olduğu zamanlarda, enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisi şebekeye satılmıştır. Rüzgar, güneş ve kojenerasyon santralleri toplam 4.232,2MWh elektrik enerjisi üretmiştir ve santrallerden üretilen enerjinin 125,39kWh enerjiye karşılık gelen %2,9'u şebekeye satılmıştır.

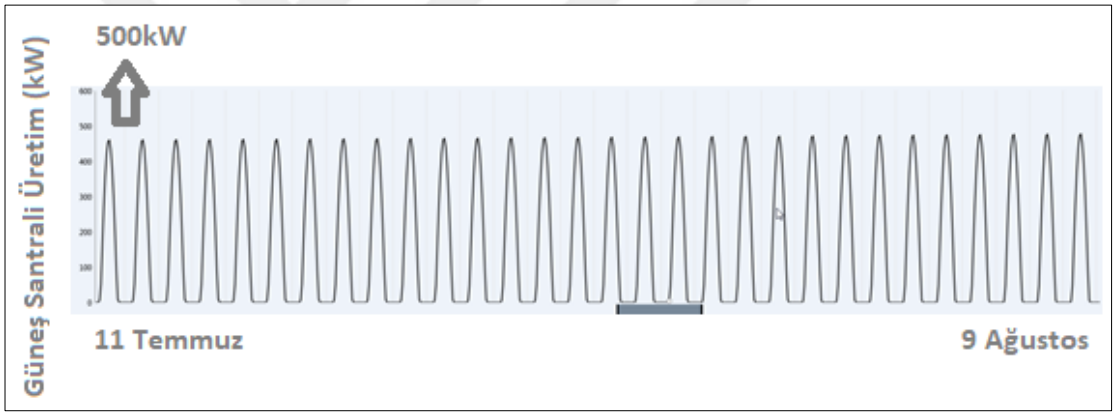


Şekil 4.6. Yıllık elektrik üretim (turuncu) ve şebeke alış (siyah) grafiği

Sistemde toplam 7.425,3MWh elektrik tüketimi gerçekleşmiş olup 3.193,1MWh enerji şebekeden sağlanmıştır. Şekil 4.6'da santrallerin elektrik üretim ve şebekeye elektrik satış grafiği gösterilmiştir.

4.2.1. Güneş Enerji Santrali Çalışma Raporu

500kW kurulu gücündeki güneş enerjisi santrali, günlük olarak havanın aydınlanmasıyla birlikte enerji üretimine başlayıp, havanın kararması ile birlikte üretimini azaltıp durdurmuştur. Akşam ve gece saatlerinde üretim yapmamıştır. Yıl boyunca toplam 4.389 saat çalışıp devrede kalan güneş enerjisi santrali sistemdeki toplam elektrik tüketiminin %17,81'ini sağlamış ve toplam 1.322,8 MWh enerji üretmiştir. Şekil 4.7'de güneş santralinin 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Güneş santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

4.2.2. Rüzgâr Enerji Santrali Çalışma Raporu

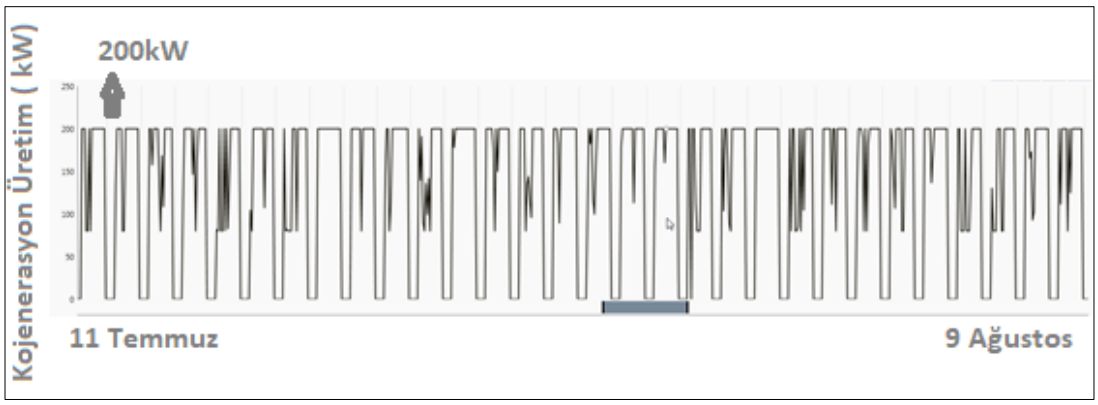
Günlük rüzgâr değeriyle ve sistemdeki elektrik tüketim – fiyat dengesiyle bağlantılı olarak rüzgar enerjisi santrali gün içerisinde maksimum 500kW tepe değerini görerek, rüzgar ve elektrik talep dengesiyle bağlantılı olarak zaman zaman devreden çıkmıştır. Yıl boyunda 5061 saat devrede kalan rüzgâr enerjisi santrali toplam 1.669,6 MWh elektrik üretmiştir. Bu üretim değeri ile sistemdeki toplam elektrik tüketiminin %22,49'unu sağlamıştır. Şekil 4.8'de rüzgar santralinin 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Rüzgar santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

4.2.3. Kojenerasyon Santrali Çalışma Raporu

200kW kurulu gününde gaz motorlu kojenerasyon santrali yıllık ortalama 6,199 saat çalışmış ve yılda toplam 1.239,8MWh elektrik ve 1.549,75MWh ısı üretimi gerçekleştirmiştir. Ortalama 0,29m^3/kwh doğal gaz tüketen gaz motoru, yılda toplam 359.542 m^3 yakıt tüketmiştir. Doğalgaz motorlu kojenerasyon santrali ortalama 40,6 Kuruş/kWh maliyetli elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Yılda arz-talep dengesi ve şebeke elektrik fiyatına bağlı olarak ortalama 371 kez devreye girip çıkmıştır. Şekil 4.9'da kojenerasyon santralinin 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği verilmiştir.



Şekil 4.9. Kojenerasyon santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

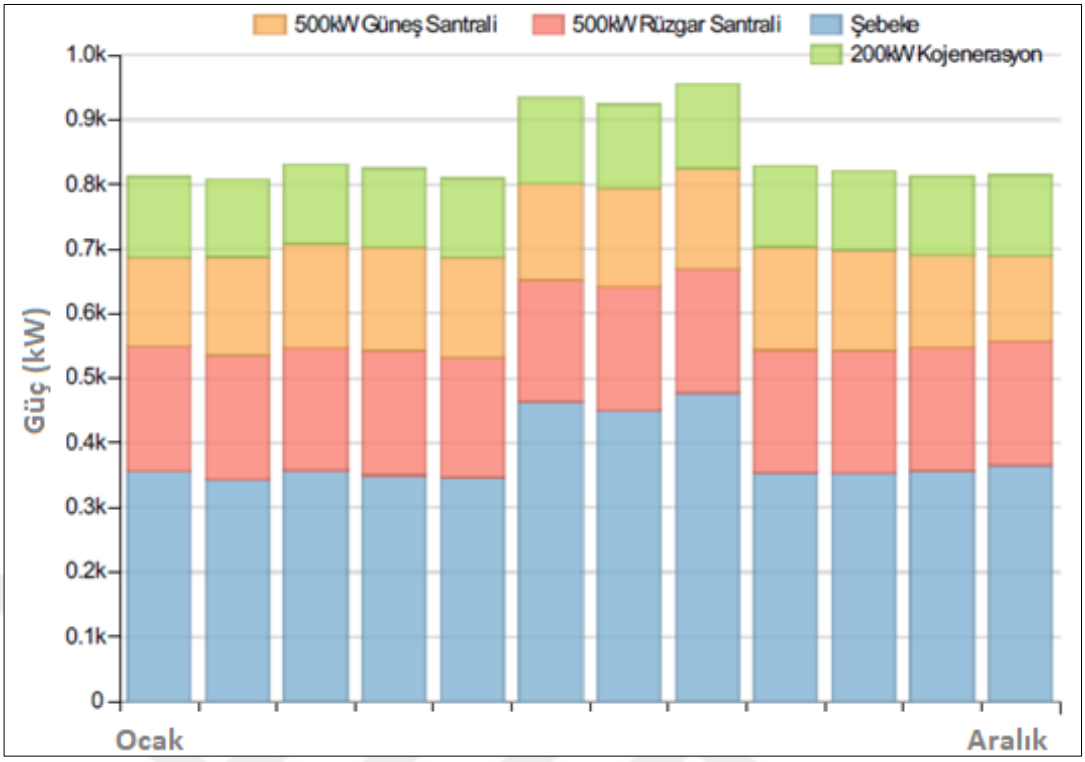
4.2.4. Genel Çalışma Raporu

Analizi yapılan örnek sistemdeki tüm santrallerin ayrı ayrı yıllık gelir/gider hesaplaması yapılmış olup, santrallerin amortisman süreleri hesaplanmıştır. 5 Ocak 2019 tarihli döviz kuruna göre elektrik tüketim fiyatı ve yenilenebilir enerji santrallerinin elektrik üretim devlet alım garanti ücreti alınmıştır. Sırasıyla; yılda 737.890 TL kar sağlayan güneş enerji santralinin amortisman süresi 4,48 yıl, 850.895 TL kar sağlayan rüzgar enerjisi santralinin amortisman süresi 4,38 yıl ve yılda 528.486 TL kar sağlayan kojenerasyon sisteminin amortisman süresi 2,38 yıl olmuştur. Sistemin toplam amortisman süresi 3,91 yıl olarak hesaplanmıştır. Detaylı üretim ve tüketim değerleri Tablo 4.7'de belirtilmiştir.

Tablo 4.7. Sistem Kurulum ve Amortisman Süresi Hesabı

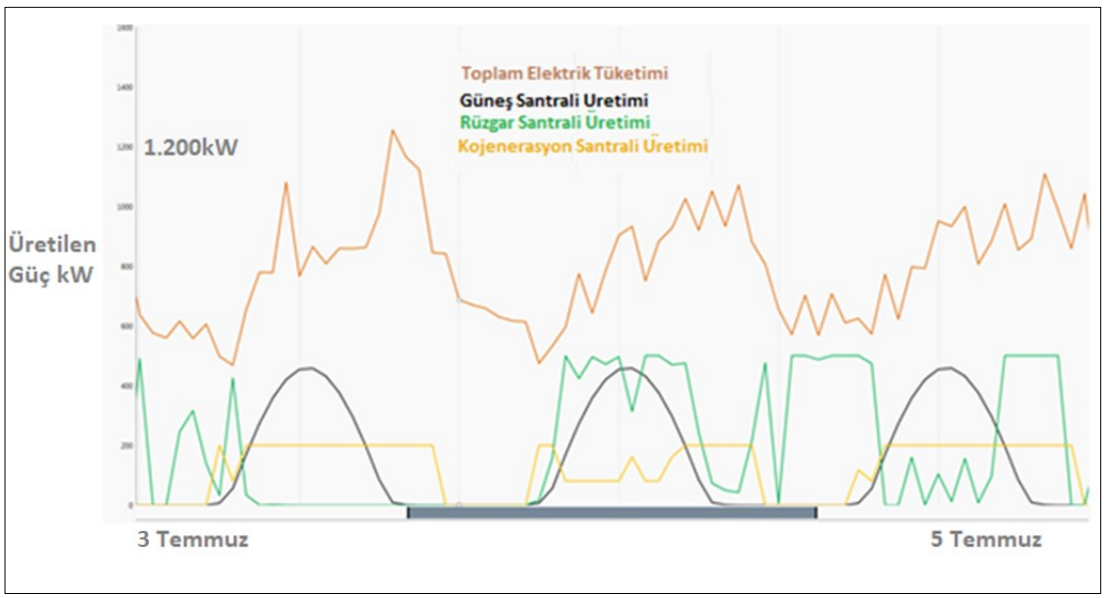
USD /TL	5,48		
EUR / TL	6,32		
Doğalgaz Fiyat TL / m3	1,4		
	Güneş Santrali	**Rüzgar Santrali**	**KojenerasyonSantrali**
Kurulu Gücü (kWe) / yıl	500	500	200
Santral Kurulum Maliyeti (TL)	3.300.000	3.550.000	1.260.000
Yıllık Elektrik Üretimi MWh(e) / yıl	1.322,80	1.669,60	1239,8
Yıllık Isı Üretimi MWh(th) / yıl	0	0	1549,7
Toplam Enerji Üretimi MWh / yıl	1.322,8	1.669,6	2.789,5
Elektrik Satış(Kazanç) Fiyatı USD Cent / TL	10,4	9,3	7,48
Yıllık Toplam Kazanç TL	**753.890**	**850.895**	**1.143.427**
Doğalgaz Tüketim m3 /yıl	0	0	359.542
Yıllık Gider (TL) (Tüketim, Bakım)	16.500	40.000	111.582
Yıllık Toplam Maliyet (TL)	**16.500**	**40.000**	**614.941**
Yıllık Toplam Kar (TL)	737.390	810.895	528.486
Santral Amortisman Süresi (YIL)	**4,48**	**4,38**	**2,38**
Sistem Genel Amortisman Süresi	**3,91**	**YIL**	

Şekil 4.10'da enerji kaynaklarının aylık üretim oranları belirtilmiştir. Bu üretim oranlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimsel değerler ile arz-talep dengesini gözetmesi, aynı zamanda piyasa elektrik alış-satış tarifesi ve santrallerin operasyonel maliyetleri önemli ölçüde belirleyici olmuştur.



Şekil 4.10. Enerji kaynaklarının aylık ortalama üretimi (kırmızı: şebeke, kahverengi: rüzgâr, turuncu: güneş, yeşil: kojenerasyon)

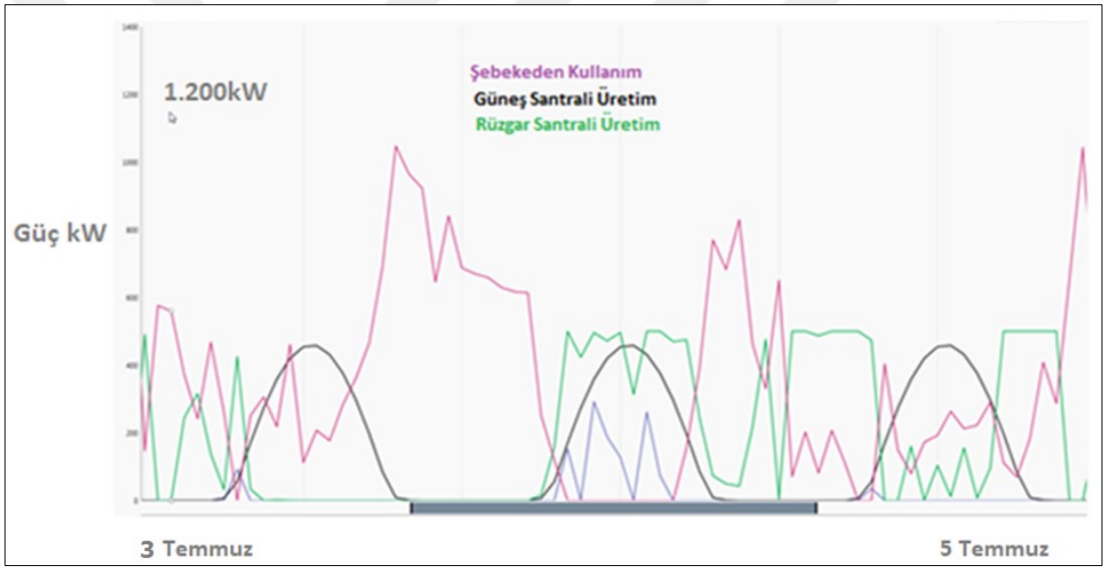
Akıllı şebeke sisteminde yıllık en fazla tüketim sırasıyla %45,03 (3.343,4 MWh) ile şebekeden, %22,49 (1.669,6 MWh) ile rüzgâr enerji santrali, %17,81 (1.322,8 MWh) ile güneş enerji santrali ve %14,67 (1.239.8 kWh) ile kojenerasyon santralinden karşılanmıştır.



Şekil 4.11. Toplam Tüketim ve Santrallerin Üretim Grafikleri

Toplam elektrik tüketim ve santrallerin elektrik üretim grafikleri Şekil 4.11'de belirtilmiş ve grafikler 3 Temmuz – 5 Temmuz arası ölçekli gösterilmiştir. Elektrik tüketimi 4 Temmuz günü gece saatlerinde en yüksek değerine ulaşmış ve o zaman zarfında rüzgâr ve güneş santralleri çalışmadığı için elektrik tüketimi şebeke ve kojenerasyon santralinden sağlanmıştır.

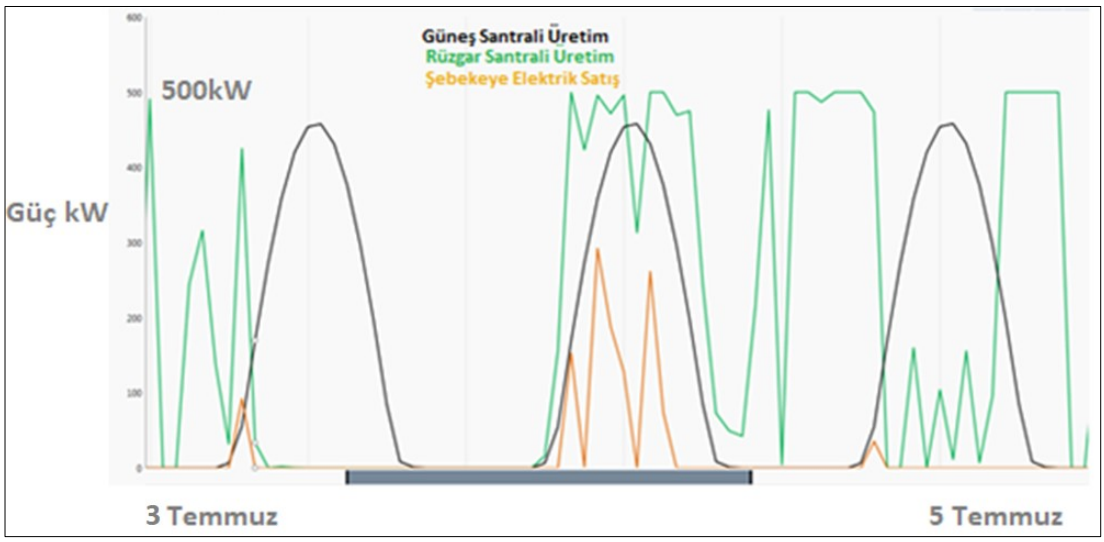
Şekil 4.12'de şebekeden elektrik kullanımının; tüketimin diğer santrallerden karşılanamadığı zamanlar daha fazla olduğu, diğer santrallerin üretiminin elektrik tüketimini karşılayabildiği zamanlar ise şebekeden hiç elektrik çekilmediği görülmektedir. 3 Temmuz günü gece saatlerinde güneş santral ve rüzgar santrali çalışmamaktadır ve bu nedenle şebekeden elektrik kullanımı en yüksek seviyededir.



Şekil 4.12. Şebeke Kullanım – Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim Grafikleri

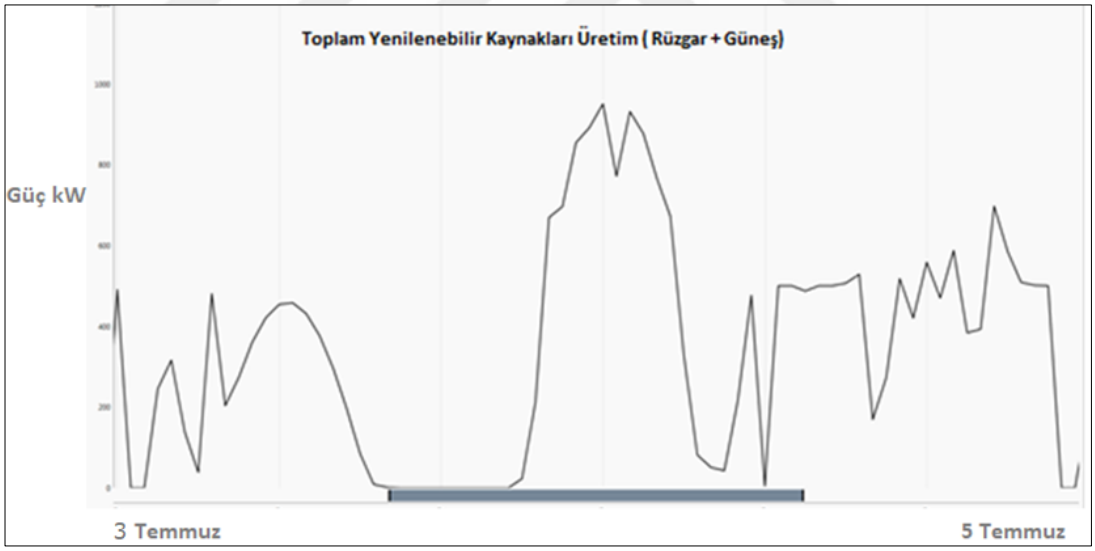
Elektrik üretiminin elektrik tüketiminden fazla olduğu ve elektrik satış fiyatının üretim fiyatından yüksek olduğu zamanlarda şebekeye elektrik satışı Şekil 4.13'te görülmektedir. Güneş ve rüzgar santrallerinin aynı zaman aralığında üretimlerinin olduğu durumlarda, ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi şebekeye satılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimsel değerlere bağlı olarak toplam üretim grafiği Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Toplam enerji üretim değeri 3 Temmuz gündüz saatlerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.13. Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim- Şebekeye Satış Grafikleri

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere, güneş ve rüzgar santrallerinin üretimlerinin aynı zaman diliminde yüksek olduğu durumlarda, tüketim fazlası elektrik enerjisi şebekeye satılmıştır.



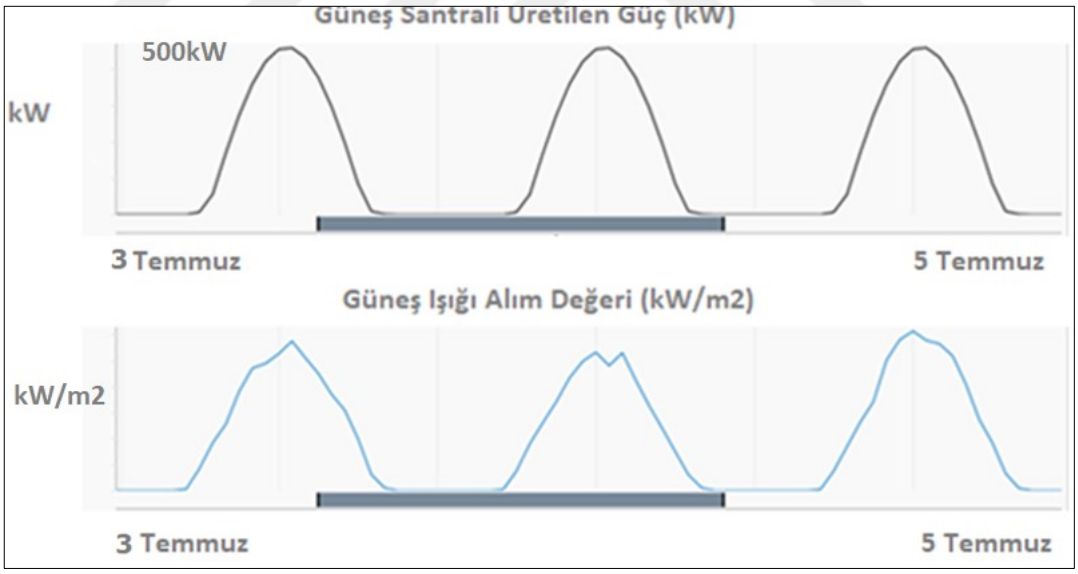
Şekil 4.14. Yenilenebilir enerji kaynakları toplam üretim grafiği

Rüzgâr ve güneş santrallerinin elektrik üretim performansları, ilgili enerji kaynaklarının değeri ile doğru orantılıdır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de güneş ve rüzgâr santrallerinin üretim performansları görülmektedir.



Şekil 4.15. Rüzgâr hızı – rüzgâr santrali üretim grafikleri

Rüzgar santralleri kurulu bulunduğu yerdeki anlık rüzgar hız değerine bağlı olarak üretim gerçekleştirirler. Şekil 4.15'te rüzgar miktarına bağlı olarak üretimin doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir.



Şekil 4.16. Güneş ışınımı – güneş santrali üretim grafikleri

Şekil 4.16'da 3 - 5 Temmuz arasındaki güneş takip sistemi olmayan güneş panellerinin üretim değerleri görülmektedir. Sabah saatlerinden itibaren güneşin doğuşuyla birlikte üretime başlayan güneş panelleri, öğle saatlerinde en yüksek güç değerine ulaşmıştır.

Yük talebinin yüksek olduğu saatlerde akıllı şebeke sistemi diğer santrallerin üretim kapasitesini arttırarak arz-talep dengesini sağlamıştır. 500kW gücündeki güneş ve

rüzgar santrallerinin üretim değerleri mevsimsel parametreler ile doğru oranda değişmiş, 200kW gücündeki kojenerasyon santralinin üretim değeri ve çalışma aralığı serbest piyasa elektrik alış fiyatına göre belirlenmiştir.

Rüzgar ve güneş enerjisi santrallerinin ürettiği elektrik enerjisinin şebekeye satışı konusunda devlet alım garantisinin dolar ile olması, bu santrallerin amortisman sürelerini düşürmüştür. 3,3 Milyon TL yatırım maliyetli 500kW güneş santrali kendini 4,48 yılda, 3,55 Milyon TL yatırım maliyetli 500kW Rüzgar Santrali ise kendini 4,38 yılda amorti etmiştir. 1,26 Milyon TL yatırım maliyeti olan 200kW gücündeki gaz motorlu Kojenerasyon Santrali kendini 2,38 yılda amorti etmiştir. Toplam amortisman süresi 3,91 yıl olarak hesaplanan sistemin üretim verimliliğinde akıllı şebeke işletme yönetimi direk etkili olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Dünya, Avrupa ve Türkiye'deki akıllı şebeke uygulamaları incelenerek verimliliği arttırılmış örnek bir akıllı şebeke sistemi kurulmuştur. Oluşturulan örnek sistemde; 500kW kurulu gücünde rüzgar enerjisi santrali, 500kW kurulu gücünde güneş enerjisi santrali ve 200kW kurulu gücünde kojenerasyon santralinin şebeke ve birbirleriyle uyum içinde çalışması Homer Pro programında analiz edilmiştir. Sistemdeki değişken şehir elektrik talebi doğrultusunda en düşük maliyetli enerji santrali öncelikli olmak üzere santrallerden elektrik enerjisi üretilmiştir.

Yapılan benzetim sonucunda toplamda 8,11 Milyon TL yatırım maliyeti ile oluşturulan örnek akıllı şebeke sisteminin 3,91 yılda kendini amorti ettiği, bu yıldan sonra yılda 2,07 Milyon TL kar ettirdiği gözlemlenmiştir. 3,3 Milyon TL yatırım maliyetli ile kurulan 500kW güneş enerjisi santrali kendini 4,48 yılda, 3,55 Milyon TL yatırım maliyetli ile kurulan 500kW rüzgar enerjisi santrali kendini 4,38 yılda, 1,26 Milyon TL yatırım maliyeti olan 200kW gücündeki gaz motorlu kojenerasyon santrali kendini 2,38 yılda amorti etmiştir. Örnek sistemin kurulduğu İstanbul ili mevsimsel rüzgar ve güneş alım değerleri rüzgar ve güneş santrallerinin üretim değerlerinde etkili olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve şebekeye entegrasyonunu teşvik etmek için devlet tarafından şebeke enerji satış tarifesi belirlenmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin ürettiği enerjide 10,4 Dolar Cent, rüzgar enerji santrallerinin ürettiği enerjide 9,3 Dolar Cent alım garantisi bulunmaktadır. USD/TL kurunun 5,48 olduğu benzetim süresince yenilenebilir enerji kaynakları mümkün olduğu ölçüde tam performans ile çalıştırılmışlardır. Güneş ve rüzgar enerji santrallerinden üretilen enerjinin bir kısmı şehir yükü tarafından tüketilmiş, bir kısmı ise şebekeye satılmıştır. Doğal gaz m^3 fiyatının 1,4 TL olduğu benzetim süresince 200kW elektrik ve 250kWth ısı üretim gücündeki kojenerasyon santrali sadece sistemdeki iç tüketimi karşılamak amacıyla çalıştırılmış olup, şebekeye elektrik enerjisi satmamıştır. Elektrik tüketim fiyatının yaklaşık 10kuruş/kWh olduğu gece tarifesince (22:00 – 06:00 saatleri arası) kojenerasyon santrali çalıştırılmamıştır. Benzetimi yapılan sistemde santrallerin ve şebeke elektrik ekipmanlarının periyodik bakım süreleri haricinde bir arıza ve kesinti

gerçekleşmemiştir. Akıllı şebeke yönetim sistemi enerji kalitesi ve enerji tedariğini sağlamak amacıyla şebeke içi enerji akışını verimli bir şekilde yönetmiştir. Merkezi üretime dayalı geleneksel şebeke yapısı ile kurulan aynı örnek sistemde yılda 10-12 defa plansız elektrik kesintisi yaşanırken, akıllı şebeke bileşenlerinin kullanıldığı ve enerji kaynak çeşitliliğinin sağlandığı sistemde hiç plansız kesinti yaşanmamıştır.

Elektrik şebekeleri enerjinin daha verimli ve düşük maliyetli üretilmesi, tedarikçi ve tüketici arasındaki elektronik iletişimin sağlanması, aynı zamanda akıllı sayaç ve izleme sistemlerinin eklenerek sistemin tam otomasyonu ve güvenliğinin sağlanması amacı ile küresel olarak değişime ve dönüşüme uğramaktadır. Her ülke kendi mevcut şebekelerinin yenilenmesini yaparak akıllı şebeke vizyon ve stratejilerini belirlemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimine katkı oranının ve enerji çeşitliliğinin her geçen yıl artmasıyla birlikte, şebekelerin yeni kaynaklara uyumluluğu ve yenilenmesi ile ilgili uluslararası normlar belirlenmiştir. Bilgi ve haberleşme teknolojilerinin daha yoğun kullanıldığı, elektrik kalite ve kullanım değerlerinin izlendiği, elektrik perakende satış ve elektrik alış-satış tarifelerinin belirlendiği, üretici ve tüketicilerin serbest piyasa düzeninde tanımlanıp rekabet edebildiği akıllı şebekeler; maliyet - tasarruf - verim üçgeninde değerlendirilerek, günümüz ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde inşa edilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Dünya ve Avrupa'da akıllı şebeke uygulama ve yatırım plan örneklerine bakıldığında ABD, Euro Bölgesi, Japonya, İngiltere, Kanada gibi gelişmiş ülkelerin akıllı şebeke uygulamalarında çok önde olduğu ve akıllı şebeke uygulamaları ve hedefleri için ödenek ve fonların çok yönlü oluşturulduğu görülmektedir. Gelişmekte olan Türkiye, Çin, Brezilya, Hindistan, Rusya gibi ülkelerde ise akıllı şebeke yatırım ve uygulama çalışmalarının başladığı bilinmektedir.

Kyoto Protokolü Taahhütü ve Avrupa Birliği müktesebatı gereğince, mevcut Türkiye elektrik şebekelerinde altyapı çalışmalarının devam etmesi, AB kriterleri doğrultusunda enerji üretim, iletim ve dağıtım hatlarının altyapısı modernize edilip, enerji analizörleri ve haberleşme – otomasyon sistemleri daha etkili bir şekilde sisteme eklenerek, farklı enerji üretim kaynaklarının sisteme tam entegrasyonu sağlanmalıdır. Ancak böylece elektrik hatlarındaki iletim ve dağıtım kayıpları azaltılıp, şebekelerdeki verimlilik arttırılacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Byon I., Survivability Of The U.S. Electric Power Industry, Master Thesis, Carnegie Mellon University, Information Networking Institute, Pittsburgh-Pennsylvania, 2000.

[2] Yıldırım S., Elektrik Alt Yapı Stratejik Planı 2015-2019 Raporu, *Türkiye Elektrik İletim A.Ş Genel Müdürlüğü*, 201519, 4-12, 2015.

[3] Touche D., Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,1214*, 48-55, 2014.

[4] Giordano V., JRC Reference Reports, *European Comission,* 24856 , 2-15, 2011.

[5] Pustu M., Yüksek Senaryoya Göre Türkiye 2017-2026 Yılları Brüt Elektrik Tüketim Tahmini Raporu, *Enerji Bakanlığı*, 1712 ,1-45, 2017.

[6] Oltaseven B.,Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, *7. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, Ankara, 06-07 Kasım 2018.

[7] Shafiullah G., Amanullah M., Shawkat M, Wolf P., Potential Challenges: Integrating Renewable Energy with the Smart Grid, *Proceedings of Australasian Universities Power Engineering Conference*, Christchurch, 5-8 December 2010.

[8] Gerkensmeyer C., The Smart Grid: An Estimation of The Energy and CO2, *U.S Department of Energy*, DE-AC05-76RL01830, 42-68, 2014.

[9] Kocaman B., Mikro Şebekeler için Örnek Bir Enerji Yönetimi Uygulaması, *BEU Fen Bilimleri Dergisi,* DOI: 10.17798/beufen.05193.

[10] Gulich O., Technologıcal And Business Challenges Of Smart Grids, Master Thesis, Lappeenranta University of Technology, Technology Institut, Lappeeranta, 2010.

[11] Kılıç, F., Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis *ve Makina*, 2015, **56**(671), 28-40.

[12] Kolhe M., Smart Grid: Charting A New Energy Future*, The Electricity Journal*, DOI: 10.1016/j.tej.2012.01.018.

[13] Gangale F., Smart Grid Projects, *European Comission*, EUR26651, 23-68, 2017.

[14] Šefčovič M., Smart Grids for A Smart Energy Union Report, *European Comission*, EUR22040, 82-84, 2016

[15] Altmaier P., Das Intelligentes Stromnetz des Deutschlands, *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,* BanzATB1, 2-15, 2014.

[16] Kabalci Y., Kabalci E., A Low Cost Smart Metering System Design For Smart Grid Applications. *8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, Pitesti, Romania, 2-4 November 2018.

[17] Altmaier P., Energy Modellprojekte und -Regionen, *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*, 11019, 32-38, 2018.

[18] Seitz R., Moller B., Thielmann A., Sauer A., Meister M., Nanotechnology in the Sectors of Solar Energy and Energy Storage, *IEC*, 427, 2-19, 2017

[19] Meeus L., Energy Performance of Buildings Report, *European Comission*, 2010/31/EU, 13-153, 2014.

[20] Poche M., Revised Energy Efficiency Directive, *European Comission*, 2012/27/EU, 42-76, 2016.

[21] Qader İ., Simulation of Hybrid Power System Consisting of Wind Turbine, FV, Storage Battery and Diesel Generation Network: Design, Optimization and Economical Evulation, Master Thesis, An-Najah National University, Institut of Energy, Nablus, 2014.

[22] Sigmar G., Erkenntnisse Zum Aufbau Und Zur Nutzung Intelligenter Energiesysteme, Smart Energy made in Germany, Im Rahmen der Energiewende, *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*, 142231, 11-28, 2014.

[23] Andreas K., Modellstadt Mannheim : Abschlussbericht ; Beiträge von moma zur Transformation des Energiesystems für Nachhaltigkeit, Beteiligung, Regionalität und Verbundenheit ; E-Energy - IKT -basiertes Energiesystem der Zukunf, *TIB,* DOI: 10.2314/GBV:778685772.

[24] Campbell J., The Smart Grid: Status And Outlook, *Congressional Research Service,* 7-5700, 1-17, 2018.

[25] Noriko, K., Japan's Four Major Smart Cities , *Ministerie van Economische Zaken*, 2595, 1-20, 2017.

KİSİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Yazıcı F.**, Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Yapısal Analizi, *ELECO 2018*, Bursa, Türkiye, 30 Kasım - 1 Aralık 2018.

[2] **Yazıcı F.**, Başoğlu M., Çakır B., Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Yapısal Analizi, *EMO Bilimsel Dergi,* **8**(2) , 121-127.

ÖZGEÇMİŞ

15 Nisan 1988 tarihinde Rize'de doğdu. İlk, Orta ve Liseyi aynı şehirde tamamladıktan sonra, Pamukkale Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2008-2009 yılları arasında Hochschule Biberach'ta Gebaeudeklimatik und Energiesysteme bölümünde lisans eğitimi gördü. Lisans bitirme tezini , 'Alçak gerilim elektrik tesislerinde, DIN EN 60909-0 ve VDE 0102 normlarına göre tek ve üç fazlı kısa devre akımlarının hesaplanması ' konulu olarak Erasmus Bursu kapsamında Elektro Rehm firmasında ve Hochschule Biberach Üniversitesi'nde yazdı. 2010-2011 yılları arasında Hochschule Mannheim ' da Automatisierungs- und Energiesysteme tezli yüksek lisans bölümünde eğitim gördü. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladı. Halen sahibi olduğu Tumurly Akıllı Teknoloji Sistemleri Ltd. Şti. firmasında Tübitak BIGG 1512 Projesi kapsamında AYÇA isimli Akıllı Güneş Enerji Sistemi Projesi Arge çalışmaları yürütmektedir.

Yabancı dilleri İngilizce ve Almanca olup, evlidir.