



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**TÜRKİYE'DEKİ BİR HANE İÇİN TÜM ENERJİ İHTİYAÇLARINI
KARŞILAYABİLECEK SIFIR EMİSYONLU ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİK ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİRAY BATURAY ÖZCAN

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

**YALOVA
ARALIK 2023**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

TÜRKİYE'DEKİ BİR HANE İÇİN TÜM ENERJİ İHTİYAÇLARINI
KARŞILAYABİLECEK SIFIR EMİSYONLU ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT
ENERJİ SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİK ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİRAY BATURAY ÖZCAN
205119009

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

YALOVA
ARALIK 2023

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “Türkiye'deki Bir Hane İçin Tüm Enerji İhtiyaçlarını Karşılatabilecek Sıfır Emisyonlu Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Uygulanabilirlik Çalışması” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Giray Baturay ÖZCAN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana bilgi birikimiyle gerçekten bir abi gibi her zaman destek olan sayın danışman hocam Doç. Dr. Sunay TÜRKDOĞAN’a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için, hayattaki en büyük şansım olarak gördüğüm aileme ve bu süreçte beni destekleyen arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Ayrıca, yüksek lisans eğitimim boyunca bana katkıda bulunan tüm değerli hocalarıma, saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine ayrıca (Proje No: 2022/YL/0003) teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık– 2023

Giray Baturay ÖZCAN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
SİMGELER	xi
KISALTMALAR	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xxiii
ÖZET.....	xxxi
ABSTRACT.....	xxxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	5
1.2. Hibrit Enerji Sistemleri	11
1.3. Türkiye’de Enerji Durumu	11
1.4. Dünyada Enerji Durumu	14
1.5. Güneş Enerjisi	17
1.5.1. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri.....	18
1.5.2. Fotovoltaik sistemler	18
1.5.3. Türkiye’de güneş enerjisi	21
1.5.4. Dünya’da güneş enerjisi	23
1.6. Rüzgâr Enerjisi	24
1.6.1. Türkiye’de rüzgâr enerjisi.....	25
1.6.2. Dünyada rüzgâr enerjisi.....	27
1.7. Elektrikli Araçlar.....	29
1.7.1. Saf elektrikli araçlar.....	32
1.7.2. Hibrit elektrikli araçlar	33
1.7.3. Plug-in hibrit elektrikli araçlar	34
1.7.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar	35
1.7.5. Türkiye’de elektrikli araçlar	36
1.7.6. Dünyada elektrikli araçlar.....	37
1.8. Enerji Depolama Sistemleri.....	37
2. METERYAL VE METOT	39
2.1. HOMER ile Güç Optimizasyonu ve Ekonomik Analiz	39



2.1.1. Sıcaklık ile FV panelin verimi arasındaki ilişki	43
2.1.2. Ev içinde tüketilen elektrik yükünün belirlenmesi	46
2.1.3. Elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik yükünün hesaplanması.....	55
2.1.4. Termal yükün belirlenmesi	58
2.1.5. Tasarlanan sistemlerin bağlantı şemaları.....	61
2.1.6. FV panel seçimi	63
2.1.7. Rüzgâr türbini seçimi.....	64
2.1.8. Akü seçimi	64
2.1.9. Konverter seçimi.....	65
2.1.10. Kazan seçimi.....	65
2.1.11. TLC seçimi	66
2.2. Yalova İli İçin Simülasyon Sonuçları	66
2.2.1. Simülasyon sonuçlarında yer alan parametreler	66
2.2.2. Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için simülasyon sonuçları	67
2.2.3. Termal yük talebinin dahil edildiği senaryolar için simülasyon sonuçları	75
2.2.3.1. Termal yük talebinin sadece kazan sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları	75
2.2.3.2. Termal yük talebinin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları	79
2.2.3.3. Termal yük talebinin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları	83
2.2.4. Yalova ili tüm senaryolar için HOMER ile yapılan simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	87
2.2.5. Yalova ili için PVGIS ile solar sistem analizi	92
2.2.6. Yalova ili için rüzgâr türbini ile gerçekleştirilen üretimin doğrulanması	94
2.3. Diğer coğrafi bölgelerdeki iller için simülasyon sonuçları	95
2.3.1. Antalya ili için simülasyon sonuçları	95
2.3.2. Erzincan ili için simülasyon sonuçları	96
2.3.3. İzmir ili için simülasyon sonuçları	96
2.3.4. Diyarbakır ili için simülasyon sonuçları	97
2.3.5. Ankara ili için simülasyon sonuçları	98
2.3.6. Sinop ili için simülasyon sonuçları	99
2.4. Tüm İller İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	99



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
3.1. Sonuçlar	105
3.2. Öneriler	106
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	117
TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER.....	117



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat
CO_2	: Carbon dioxide (karbondioksit)
kWh/m^2	: Kilo watt hour / square meter (kilo watt saat / metrekaare)
$\text{kWh/m}^2\text{-yr}$	: Kilo watt hour / square meter-year (kilo watt saat / metrekaare-yıl)
$\text{kWh/m}^2\text{/day}$	: Kilo watt hour/squaremeter/day (kilowatt saat/metrekaare/gün)
m/s	: Meter/second (metre/saniye)
I_{ph}	: Fotovoltaik hücrenin fotovoltaik akımı
I_{pv}	: Fotovoltaik hücrenin çıkış akımı
V_{pv}	: Fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimi
R_s	: Seri direnç
R_p	: Paralel direnç
R_{load}	: Yük direnci
I_0	: Ters diyot satürasyon akımı
k	: Boltzmann sabiti
Q	: Elektron yükü
T_c	: Hücre sıcaklığı
n	: Diyotun ideallik faktörünü
$E_G(T_c)$	: Sıcaklığa bağlı olarak bant aralığı enerjisi
$E_G(0)$	: Bant aralığının sınırlayıcı değeri
m_e	: Elektronun etkin kütlesi
m_h	: Hollun (deliğin) etkin kütlesi
h	: Planck sabiti
α	: Deneysel verilere en iyi uyumu sağlamak için seçilen sabit
B	: Deneysel verilere en iyi uyumu sağlamak için seçilen sabit
n_i	: Asal taşıyıcı yoğunluğu
P_{PV}	: FV hücrenin çıkış gücü
Y_{PV}	: FV hücrenin nominal kapasitesi
f_{PV}	: PV derating factor (FV oran azalma faktörü)
$\overline{G_T}$	: FV hücreye düşen güneş ışıınımı
$\overline{G_{T,STC}}$	: Standart test koşullarındaki güneş ışıınımı
α_P	: Güç sıcaklık katsayısı
T_c	: FV hücrenin sıcaklığı
$T_{c,STC}$	: Standart test koşulları altındaki
V_{hub}	: Rüzgar türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgar hızı
V_{anem}	: Anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızı
H_{hub}	: Rüzgar türbininin hub yüksekliği
H_{anem}	: Anemometre yüksekliği
H_0	: Yüzey pürüzlülük yüksekliği
r	: Rotor yarıçapı
ρ	: Hava yoğunluğu
A_{batt}	: Bataryanın otonomisi
N_{batt}	: Kullanılan batarya sayısı
V_{nom}	: Bataryanın nominal gerilimi
Q_{nom}	: Bataryanın nominal kapasitesi



$q_{\min}$: Bataryanın minimum şarj durumu %'si
 $L_{\text{prim,ave}}$: Ortalama primer yük





KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Ah	: Ampere Hour (Amper Saat)
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
CC	: Cycle Charing (Döngü Şarjı)
COE	: Cost of Energy (Birim Enerji Maliyeti)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EA	: Elektrikli Araçlar
EDS	: Enerji Depolama Sistemleri
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerjisi Santralleri
GW	: Giga Watt
GWh	: Giga Watt Hour (Giga Watt Saat)
HEA	: Hibrit Elektrikli Araçlar
HES	: Hibrit Enerji Sistemi
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (Multi Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEO	: International Energy Outlook (Uluslararası Enerji Görünümü)
İYM	: İçten Yanmalı Motor
LF	: Load Following (Yük Takibi)
LiFePO ₄	: Lityum Demir Fosfat
KF	: Kapasite Faktörü
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Hour (Kilo Watt Saat)
kWh/yr	: Kilo Watt Hour/Year (Kilo Watt Saat / Yıl)
L/yr	: Litre/Year (Litre/Yıl)
MtCO ₂	: Milyon Ton Karbondioksit
Mtoe	: Million Tons of Oil Equivalent (Milyon Ton Eşdeğer Petrol)
MW	: Mega Watt
mW	: Mili Watt
NPC	: Net Present Cost (Net Şimdiki Fiyat)
ODMD	: Otomobil Distribütörleri & Mobilite Derneği
PHEA	: Plug-In Hibrit Elektrikli Araçlar
Ren. Frac %	: Renewable Fraction (Yenilenebilir Oran)
REPA	: Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası
SEA	: Saf Elektrikli Araçlar
TJ	: Tera Joule
TLC	: Thermal Load Control (Termal Yük Kontrolör)
TLD	: Thermal Load Demand (Termal Yük Talebi)
Toe	: Total of Oil Equivalent (Toplam Eşdeğer Petrol)
TOGG	: Türkiye'nin Otomobil Girişim Grubu
TWh	: Tera Watt Hour (Tera Watt Saat)
V	: Volt
W	: Watt
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları



YES : Yenilenebilir Enerji Sistemleri
YHEA : Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar





TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. Motor tipine göre otomobil satış miktarı [65]	36
Tablo 2.1. Yalova için aylara göre ortalama güneş ışıınımı, rüzgâr hızı (50 m'de) ve sıcaklık verileri.....	40
Tablo 2.2. Seçilen coğrafi lokasyonlardaki sensörlere ait enlem ve boylam bilgileri	42
Tablo 2.3. Seçilen coğrafi lokasyonlara ait yıllık ortalama güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri	43
Tablo 2.4. Ölçüm sonuçlarından örnek bir bölüm	48
Tablo 2.5. 28 günlük saatlik toplam güç verileri	49
Tablo 2.6. Hafta içi günleri için saatlik toplam güç değerleri.....	50
Tablo 2.7. Hafta sonu günleri için saatlik toplam güç verileri.....	52
Tablo 2.8. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistem bileşenlerinin detaylandırılmış maliyetleri.....	73
Tablo 2.9. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda salınan emisyon miktarları.....	75
Tablo 2.10. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için kazan sistemi çalışma koşulları	77
Tablo 2.11. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı, dizel kullanılan senaryoda salınan emisyon miktarları	78
Tablo 2.12. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryoda salınan emisyon miktarları	79
Tablo 2.13. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda salınan emisyon miktarları	83
Tablo 2.14. Yalova ili tüm senaryolar için önerilen en uygun maliyetli sistemler	88
Tablo 2.15. Yalova ili tüm senaryolar için maliyetler	89
Tablo 2.16. Yalova ili tüm senaryolar için elektrik üretim, tüketim miktarları	90
Tablo 2.17. Yalova ili TLD'yi içeren senaryolar için termal yük üretim, tüketim miktarları.....	91
Tablo 2.18. Yalova ili tüm senaryolar için salınan emisyon miktarları	92
Tablo 2.19. Yalova ili sadece elektrik yükü içeren senaryo için güneş enerji potansiyeli	94
Tablo 2.20. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için illere göre NPC değerleri.....	100
Tablo 2.21. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için COE değerleri.....	100



Tablo 2.22. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için sistem bileşenlerinin maliyetleri.....	101
Tablo 2.23. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için elektrik üretim miktar ve oranları.....	102
Tablo 2.24. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryoda sistem bileşenlerinin özellikleri.....	103





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye’deki enerji arzı, tüketimi, üretimi ve CO2 emisyonu [33].....	12
Şekil 1.2. Türkiye’de enerji kaynaklarına göre üretim miktarları [33].....	13
Şekil 1.3. 2022 yılında Türkiye’de enerji kaynaklarına göre üretim oranı	14
Şekil 1.4. Ağustos 2023 itibariyle Türkiye’deki kurulu gücün enerji kaynaklarına oranı	14
Şekil 1.5. Dünya genelinde enerji arzı, tüketimi ve CO2 emisyonu [35].....	15
Şekil 1.6. Dünya genelinde enerji kaynaklarına göre üretim miktarları [36]	16
Şekil 1.7. Fosfor eklenerek oluşan n-tipi katkılama [42]	19
Şekil 1.8. Bor eklenerek oluşan p-tipi katkılama [42]	20
Şekil 1.9. Yüklenmiş FV hücresi [42].....	21
Şekil 1.10. FV hücre, FV modül, FV sistem [43]	21
Şekil 1.11. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) [40]	22
Şekil 1.12. Türkiye global radyasyon verileri (kwh/m2/day) [40].....	22
Şekil 1.13. Türkiye için güneşlenme süresi (saat) [40].....	23
Şekil 1.14. 2015-2030 yılları için “Net Sıfır Emisyon Senaryosu”nda güneş enerjisi üretimi tahmini [44].....	24
Şekil 1.15. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli atlası (REPA) [45]	26
Şekil 1.16. Türkiye’de rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç [45]	26
Şekil 1.17. Rüzgâr enerjisi santrallerinin Türkiye’deki toplam kurulu güce oranı [45]	27
Şekil 1.18. 2015-2030 yılları için “Net Sıfır Senaryosu”nda rüzgâr enerjisinden üretimi [50]	28
Şekil 1.19. 2015-2030 dönemi için “Net Sıfır Senaryosu” çerçevesinde kara rüzgâr gücü kapasitesi [50]	28
Şekil 1.20. 2015-2030 dönemi “Net Sıfır Emisyon Senaryosu” çerçevesinde açık deniz rüzgâr gücü kapasitesi [50]	29
Şekil 1.21. Elektrikli araç çeşitleri	31
Şekil 1.22. Saf elektrikli araçların yapısı [59].....	32
Şekil 1.23. Geleneksel ve hibrit elektrikli araçların yapıları [59]	33
Şekil 1.24. Plug-In hibrit elektrikli araçların yapısı [59]	34
Şekil 1.25. Yakıt hücreli elektrikli araçların yapısı [59].....	35
Şekil 2.1. Bir FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi [71-73].....	44
Şekil 2.2. Ölçüm düzenek yapısı.....	47
Şekil 2.3. Fluke 435 II güç kalite ve enerji analizörünün tek faz bağlantı şeması.....	47
Şekil 2.4. 28 günlük toplam yük profili	50



Şekil 2.5. Sadece hafta içi günleri için 20 günlük toplam yük profili.....	51
Şekil 2.6. Sadece hafta sonu günleri için 8 günlük toplam yük profili	53
Şekil 2.7. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için günlük elektrik yükü profili.....	54
Şekil 2.8. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için mevsimlik elektrik yükü profili.....	54
Şekil 2.9. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için yıllık elektrik yükü profili.....	55
Şekil 2.10. Seçilen elektrikli taşıtın teknik özellikleri	55
Şekil 2.11. Elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda günlük yük profili	56
Şekil 2.12. Elektrikli taşıtın haftalık şarj edildiği senaryoda günlük yük profili	57
Şekil 2.13. Elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda yıllık yük profili.....	57
Şekil 2.14. Elektrikli taşıtın haftalık şarj edildiği senaryoda yıllık yük profili.....	58
Şekil 2.15. Mevsimlik termal yük profili	59
Şekil 2.16. Yıllık termal yük profili	59
Şekil 2.17. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” için günlük yük profili	60
Şekil 2.18. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” için mevsimlik yük profili.....	61
Şekil 2.19. Sadece elektrik yüklerini içeren HES'in bağlantı şeması	61
Şekil 2.20. TLD'nin kazan ile karşılandığı senaryoda tasarlanan HES'in bağlantı şeması	62
Şekil 2.21. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda tasarlanan HES'in bağlantı şeması	62
Şekil 2.22. TLD'nin rezistif ısıtıcıyla karşılandığı senaryoda tasarlanan HES'in bağlantı şeması	63
Şekil 2.23. Yalova ili taşıtın günlük şarj edildiği senaryo için simülasyon sonuçları	68
Şekil 2.24. Yalova ili taşıtın haftada bir gün şarj edildiği senaryo için simülasyon sonuçları	69
Şekil 2.25. Yalova ili elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün şarj durumu	70
Şekil 2.26. Yalova ili elektrikli taşıtın haftada bir şarj edildiği senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün şarj durumu	70
Şekil 2.27. Yalova ili elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün aylara göre şarj durumu	71



Şekil 2.28. Yalova ili elektrikli taşıtın haftada bir şarj edildiği senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün göre şarj durumu	71
Şekil 2.29. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistem bileşenlerinin maliyetleri	72
Şekil 2.30. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistemin proje ömrü boyunca nakit akışı	73
Şekil 2.31. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda yıllık elektrik üretim ve tüketim miktarları.....	74
Şekil 2.32. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda aylara göre elektrik üretim miktarları	74
Şekil 2.33. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için simülasyon sonuçları	76
Şekil 2.34. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için aylara göre kazanın üretim miktarı.....	77
Şekil 2.35. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryo için simülasyon sonuçları	78
Şekil 2.36. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları	80
Şekil 2.37. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda elektrik üretim ve tüketim miktarları	81
Şekil 2.38. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda yıllık termal üretim ve tüketim miktarları.....	82
Şekil 2.39. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda aylara göre termal üretim miktarları	82
Şekil 2.40. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları	84
Şekil 2.41. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için termal üretim ve tüketim miktarları	84
Şekil 2.42. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için aylara göre termal üretim miktarları.....	84
Şekil 2.43. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistem bileşenlerinin toplam maliyetleri.....	85
Şekil 2.44. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistemde yer alan akünün günlere göre şarj durumu	85
Şekil 2.45. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistemde yer alan akünün aylara göre şarj durumu	86
Şekil 2.46. Yalova ilindeki müstakil evin Sketch Up ile tasarımı	93
Şekil 2.47. PVGIS ile analize göre aylara göre a) günlük ortalama ve b) aylık toplam elektrik üretim miktarı.....	94



Şekil 2.48. Antalya ili sadece elektrik yükü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	95
Şekil 2.49. Erzincan ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	96
Şekil 2.50. İzmir ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	97
Şekil 2.51. Diyarbakır ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	97
Şekil 2.52. Ankara ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	98
Şekil 2.53. Sinop ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları	99
Şekil 2.54. Tüm iller için sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak oluşturulan yenilenebilir enerji haritası.....	104



TÜRKİYE'DEKİ BİR HANE İÇİN TÜM ENERJİ İHTİYAÇLARINI KARŞILAYABİLECEK SIFIR EMİSYONLU ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİK ÇALIŞMASI

ÖZET

Elektrik üretimindeki fosil yakıt kullanımı nedeniyle atmosfere yayılan sera gazları, küresel ısınmaya sebep olarak, çevresel zararlara yol açmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların tükenmekte olan kaynaklar olması, bu kaynakların enerji ihtiyaçlarını karşılama açısından sürdürülebilir bir çözüm olmadığını göstermektedir. Bu nedenle birçok ülke, yenilenebilir enerji sistemlerine (YES) yönelmektedir. Türkiye’de de YES’e verilen önem, her geçen gün artmaktadır. Ayrıca, Türkiye, imzaladığı Paris İklim Antlaşması gereği, atmosfere yaydığı sera gazı miktarını azaltma taahhüdünde bulunmuştur. Türkiye’nin YES’e yönelmesindeki diğer bir neden de elektrikte dışa bağımlılığın önüne geçmektir. Enerji sektörü dışında, fosil yakıt kullanımının fazla olduğu bir diğer sektör de ulaşım sektörüdür. Bu nedenle son yıllarda, geleneksel taşıtlar yerine, elektrikli taşıtlar tercih edilmeye başlanmıştır. Tüm bu nedenler, atmosfere sera gazı yaymayan YES’in ve çevre dostu olan elektrikli taşıtların önemini her geçen gün artırmaktadır. YES’lerde enerji kaynağı olarak güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) kullanılmaktadır. Bu kaynakların dezavantajları, sürekli enerji üretememeleridir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, birden fazla YEK ve depolama ünitesi içeren hibrit enerji sistemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışma, Marmara Bölgesi’nde yer alan Yalova ilindeki müstakil bir evde yaşayan 4 kişilik bir ailenin gerçek enerji tüketim verilerini temel alarak yapılmıştır. Bu ailenin, elektrik ve termal yük taleplerini, sıfır emisyonlu, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sistemi (HES) ile karşılama sisteminin teknik ve ekonomik açıdan uygunluğu, HOMER programı kullanılarak araştırılmıştır. Enerji kaynağı olarak rüzgâr ve güneş enerjisi tercih edilmiştir. Çalışma ilk olarak, sadece elektrik yüklerinin dikkate alındığı bir senaryo için yapılmıştır. Elektrik yükü olarak, ev içindeki elektrik tüketimi ile ailenin kullandığı varsayılan bir elektrikli taşıtın şarj olması için gereken enerji miktarı, hesaba katılmıştır. Elektrikli taşıtın günlük ve haftalık şarj edildiği iki farklı senaryo incelenmiş ve taşıtın günlük şarj edilmesinin maliyet açısından daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemin net şimdiki fiyatı 29.813 \$ olarak bulunmuştur. Daha sonra, termal yük talebi de dikkate alınarak, termal yük talebinin üç farklı şekilde karşılandığı üç farklı senaryo dikkate alınarak çalışma tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, sadece elektrik yük taleplerinin sıfır emisyonlu bir sistemle karşılanabileceği, ancak termal yük talebinin sıfır emisyonlu bir HES ile karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada, Sketchup, Skelion ve PVGIS kullanılarak, önerilen en uygun maliyetli sistem için solar sistem analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Türkiye’deki her coğrafi bölgeden seçilen bir il için, sadece elektrik yüklerinin dikkate alındığı senaryo ile tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, en düşük net şimdiki fiyata sahip olan ilin İzmir (22.378 \$) olduğu, en yüksek net şimdiki fiyat değerinin ise Yalova ilinde kaydedildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Elektrikli araçlar, Hibrit enerji sistemleri, Sıfır emisyon, Sürdürülebilir enerji



FEASIBILITY STUDY OF AN OFF-GRID HYBRID ENERGY SYSTEM WITH ZERO EMISSIONS TO MEET ALL ENERGY DEMANDS OF A HOUSEHOLD IN TURKEY

ABSTRACT

Due to the emission of greenhouse gases into the atmosphere resulting from the use of fossil fuels in electricity generation, environmental damages are incurred, contributing to global warming. Additionally, the depletion of fossil fuels as finite resources indicates that they are not a sustainable solution for meeting energy needs. Consequently, many countries are increasingly shifting towards renewable energy systems (RES). The significance attributed to RES in Turkey is on the rise, aligning with its commitment under the Paris Climate Agreement to reduce greenhouse gas emissions. Another motivation for Turkey's focus on RES is to mitigate dependency on external sources for electricity. Beyond the energy sector, another sector characterized by excessive fossil fuel usage is transportation and in recent years, electric vehicles have been favored over traditional modes of transportation. All these reasons highlight the growing importance of emissions-free RES and environmentally friendly electric vehicles. RES utilize renewable energy sources such as solar and wind energy. However, these sources have the disadvantage of being intermittent by nature. To overcome this challenge, hybrid energy systems incorporating multiple RES and storage units are employed.

This study utilizes the HOMER program to investigate the technical and economic feasibility of meeting the electricity and thermal load demands of a four-person household residing in a detached house in the Yalova province of the Marmara Region with a zero-emission Hybrid Energy System (HES). Wind and solar energy are chosen as energy sources. Initially, the study is conducted for a scenario considering only electrical loads. The electricity load includes the household's electrical consumption and the energy required to charge an assumed electric vehicle used by the family. Two different scenarios of daily and weekly charging for the electric vehicle are examined, concluding that daily charging is more cost-effective. The net present cost of the proposed most cost-effective system for this scenario is found to be \$29,813. Subsequently, considering thermal load demands, the study is repeated with three scenarios addressing thermal load demand in different ways. The results are compared and analyzed. The study concludes that while the electricity load demands can be met with zero-emission systems, meeting thermal load with a zero-emission HES is not technically and economically feasible. Additionally, solar system analysis is conducted for the proposed most-effective system using Sketchup, Skelion and PVGIS.

The study is repeated for a selected province from each geographical region in Turkey, focusing on scenarios considering only electrical loads, and the results are compared and analyzed. The study identifies that İzmir has the lowest net present cost at \$22,378, while Yalova records the highest net present cost value.

Keywords: Renewable energy, Electric vehicles, Hybrid energy systems, Zero emissions, Sustainable energy



1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin refah seviyesini artırmak için son derece kritik bir öneme sahiptir. Enerji, iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. İnsanlığın varoluşundan beri enerji talebi mevcuttur. Yıllardır devam etmekte olan enerji üretimi, sera gazlarının atmosfere salınmasındaki en önemli etkenlerden biridir [1,2]. Enerji kaynakları, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları, kullanıldıkları zaman tükenme eğilimindedir, oysa yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklar YEK kategorisine örnek olarak verilebilirken, petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtlar ile uranyum, toryum gibi nükleer kaynaklar ise yenilenemez enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir [2].

Genellikle enerji talebinin giderilmesinde fosile dayalı kömür, petrol, doğal gaz gibi hidrokarbonlara öncelik verilmiştir ki bu durum sera gazlarının çevreye salınmasının temel nedenlerinden biridir. Bu yakıtların içeriğinde yüksek oranda karbon ve hidrojen bulunmaktadır ve yanmaları çevreye nitrojen oksit bileşimleri, sülfür oksitler ile karbon gibi insan sağlığı ve çevre için zararlı gazların yayılmasına yol açar [3]. Yayılan sera gazları, atmosferin yüzeyini ısıtarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bilim insanlarının ana endişelerinden biri, bu küresel ısınmanın devam etmesinin iklim değişikliklerine ve iklim krizlerine yol açabileceğidir. Bu nedenle, fosil yakıtların sürekli kullanılması durumunda, çevreye verdiği zararların düzeltilemez boyuta ulaşacağı bir gerçektir. Ayrıca fosil yakıtların oluşumu, yerkabuğuna milyonlarca yıl önce gömülen fosillere dayandığından, bu kaynakların yerine konabilmesi için uzun bir zaman gerekmektedir. Bu nedenle, bu kaynaklar yenilenemeyen kaynaklar olarak kabul edilmektedir [4].

Bu önemli endişeler ve sebepler nedeniyle, son yıllarda, güneş, rüzgâr, biyokütle gibi YEK'e dayalı enerji üretim sistemleri daha temiz ve güvenli oldukları için fosil yakıtlara dayalı sistemlerin yerine ülkeler tarafından tercih edilmeye başlanmıştır [5].

Ülkelerin yenilenebilir enerji sistemlerine (YES) yönelimlerini artıran nedenlerden biri de 196 ülke tarafından 2015 yılında kabul edilen Paris İklim Antlaşması'dır. Bu antlaşmanın temel amacı, yüzey sıcaklığının artışını 2 °C'nin altında tutmak, mümkünse 1,5 °C'nin altına çekmektir. Hedeflenen sıcaklık artışlarının aşılması,

kuraklık, sıcak hava dalgaları ve yoğun yağışlar gibi daha şiddetli iklim değişikliklerine yol açabilir. Bu nedenle, küresel ısınmayı en fazla 2 °C'nin altında tutabilmek için, ülkelerin 2030'a kadar sera gaz emisyonlarını %43 oranında azaltmaları gerekmektedir. Bu hedeflerin başarılması, iklim krizlerinin önüne geçmek için kritik öneme sahiptir. Bu hedeflere ulaşmak için, tüm ülkelerin emisyon azaltımına katkıda bulunması beklenmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerin, 2050 sonrası dönemde emisyonlarını sıfıra indirmesi gerekmektedir [6]. Paris İklim Antlaşması'nda yer alan ülkeler, dünyadaki emisyonların yaklaşık %96'sından sorumludurlar ve bu durum, antlaşmanın önemini vurgulamaktadır. 196 ülkeden biri olan Türkiye, dünya çapındaki emisyonlara katkısı ile 17. Sırada yer almaktadır [7]. Bu da Türkiye'nin karbon izini azaltma konusundaki önemini gözler önüne sermektedir. Türkiye mevcut emisyonu düşürmeye değil de emisyon artışını azaltmaya yönelik bir taahhütte bulunmuştur ve bu yeterli değildir. Türkiye, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminden uzaklaşmalıdır. Çünkü, gelecekte kömür gibi kaynaklara dayalı yatırımlar, uluslararası ticarete önemli yaptırımlarla karşı karşıya kalabilirler. Bu tür yatırımlar artık "riskli" bir konumda bulunmaktadır [8]. Bu nedenle, Türkiye gibi YEK konusunda büyük potansiyele sahip olan olan ülkelere, YEK'e yönelim son derece önemlidir.

Yenilenebilir enerjinin en avantajlı özellikleri arasında, fosil yakıtlara dayalı olmaması, hidrokarbon enerji kaynaklarına göre çok daha çevreci olması öne çıkmaktadır. Ayrıca bu enerji kaynakları, doğada kullanılmaya hazır olarak bulunmaktadır [4]. YES, son yıllarda daha fazla popülerlik kazanmış olsa da kökenleri gelişmiş ülkeler dahil olmak üzere, birçok ülkeyi etkileyen 1973 Petrol Krizi'ne kadar uzanmaktadır. Bu krizle birlikte, çeşitli ambargolar uygulanmış ve petrol fiyatları yüksek oranlarda artmıştır [9]. Bu etkiler, birçok ülke için enerji ihtiyaçlarını karşılamada YEK'e yönelme noktasında bir dönüm noktası olmuştur [10]. Bu durum, ülkelerin enerji alanındaki dışa bağımlılıklarının azaltılmasının ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Zira bir ülke enerji alanında dışa bağımlı olduğunda, çeşitli politik anlaşmazlıklar durumunda enerji kaynağını sağlayan ülkenin diğer ülkelere ambargo uygulaması söz konusu olabilir. Ambargo uygulanan bir ülkede elektrik kesintileri meydana geldiği zaman, sanayideki üretim düşebilir ve bu da ülkenin ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilir.

Türkiye'nin durumu ele alınırsa, ülkede sürekli artan nüfusla birlikte, enerji talebi de düzenli olarak artmaktadır. Yerel enerji üretimin artmasına rağmen, Türkiye hala doğal gazın büyük bir kısmını, ithalat yoluyla sağlamaktadır. Bu, Türkiye'nin enerji açısından dışa bağımlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin enerji stratejileri içindeki en önemli konulardan biri olarak, elektrik üretiminde yenilenebilir ve yerel enerji kaynaklarının payının artırılması öne çıkmaktadır [11].

YEK'in kesintili olma dezavantajı bilinmektedir. Örneğin; geceleri güneş enerjisinden faydalanmak mümkün değildir. Bu tür kesintileri azaltmak için, farklı YEK'i ve bu kaynaklardan üretilen fazlalık enerjiyi ihtiyaç halinde kullanılmak üzere depolayan enerji depolama sistemlerini (EDS) içeren hibrit sistemlere yönelme önem kazanmaktadır [12].

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde yer alan Yalova ilinde yaşayan dört kişilik bir aile referans alınmıştır. Bu aile tarafından ev içinde tüketilen elektrik yükü ve ailenin kullandığı varsayılan bir elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken enerji miktarı ile ailenin termal yük talebi (Thermal Load Demand-TLD), hesaba katılarak, HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources-Multi Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu) programı ile simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve maliyet açısından en avantajlı hibrit enerji sistemi (HES) tespit edilmiştir. Elektrikli taşıtın enerji ihtiyacının hesaba katılmasının temel nedeni, dünya genelinde sera gazı emisyonlarının yaklaşık %29'unu geleneksel içten yanmalı motora (İYM) sahip taşıtların oluşturmasıdır [13]. Bu nedenle, elektrikli taşıtın sisteme dahil edilmesi, literatüre sağlayacağı katkı bakımından son derece önemlidir. Elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik yükü sisteme tanımlanırken, iki farklı senaryo ele alınmıştır. İlk senaryoda, taşıtın kullanıldığı her gün, ikinci senaryoda ise haftada bir gün şarj edildiği varsayılmıştır.

Sistemde enerji kaynağı olarak, Türkiye'nin yüksek potansiyele sahip olduğu rüzgâr ve güneş enerjisi kaynakları tercih edilmiş olup, depolama ünitesi olarak lityum demir fosfat (LiFePO_4) aküler kullanılmıştır. Simülasyon ilk olarak, Yalova ili seçilerek, yalnızca elektrik yük talebi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. HOMER ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmadan sonra, sadece elektrik yükünün yer aldığı sisteme TLD eklenmiştir. TLD'nin 3 farklı şekilde karşılandığı, 3 farklı senaryo incelenerek simülasyon

çalışması tekrarlanmıştır. İlk senaryoda, sisteme bir kazan eklenerek, TLD'nin yalnızca kazan sisteminden karşılandığı dikkate alınmıştır. Kazan, enerji kaynağı olarak kullanılan bir yakıtın kimyasal enerjisini, yanma olayı ile ısı enerjisine dönüştüren cihazdır. Kazan sistemi içerisinde yer alan yanma odasına gönderilen yakıtın burada yanmasıyla, alev ve ısı üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Üretilmiş olan bu ısı, su gibi bir ısı taşıyıcı aracılığıyla dolaşım pompası veya diğer sistemler kullanılarak, ısıtılmak istenen yere ya da proses ünitesine ulaşmaktadır [14]. Kazan sisteminde dizel, motorin gibi sıvı-gaz yakıtlar, doğal gaz gibi gaz yakıtlar tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryoda, kazanın yakıt kaynağı olarak dizel ve doğal gaz olan iki farklı durum incelenmiştir. İkinci senaryoda, sisteme kazana ek olarak bir termal yük kontrolörü (Thermal Load Controlor-TLC) eklenmiştir. TLC, elektrik sistemi tarafından üretilen fazla enerjinin, termal yük talebini karşılamak için kullanılmasını sağlayan cihazdır. Bu sistemde, termal yük talebinin kazan sistemi ile elektrik sisteminin koordinasyonlu bir şekilde çalışması sonucu karşılandığı bir senaryo ele alınmıştır. Üçüncü senaryoda ise rezistanlı bir ısıtıcıdan geçen akım sayesinde, elektrik enerjisini doğrudan ısı enerjisine dönüştüren ve böylece istenilen bölgelerin ısıtılmasını sağlayan 5 kW'lık bir ısıtıcı kullanıldığı düşünülmüştür [15].

Sonuç olarak üç farklı senaryo için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş, simülasyon sonuçları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Daha sonra, SketchUP, Skelion ve PVGIS programları kullanılarak, Yalova ili için sadece elektrik yüklerinin yer aldığı senaryoda HOMER tarafından önerilen en uygun maliyetli sistem için, fotovoltaik (FV) sistem ile ilgili veriler tekrar analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Yalova ili için çıkan sonuçlar detaylı bir şekilde incelendikten sonra, sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için yapılan simülasyon çalışması, Türkiye'nin diğer tüm coğrafi bölgelerinden seçilen birer il için daha tekrarlanarak, çıkan sonuçlar karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın, bir ailenin tüm yük taleplerini, sıfır emisyonlu bir HES ile karşılayabilmenin teknik ve ekonomik açıdan uygunluğunu araştırması nedeniyle literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Literatür Özeti

HOMER programı, mikro şebeke tasarımı ve optimizasyonu için kullanılan bir yazılımdır ve konut, ticari, endüstriyel vb. tüm sektörlerdeki binalar ve alanlar için uygundur. Bu program, şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız enerji sistemlerinin tasarımının yapılmasını sağlayarak, en uygun bileşenlerin seçiminde ve bunların sistem içindeki miktar ve kapasitelerinin belirlenmesinde yardımcı olur. HOMER, simülasyon sürecini tamamladıktan sonra farklı bileşenleri içeren sistemlerin listesini sunar ve bunları, net şimdiki fiyat (Net Present Cost-NPC) kriterine göre sıralar. Bu, farklı konfigürasyonların teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesine ve karşılaştırılmasına olanak tanır. Aynı zamanda, kaynak varlığı veya yokluğu, maliyetlerin değişmesi gibi durumların sisteme etkilerini anlamak için hassasiyet analizi yapma fırsatı sunar [16]. Literatürde HOMER programı kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma mevcuttur ve bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Bekele ve Palm [17], Etiyopya’da ana elektrik şebekesine uzak bir bölgedeki çalışmalarını, HOMER yazılımı aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma, 1.000 kişiden oluşan 200 ailenin elektrik ihtiyaçlarının rüzgâr türbini, FV paneller, dizel jeneratör ve EDS içeren bir HES ile karşılanmasına yönelik bir fizibilite çalışmasıdır. Ayrıca, bu toplulukta bir okul ve sağlık merkezi de bulunmaktadır. Simülasyon sonuçları ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmada, önerilen en uygun maliyetli sistemin YEK’i içermediği ve bu durumun bir dezavantaj olarak görüldüğü belirtilmiştir. Önerilen bir başka sistemin de, maliyette %19’luk bir artışla, yenilenebilir kaynak kullanım oranını %51’e yükselteceği ve daha çevre dostu olması yönüyle mantıklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Türkay ve Telli [18], İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü’nde belirledikleri bir bölge için, HOMER programı aracılığıyla simülasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, seçilen bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelini belirlemek için enerji maliyet analizi uygulanmıştır. Ayrıca, sistem şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak ele alınmış ve depolama ünitesi olarak hidrojen seçilmiştir. İlgili sistemde, YEK olarak güneş ve rüzgâr seçilmiş olup sistemde ayrıca hidrojen tankı, yakıt hücresi ve dönüştürücü kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, şebekeye bağlı sistemin, şebekeden bağımsız sisteme göre daha yüksek

uyum potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, YEK'in geleneksel sistemlerle bir arada kullanılmasının, çalışma yapılan zaman dilimine göre daha uygun bir çözüm olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, YES'in yaygınlaşmasının önündeki en büyük engelin başlangıç maliyetlerin yüksek olması ve kaynaklara olan bağımlılık olduğunu da vurgulamıştır. Bununla birlikte, bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajları nedeniyle ise, YES'in rekabetçi olduğu da belirtilmiştir. Ek olarak, bu sistemlerin bileşenlerinin fiyatlarında meydana gelecek düşüşlerin, YES'i daha yaygın hale getireceğine dikkat çekilmiştir.

Ghasem ve diğ. [19], İran'ın doğusundaki 20'den az hane barındıran bölgelerde, elektrik ihtiyacının dizel jeneratörden karşılanmasının çevre ve insan sağlığı açısından endişe verici bir konu olduğunu göz önüne alarak, bu bölgelerde FV paneller ve dizel jeneratörler içeren bir HES'in fizibilite çalışmasını HOMER aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. Çalışma ayrıca, sistemde bataryanın olduğu ve olmadığı senaryoları da incelemiştir. Batarya kullanılmadığında, FV paneller tarafından üretilen fazla enerjinin kullanılmadığı ve bu nedenle, güneş enerjisinin olmadığı saatlerde dizel jeneratörün daha fazla çalışması sonucu çevreye daha fazla emisyon yayıldığı tespit edilmiştir.

Bentouba ve Bourouis [20], Cezayir'in güneybatısında yer alan büyük bir bölgeyi kapsayan bir konum için, alternatif enerji kaynaklarının teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliğini incelemek adına HOMER ile simülasyon çalışmaları yapmıştır. Normalde, seçilen lokasyonda elektrik talebi, dizel enerjisi ile sağlanmaktadır. İlgili çalışmada, FV panel, rüzgâr türbini ve yedek sistemi olarak kullanılan dizel jeneratör yer almaktadır. Bu çalışma, şebeke bağlantısı olmayan lokasyon için böyle bir HES'in, bölgedeki enerji talebinin tamamını karşılayabilecek nitelikte olduğunu göstermiştir. Ek olarak, üretilen fazla enerjinin, Mali'nin kuzeyinde ya da diğer sektörlerde kullanılmak üzere ihraç edilebilme potansiyeline de ilgili çalışmada dikkat çekilmiştir. Aynı şekilde, ilgili sistemin bölgedeki sera gazı salınımını da önemli ölçüde azaltacağı belirlenmiştir.

Rajbongshi ve diğ. [21], HOMER yazılımını kullanarak, FV paneller, biyokütle gazlaştırıcı ve dizel jeneratör içeren şebekeye bağlı bir sistem tasarlamışlardır ve bu sistemi farklı yük profillerine göre optimize etme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olma senaryolarını incelemişler ve

şebekeye bağlı bir sistem için, benzer yük profili koşullarında enerji maliyetinin, şebekeden bağımsız bir sistemden daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Jaman [22], rüzgâr ve jeotermal gibi kaynakların sınırlı olduğu uzak bir Bangladesh bölgesinde, FV paneller, dizel jeneratör ve hidrojen bazlı yakıt hücrelerinden oluşan bir HES için HOMER programıyla modelleme yapmış ve çeşitli analizler gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın temel hedeflerinden biri, Bangladesh'te dizel fiyatlarının yüksek olması nedeniyle, yakın gelecekte elektrik talebinin, sadece dizel jeneratörlerle karşılanmasını aşmaktır. Bu çalışma, fiyat açısından en uygun olan konfigürasyonu belirlemeye yönelik çalışmaları içermektedir. Sonuç olarak, hidrojen bazlı HES'in kullanımının, maliyet açısından avantajlı olduğu ve aynı zamanda CO₂ salınımının azaltılmasına önemli katkı sağlayarak, küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biri olan karbon emisyonlarını önemli, ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Türkdoğan ve diğ. [23], Yalova'daki bir çiftlik evi için HOMER programını kullanarak, bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, evin elektrik yük ihtiyacını karşılayacak ve şebekeden bağımsız olan en uygun maliyetli HES'i belirlemektir. Sistem, rüzgâr türbinleri ve FV panellerin yanı sıra, akü depolama ünitesini içermektedir. Kurşun asit ve lityum iyonunun yer aldığı iki farklı senaryo incelenmiş, teknik ve ekonomik bakımdan sistemler karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonuçları, lityum iyon akü grubunun kullanıldığı sistemin birim enerji fiyatı (Cost of Enerji-COE) ve teknik açıdan daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca dizel yakıt fiyatları, rüzgâr hızı gibi çeşitli parametrelerin farklı değerlere sahip olabileceğini göz önünde bulundurarak hassasiyet analizleri de bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş ve çeşitli senaryolar değerlendirilmiştir.

Elkadeema ve diğ. [24], Sudan'da yer alan bir bölgenin tarım ve sulama alanlarının elektrik ihtiyacını karşılamak için, FV paneller, rüzgâr türbini, dizel jeneratör ve dönüştürücü içeren bir sistem üzerinde simülasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın ana hedefi, bölgenin enerji ihtiyacını karşılayacak en uygun sistemi belirlemektir. Ayrıca, çeşitli parametreler için duyarlılık analizi de bu çalışmanın bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, referans alınan konum için en uygun sistemin, FV paneller, rüzgâr türbini, dizel jeneratör ve dönüştürücü içerdiğini

göstermektedir. Ayrıca, mevcut sisteme YEK'in entegre edilmesinin, emisyonları neredeyse %95 azaltılabileceği de tespit edilmiştir.

Rad ve diğ. [25], İran'da kırsal bir köyün, sıklıkla elektrik kesintilerine maruz kalan bir bölgesine, YEK'le elektrik sağlama potansiyelini araştırmışlardır. Bu çalışma, FV panelleri, rüzgâr türbinini, biyogaz jeneratörü ve yakıt hücresini içermektedir. Hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız olma senaryoları dikkate alınarak, simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, şebekeden bağımsız durum için, FV panelleri ve biyogaz jeneratörlerini kullanmanın ekonomik açıdan en uygun seçenek olduğunu göstermektedir. Şebekeye bağlı durum için ise, en ekonomik sistemin şebeke, FV panelleri, rüzgâr türbinini içerdiği ve şebekeden bağımsız en ekonomik sisteme göre, enerji maliyeti açısından yaklaşık %40-50 daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yakıt hücre kullanımının maliyetleri artırmasına rağmen, sistem esnekliğini artırma gibi olumlu etkileri olduğu da gözlemlenmiştir.

Türkdoğan ve diğ. [26], Manisa'nın Gördes bölgesini seçerek, HOMER ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirmiştir. Çalışmada ilgili bölgenin seçilme nedeni, bu bölgenin güneş ve rüzgâr potansiyeli açısından Türkiye'nin ortalama verilerine yakın olmasıdır. Çalışmada, 40 haneye sahip, 160 kişilik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler ile karşılandığı senaryoları dikkate alarak, tekno-ekonomik analizler gerçekleştirmektedir. HOMER tarafından önerilen en ekonomik sistem, FV panelleri, rüzgâr türbinini, enerji depolama sistemini, jeneratörü ve dönüştürücüyü içermektedir. Ayrıca, termal yük, sisteme elektrik yükü olarak da tanımlanarak, bu senaryonun sonuçları da ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Tüm çalışmalar göstermiştir ki, şebekeden bağımsız olarak tasarlanmış sistem birim maliyet açısından, Türkiye'nin farklı bölgeleri için farklı değerler taşımaktadır. Ayrıca, bu çalışma, bataryaların etkin bir şekilde kullanılmasının ve jeneratörün atık ısısının sistem için olumlu yönde etkiler sağlayabileceğini de vurgulamıştır.

Dawood ve diğ. [27], tamamen YES'ten meydana gelen ve şebekeden bağımsız bir sistem için simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, hidrojen temelli depolama ünitesine sahip bir sistemi incelemişler ve geleneksel dizel jeneratör kullanılan sistem ile karşılaştırmışlardır. Sistemde yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi seçilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları, birçok

senaryonun teknik olarak uygulanabilir olduğunu gösterse de hidrojen bataryasına sahip olan HES'in en uygun maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, önerilen en uygun maliyetli HES'in uzak topluluklara, uygun maliyetli bir şekilde enerji sağlama potansiyeli olduğu ve aynı zamanda, dünyadaki karbon ayak izinin azaltılmasına önemli ölçüde katkılar sunabileceği vurgulanmıştır.

Xing ve diğ. [28], çoğunlukla AC elektrik yüklerini ele alan YES'le ilgili çalışmalardan farklı bir perspektif sunmuşlardır. Çalışma, tüketici tarafından ihtiyaç duyulan AC yük, elektrikli taşıt için gereken DC yük ve termal yükleri içeren bir dizi yükü ele almaktadır. Çalışmalarında, FV paneller, enerji depolama sistemi, yakıt hücresi, doğal gaz kazanı, TLC ile konvertör kullanmışlardır. Çalışma sonuçları, TLC'nin FV panelin optimum çalışmasında ve sera gazı salınımının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, TLC'nin ihmal edildiği senaryodaki sonuçların önemli ölçüde değiştiği ve maliyetleri artırdığı gözlemlenmiştir. FV panellerin ve EDS'nin ihmal edildiği bir başka çalışma ise, FV panelin kullanılmadığı senaryoda sonuçların olumsuz yönde değiştiğini ve sera gazı salınımının ciddi ölçüde arttığını göstermektedir.

Türkdoğan [12], bir ailenin enerji ihtiyacının alternatif kaynaklarla karşılanabilirliğini araştırmak için, HOMER programını kullanarak, bir simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, ailenin ulaşım için gereken enerji ihtiyacı da dikkate alınmıştır. Ayrıca, gelecekteki olası fiyat avantajlarının sisteme olumlu katkılarını tahmin edebilmek amacıyla, hassasiyet analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları bileşenlerin fiyatlarının yarı yarıya düşmesi durumunda, enerji fiyatlarının %26,4 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Bu da YEK'le enerji üretme maliyetinin fosil yakıtlarla üretilen enerji maliyetlerine yakın veya ondan daha düşük olabilme ihtimalinin söz konusu olduğunu göstermektedir. Ayrıca tasarlanan sistem, konuttaki elektrikli cihazlar ile elektrikli taşıt için gereken yük talebini YEK'ten karşılayacağı için çevresel etkileri de en az seviyede olacaktır [12].

Ekren ve diğ. [29], İzmir ilindeki bir şarj istasyonunun enerji ihtiyacının güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerini içeren HES ile sağlandığı durum için, HOMER programını kullanarak bir simülasyon ve analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, farklı model rüzgâr türbinleri ve güneş panellerinin kullanıldığı

senaryoları ele alarak, maliyet açısından en uygun olan sistemi belirlemiş ve incelemişlerdir.

Aziz ve diğ. [30], Irak'taki bir konut örneği üzerinden hareketle, FV paneller ile batarya depolama sistemini içeren ve şebekeye bağlı bir HES için, HOMER programını kullanarak bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmada, HOMER içerisindeki MATLAB linkinden faydalanarak, özgün bir modelleme stratejisi geliştirmişlerdir. Ardından, MATLAB ile modifiye edilmiş olan bu strateji ile HOMER'daki stratejileri karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçları, modifiye edilen stratejinin mevcuttaki stratejilere göre daha ideal ve uygun maliyetli olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, değiştirilmiş stratejiye sahip olan sistemin mevcut sistemlere göre daha az emisyon yaydığı da görülmüştür.

Türkay ve Ayan [31], Türkiye'deki 21 ilin güneş ışıınımı ve rüzgâr hızı verilerini temel alarak, HES'lerle ilgili geniş bir analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, HOMER programından yararlanılmıştır ve hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız sistemler üzerine odaklanmışlardır. Analiz sonucunda, tüm iller için bulunan en uygun maliyetli sistemler incelendiğinde, en düşük NPC'ye sahip sistemin Çanakkale, en yüksek NPC'ye sahip olan sistemin ise Artvin ili için önerildiği görülmüştür. Ayrıca, sistemdeki bileşenlerin maliyetleri ile rüzgâr hızı ve güneş ışıınımı değerlerinin değişmesi durumunda sistemde meydana gelecek değişiklikler de incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, rüzgâr hızı ile güneş ışıınımı miktarlarının artması hem şebekeye bağlı ve hem de şebekeden bağımsız sistemlerin maliyet ve yaydıkları emisyonları azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, rüzgâr ve güneş potansiyeli daha yüksek olan illerin parametre değişikliklerinden daha az etkilendiği de vurgulanmıştır.

Guelleh ve diğ. [32], Cibuti'nin Tadjourah ilindeki yüksek COE sorununa dikkat çekmek amacıyla, HOMER programı ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bölgenin güneş, rüzgâr gibi YEK açısından potansiyelinin yüksek olması, bu bölgedeki konutlarda, YES'in kullanılmasının maliyet açısından avantaj yaratabileceği düşüncesini desteklemektedir. Araştırmanın sonuçları, HES'in maliyetinin şebekeye bağlı sistemlere kıyasla %51 daha düşük olduğunu göstermektedir.

Elde edilen literatür özeti, HOMER programı kullanılarak gerçekleştirilen, bir dizi HES simülasyon çalışmasının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu tez çalışması,

önceki birçok çalışmadan farklı olarak, bir ailenin hem elektrik hem de termal yükünü dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik yükü belirlenirken, ev içindeki enerji tüketimiyle birlikte, ailenin kullandığı varsayılan bir elektrikli taşıtın enerji ihtiyacı da dikkate alınmıştır. Elektrikli taşıtın iki farklı şarj durumu ele alınarak karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, ailenin termal yük ihtiyacını da içeren üç farklı senaryo, ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu tez çalışmasının temel motivasyonu ise, müstakil bir evde yaşayan dört kişilik bir ailenin yük ihtiyacını sıfır emisyonla karşılamanın teknik ve ekonomik açıdan uygunluğunu araştırmaktır.

1.2. Hibrit Enerji Sistemleri

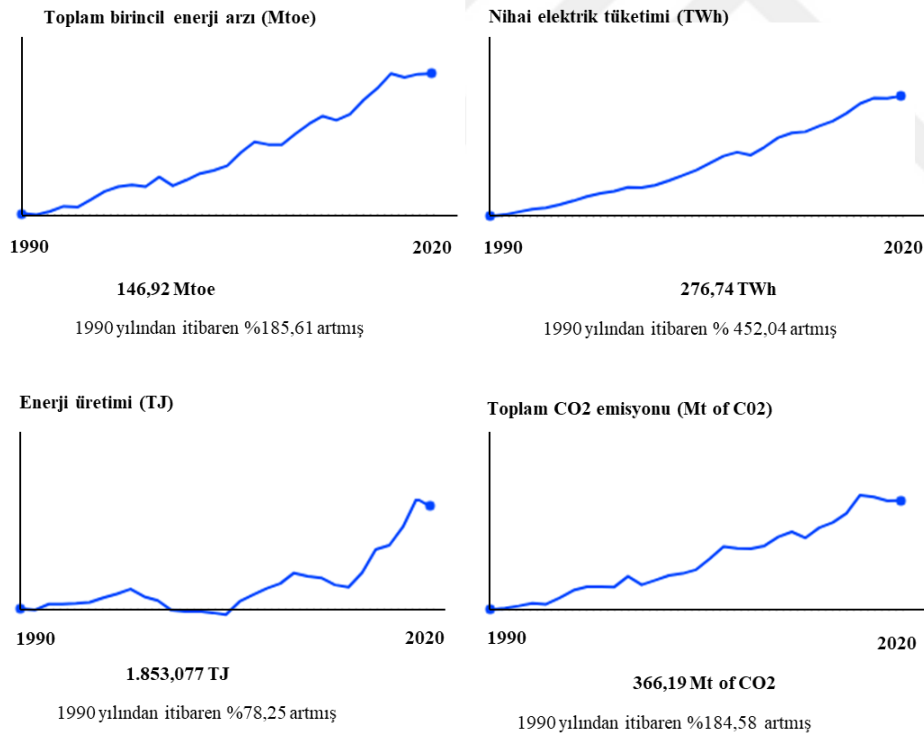
Uluslararası Enerji Görünümü (International Energy Outlook-IEO) verilerine göre, dünya genelinde her geçen gün artan enerji talebi nedeniyle 2012-2040 arasında enerji tüketiminde %48’lik bir artış gözlemleneceği öngörülmektedir. Enerji talebinin karşılanmasında yaygın olarak tercih edilen fosil yakıtların ömrü sınırlıdır ve bu yakıtların yakılmasıyla yayılan sera gazları küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, enerji talebini karşılama konusunda YEK’e yönelme kritik bir öneme sahiptir. YEK’in sürekli enerji üretememelerinden dolayı, farklı YEK’in birlikte kullanıldığı HES’leri tercih etmek son derece önemlidir. HES’ler, enerji sistemlerinin daha kararlı ve güvenilir hale gelmesine katkıda bulunurlarken çevreye daha az sera gazı yayılmasını sağlayarak çevresel sürdürülebilirliği artırır. Bu sistemlere, üretilen fazlalık enerjiyi depolayan ve depolanan enerjinin ihtiyaç halinde tekrar kullanılmasını sağlayan EDS’nin dahil edilmesi de hem enerji talebinin karşılanması hem de sürdürülebilir enerji için avantaj sağlamaktadır. HES’ler şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı olarak tasarlanabilen esnek enerji üretim kaynaklarıdır. Bu çeşitlik, enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın aşılması konusunda avantaj sunar. Sonuç olarak, mevcut araştırmalar, HES’lerin giderek artan bir şekilde tercih edildiğini ve enerji sektöründeki paylarının daha da büyüyeceğini göstermektedir [31].

1.3. Türkiye’de Enerji Durumu

Son yıllarda artan enerji talebiyle birlikte, enerji ithalatı yükselmiştir ve bu nedenle Türkiye, enerji kaynaklarının güvenliği konusuna daha çok önem vermeye başlamıştır. Bu çerçevede, yerli petrol ve doğalgaz gibi kaynakları arama, keşfetme

ve enerji üretiminde kullanılan kaynak çeşitliliğini artırma politikalarını uygulamış ve özellikle YEK ile üretime daha fazla yönelmiştir [33].

1974 yılında kurulan ve Türkiye'nin de kurulduğu yıl üyesi olduğu Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA), enerji ile ilgili küresel çapta analizler yaparak, politika oluşturma süreçlerine önemli katkılar sunan bir kuruluştur. IEA'nın Türkiye ile ilgili paylaşmış olduğu grafikler Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, 2020 yılında toplam birincil enerji arzının 146,92 MToe olduğu görülmektedir. Bu değer, 1990 yılındaki 51,44 MToe değerine göre %185,61'lik bir artışı temsil etmektedir. Ayrıca, 2020 yılında 276,74 TWh'ye ulaşan nihai enerji tüketiminde ise, 1990 yılına göre %452,04'lük bir artış görülmektedir. 2020 yılındaki enerji üretimi 1.853,077 TJ ve CO₂ emisyonu ise 366,6 MtCO₂ olarak kaydedilmiştir. 1990 yılına göre emisyon miktarındaki %184,72'lik artış dikkate alındığında, YEK'e yönelmenin ne kadar kritik olduğu bir kez daha vurgulanmaktadır [33].

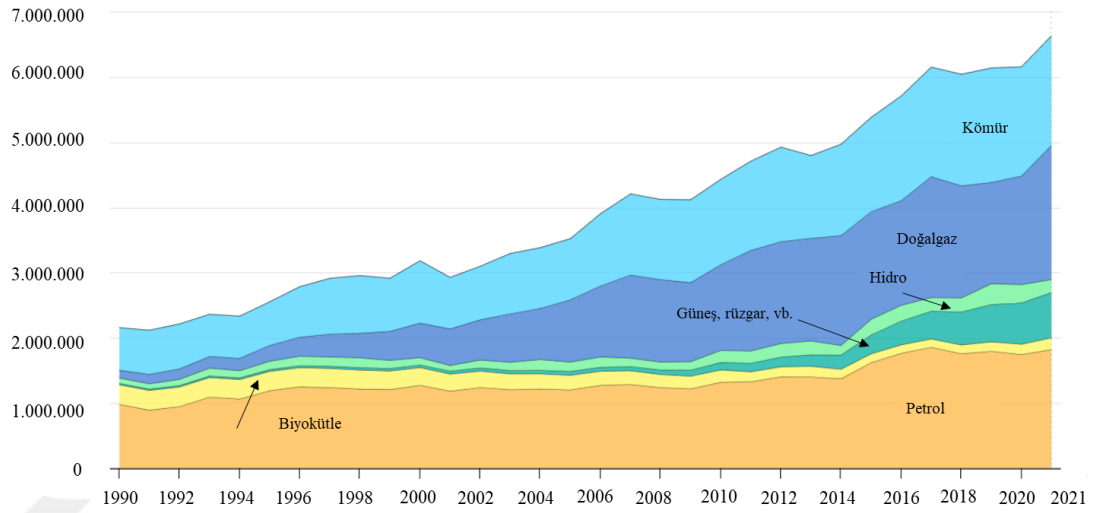


Şekil 1.1. Türkiye'deki enerji arzı, tüketimi, üretimi ve CO₂ emisyonu [33]

Şekil 1.2, 1990-2021 yılları arasında Türkiye'deki enerji kaynaklarının üretimdeki payını TJ birimiyle göstermektedir. 1990 yılında 979.796 TJ'lik üretim payı ile en fazla tercih edilen enerji kaynağı petrol iken, 2021 yılında doğal gaz, 2.056.383 TJ'lik üretim ile lider konumdadır. Petrol de aynı yıl 1.820.021 TJ'lik üretim değeri

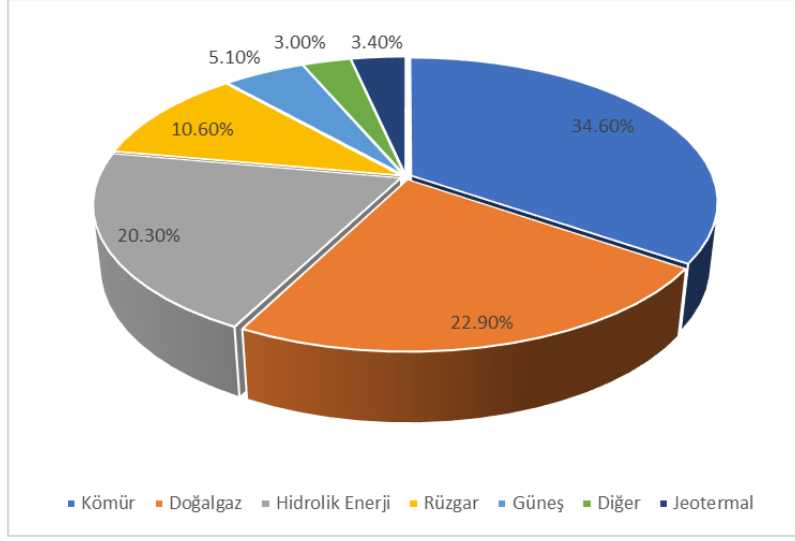
ile ikinci sıradadır. 2021 yılında üçüncü sırada tercih edilen enerji kaynağı ise, 1.680.997 TJ'lik üretim ile kömür olmuştur. 1990 yılında, güneş, rüzgâr vb. gibi YEK'ten elde edilen üretim ise sadece 19.309 TJ'dür. Ancak, 2021 yılında bu kaynaklardan elde edilen üretim, 673.176 TJ'lük bir artışla 692.485 TJ'ye yükselmiştir. Dünya genelinde nükleer enerji ile üretim yapılırken, Türkiye'de henüz nükleer enerji kaynağı ile üretim gerçekleştirilmemektedir [33].

Enerji kaynaklarının dağılımı (TJ)



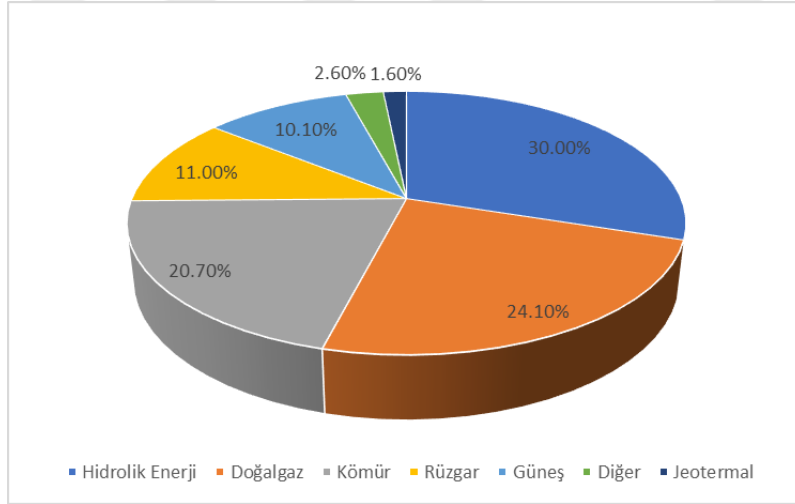
Şekil 1.2. Türkiye’de enerji kaynaklarına göre üretim miktarları [33]

2022 yılında Türkiye’deki elektrik üretimi 328,3 TWh, tüketim ise 331,1 TWh olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1.3 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yayınladığı verilere dayanarak, Türkiye’de 2022 yılında üretilen enerjinin kaynaklara göre dağılımını göstermektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere, en büyük üretim payı %34,6 ile kömür kaynaklıdır. Diğer enerji kaynakları, üretimdeki oranlarına göre %22,9 ile doğal gaz, %20,3 ile hidrolik enerji, %10,6 ile rüzgâr enerjisi, %5,1 ile güneş enerjisi, %3,4 ile jeotermal ve %3 ile diğer enerji kaynakları şeklinde sıralanmıştır [34].



Şekil 1.3. 2022 yılında Türkiye’de enerji kaynaklarına göre üretim oranı

2023 yılında, Ağustos ayının sonuna kadar olan dönem baz alındığında, Türkiye’deki toplam kurulu gücün 105.417 MW’ya ulaştığı, aynı bakanlığın resmi sitesinde görülmektedir. Ayrıca, bu kurulu gücün enerji kaynaklarına göre oransal dağılımı Şekil 1.4’te sunulmaktadır. Bu verilere göre, en yüksek kurulu güç hidrolik kaynaklı enerji santrallerine aittir [34].

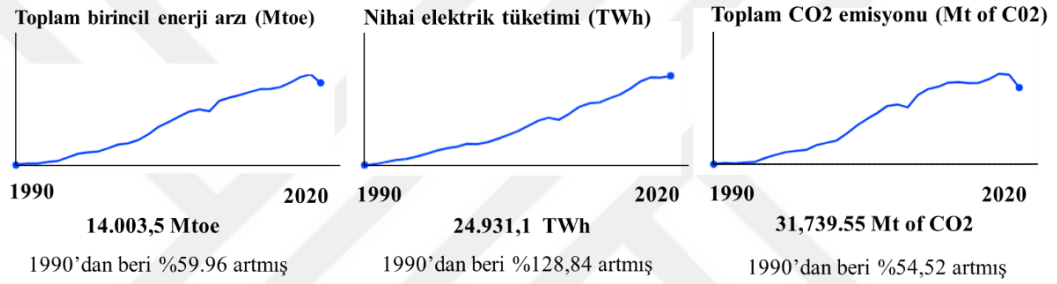


Şekil 1.4. Ağustos 2023 itibariyle Türkiye’deki kurulu gücün enerji kaynaklarına oranı

1.4. Dünyada Enerji Durumu

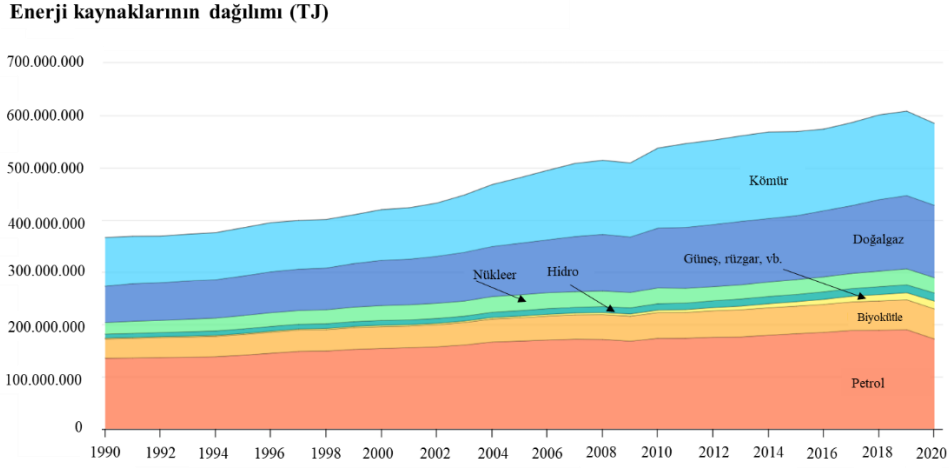
IEA, 1990-2020 zaman aralığındaki dünya genelinde toplam birincil enerji arzını, tüketilen enerji miktarı ile çevreye yayılan CO₂ emisyonlarını gösteren Şekil 1.5’teki grafikleri yayınlamıştır [35]. Birincil enerji kaynakları kategorisinde, petrol, doğal

gaz, güneş gibi herhangi bir değişim ya da dönüşüm geçirmemiş enerji kaynakları yer almaktadır [2]. 1990 yılında 8.754,26 Mtoe olan birincil enerji kaynağı arzı, 2020 yılında 14.003,5 Mtoe değerine ulaşmıştır. Grafikler incelendiğinde, elektrik tüketiminin 2020 yılında %128,84 oranında artış göstererek 1990 yılındaki 10.894,55 TWh'den 24.931,1 TWh'e ulaştığı ve elektrik tüketimiyle birlikte dünya genelinde çevreye salınan CO₂ miktarının da yükseldiği açıkça görülmektedir. CO₂ emisyon miktarı 30 yıl sonunda %54,52'lik bir artış göstermiş olsa da, emisyon miktarının 2018 yılından itibaren düşmeye başlamış olması umut verici olarak değerlendirilebilir. Fakat 2020'deki düşüşün Covid-19'un etkisi ile olma durumu da söz konusudur [35].



Şekil 1.5. Dünya genelinde enerji arzı, tüketimi ve CO₂ emisyonu [35]

Şekil.1.6, dünya genelinde enerji kaynaklarının üretimdeki dağılımını göstermektedir. Üretimde en fazla kullanılan enerji kaynağı petroldür. Petrolden 1990 yılında 135.397.145 TJ, 2020 yılında ise 172.286.149 TJ üretim gerçekleşmiştir. En çok kullanılan ikinci enerji kaynağı ise, kömürdür. Kömürden enerji üretimi, 1990 yılında 93.022.054 TJ iken, bu değer artarak 2020 yılında 156.636.851 TJ'ye ulaşmıştır. Üretime katkı açısından en düşük paya sahip olan kaynaklar ise, rüzgâr, güneş vb. gibi YEK'tir. YEK'ten üretim, 1990 yılında 1.533.061 TJ iken, 2020 yılına gelindiğinde 14.830.185 TJ'ye yükselmiştir. [36].



Şekil 1.6. Dünya genelinde enerji kaynaklarına göre üretim miktarları [36]

IEA'nın "Renewable 2022" raporunda 2022 yılından itibaren etkisi güçlü bir şekilde hissedilen Rusya-Ukrayna savaşının enerji politikaları üzerindeki etkileri vurgulanmıştır. Bu savaşın en önemli etkilerinden biri, fosil yakıt fiyatlarındaki artışlardır ve bu durum, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını güneş, rüzgâr gibi YEK'ten karşılama konusuna verdikleri önemi artırmıştır. 2022-2027 döneminde dünyadaki yenilenebilir enerji büyümesinin bir yıl önce yayınlanan rapordaki tahminlere göre %30 daha fazla olacağı öngörülmektedir. Raporda, üretimde YEK'in payının 2025 yılının başlarında kömürü geçeceği ve 2027 yılına gelindiğinde ise %38'lik katkı ile en çok paya sahip olacağı beklentisi vurgulanmaktadır. Özellikle, rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretiminde bir artış beklenmekle birlikte, hidroelektrik, biyoenerji, jeotermal gibi YES'teki büyümenin daha sınırlı olacağı öngörülmektedir. En çok büyümenin FV panel kurulu gücünde meydana geleceği, kurulu gücün yaklaşık üç katına çıkacağı ve büyümenin 1.500 GW olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, 2027 yılına gelindiğinde FV panel kapasitesinin doğal gaz ve kömürden daha çok paya sahip olacağı belirtilmektedir. Rüzgâr kapasitesinin ise yaklaşık iki katına çıkacağı ifade edilmektedir. Rapordaki tahminlere göre, 2027 yılına kadar Çin'deki büyüme en az 1.070 GW, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) büyüme en az 280 GW, Avrupa'daki büyüme en az 425 GW, Latin Amerika'daki büyüme en az 130 GW, Hindistan'daki büyüme ise en az 145 GW olacaktır. Raporda öngörülen büyümenin özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi kaynaklı sistemlerde olacağı vurgulanmaktadır [37].

Ayrıca, ülkelerin YES'e yönelik politika belirsizlikleri, mali zorluklar, zayıf şebeke altyapıları vb. problemler giderilirse, dünyadaki yenilenebilir enerji kapasitesinin 3.000 GW kadar artacağı tahmin edilmektedir. Böylece, 2050 yılı için hedeflenen sıfır emisyon hedefine ulaşma ihtimali daha da artacaktır [37].

Bu tez çalışmasında, güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarına odaklanıldığından, bu iki enerji kaynağının önemine, bu kaynaklardan enerji üretme yöntemlerine ve güneş ile rüzgâr enerjisinin dünya genelinde ve Türkiye'deki durumunda dair bilgi sunulmaktadır.

1.5. Güneş Enerjisi

Güneş, 1.400.000 km çapına sahip, doğal ve sürekli bir füzyon reaktörüdür. Güneşten enerji, hidrojen atomlarının birleşerek helyum atomlarına dönüşmesiyle elde edilmektedir. Ne var ki, bir yılda dünyaya gelen güneş enerjisinin sadece 20 binde biri kullanılmaktadır [38]. Yaklaşık $3,9 \cdot 10^{26}$ W güç yayan güneşten dünya atmosferinin dış yüzeyine, metrekaresi başına yaklaşık 1.367 W güç ulaşmaktadır [40].

Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre üstün bir potansiyele sahiptir. Bu kaynak, hiç tükenmeyecek bir enerji sunar ve aynı zamanda çevre dostu bir enerji türüdür. Güneş Enerjisi Santralleri (GES), sera gazlarının salınımını minimumda tutar. Ayrıca, fosil yakıt kaynaklı sistemlerin yerine kullanılması, emisyonların neden olduğu sağlık sorunlarının azalmasına katkı sağlar. Fosil yakıtlı enerji santrallerinde su kullanılmaktadır ve buna bağlı olarak kuraklık riski oluşmaktadır. GES'in tercih edilmesiyle bu riskin de önüne geçilebilir. GES, fosil yakıt teknolojilerine göre daha çok iş gücü gereksinimine sahip olduğundan bu santrallerin artmasıyla oluşacak istihdam imkanları sayesinde işsizlik oranı da azalacaktır. GES'in diğer önemli avantajı ise enerjide dışa bağımlılığı azaltma potansiyeline sahip olmasıdır. GES, yüksek kurulum maliyetlerine sahip olsa da teknolojik gelişmeler sayesinde FV panellerinin maliyeti sürekli azalmaktadır. Ayrıca bu santrallerin işletme maliyetleri düşüktür ve sistemdeki bir modül arızalansa bile, diğer modüllerle üretime devam edebilme avantajı bulunmaktadır [39].

Fosil yakıtların tükenecek olma ihtimali ve bu yakıtların yakılmasıyla yayılan sera gazlarının çevreye zarar vermesi gibi nedenlerle YEK'e ve özellikle güneş enerjisine olan ilgi, her geçen gün artmaktadır [40]. Bununla birlikte, güneş, tükenmeyen bir

kaynak ve dünyadaki tüm enerji talebini karşılayacak bir potansiyele sahip olmasına rağmen, toplam elektrik üretiminde sınırlı bir rol oynamaktadır. Bu durumun başlıca nedenlerinden biri, GES'in kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca, ev tipi FV panellerin verimlerinin genellikle %10 ile %20 arasında değişmesi, daha yüksek verime sahip panellerin ise daha pahalı olması gibi dezavantajlar da bulunmaktadır. Sistemde yer alan batarya, dönüştürücü gibi diğer ekipmanların sistemin performansını sınırlayacak bazı negatif özellikleri bulunmaktadır. Örneğin; bataryaların ömrü sınırlıdır ve büyük boyutları nedeniyle geniş depolama alanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca, bu sistemlerin bakımı, onarımı için gerekli donanımına sahip iş gücü yetersizliği de diğer önemli sorunlardan biridir. Bunun yanı sıra, büyük ölçekli üretimler için geniş arazilere ihtiyaç duyulması, hava kirliliği, toz, egzoz gibi çevresel faktörlerin FV panellere zarar vererek panellerin verimini azaltması gibi sorunlar da bulunmaktadır [39].

Güneş ışığından elektrik enerjisi üretiminde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ve FV sistemler gibi iki ana sistem kullanılmaktadır [41].

1.5.1. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri iki ana kategoride bulunmaktadır, termal ve fotovoltaik. Yoğunlaştırılmış termal güneş enerjisi sistemleri, güneş ve termal enerjiyi beraber kullanmaktadırlar. Toplama ya da yansıtma ile yoğunlaştırılmış olan güneş ışınları aracılığıyla suyu ısıtmaktadırlar. Suyun ısıtılmasıyla da buhar meydana gelmektedir. Üretimde buhar türbini ve termal enerji depolama tankına ihtiyaç duydukları için FV sistemlere göre daha maliyetli bir çözüm sunarlar. Ayrıca, bu sistemlerin verimleri %40 ile %50 arasında değişmektedir. Diğer yandan, üretimde suya gereksinimi bulunmayan yoğunlaştırılmış fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri ise, güneş ışınlarının doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesi prensibiyle çalışmaktadırlar ve verimleri %44'e kadar ulaşmaktadır [41].

1.5.2. Fotovoltaik sistemler

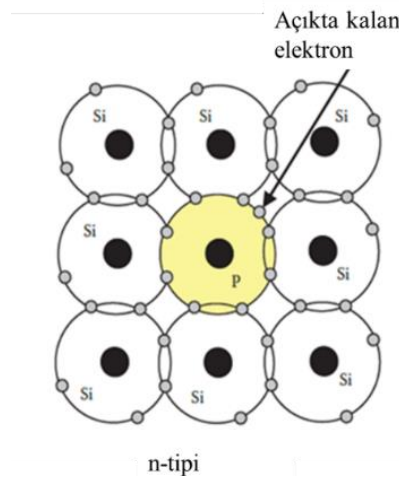
FV sistemler, FV panellerin seri ya da paralel olarak dizilmesiyle meydana gelmektedirler. FV paneller FV modüllerden, FV modüller ise FV hücrelerden oluşmaktadır. Bu nedenle, FV sistemlerin anlaşılabilmesi için öncelikle FV hücrelerin çalışma prensibi incelenmelidir [3,42]

Fotovoltaik kelimesi, Yunanca’da ışık anlamına gelen “foto” kelimesi ile elektriğin öncüsü olan Alessandro Volta’ya gönderme yapan “volt” kelimesinin birleşiminden oluşmaktadır [3,42].

FV hücreler, güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren, kullanım alanlarına göre farklı boyutlarda olabilen malzemelerdir. Elektrik üretilebilmesi için, bir FV hücreye ışık düştüğünde, bu ışığın hücre tarafından emilmesi gerekmektedir. FV hücrelerde emilen ışığın enerjisi, silisyum gibi bir yarıiletken malzemenin atomlarındaki elektronlara iletilmektedir. Bu nedenle, yarıiletken malzemeler FV hücrelerin işleyişi için hayati bir öneme sahiptir [3].

14 elektronu bulunan silisyumun son yörüngesinde 4 adet valans elektronu bulunmaktadır. Yarıiletken malzemeler saflıkta kullanılamazlar ve iletkenlik özelliğine sahip değildir. Bu nedenle, bu malzemelere katkı maddeleri eklenir ve bu katkılara bağlı olarak n-tipi (negatif) ya da p-tipi (pozitif) katmanlar oluşur. Oluşan katmanlar nötrdürler [42] .

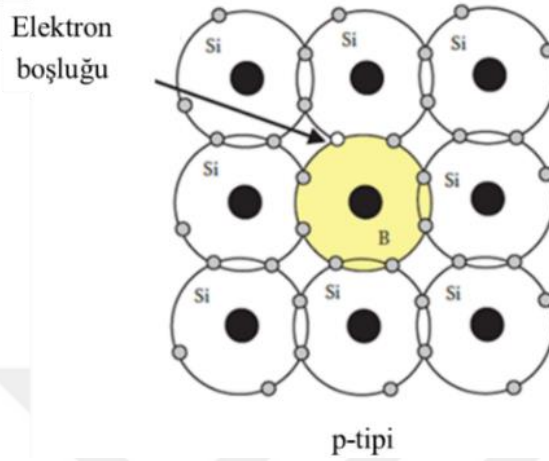
Eğer silisyuma 5 valans elektronuna sahip fosfor gibi bir katkı maddesi eklenirse, Şekil 1.7’de gösterildiği gibi bir kovalent bağ oluşur. Silisyumun 4 valans elektronu ile fosforun 4 valans elektronu arasında kovalent bağ meydana gelir ve fosforun bir elektronu açıkta kalır. (-) yüklü olan bu elektron kristal yapıya katılır ve bu nedenle bu işleme n-tipi (negatif) katkılama denir [42] .



Şekil 1.7. Fosfor eklenerek oluşan n-tipi katkılama [42]

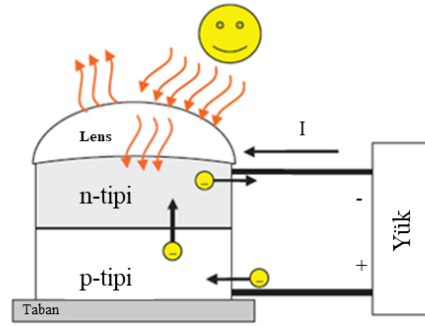
Eğer silisyuma 3 valans elektronuna sahip bor gibi bir katkı maddesi eklenirse, Şekil 1.8’de gösterildiği gibi bir kovalent bağ meydana gelmektedir ve silisyumun 1 valans

elektronu açıkta kalmaktadır. Bu tür yapıdaki bir elektron boşluğuna hol adı verilmektedir ve pozitif yük taşıdığı için bu işleme p-tipi (pozitif) katkılama denir [42].



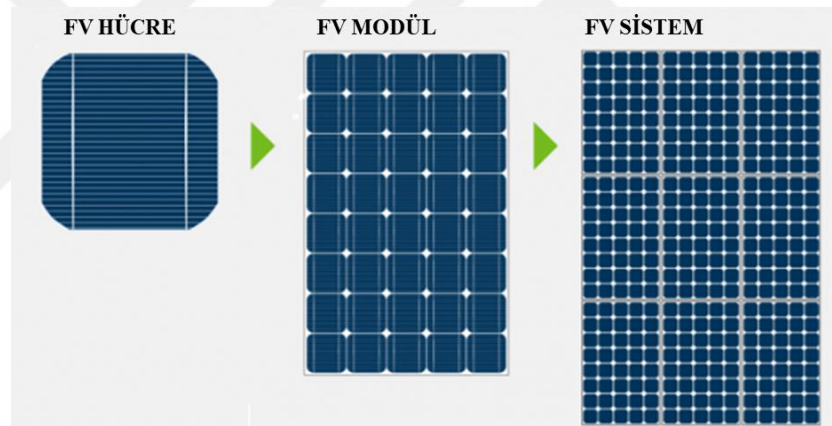
Şekil 1.8. Bor eklenerek oluşan p-tipi katkılama [42]

Şekil 1.9’da yüklenmiş bir FV hücrenin içeriği gösterilmektedir. Bu hücre, n-tipi ve p-tipi katmanları içermektedir. Katkılama miktarına bağlı olarak n-tipi katmanda serbest elektronlar, p-tipi katmanda ise boşluklar (holler) bulunmaktadır. Bu katmanlar birbiri ile etkileşime girdiği zaman p-n eklemi meydana gelmektedir. Bu iki eklem birbiri sınır olan bölgelerinde n tipindeki serbest elektronlar p-tipindeki hollere doğru ve p-tipindeki holler de n-tipine doğru hareket etmektedirler. Bu elektron-hol geçişi sonucunda iki katmanın birbirine sınır olan kısmında yük dengesi tamamlandığında, bu bölgede elektriksel engel (yalıtkan) bir yayılım bölgesi oluşmaktadır. n- tipi katmana hol geçtiği için (+), p-tipi katmana ise elektron geçişi olduğu için (-) bir bölge oluşmaktadır ve bu durumda (+)’dan (-)’ye yani n-tipi katmandan p-tipi katmana doğru bir elektrik alanı oluşmaktadır. FV hücreye güneş ışını (foton) ulaştığında, yayılım bölgesinde birleşmiş olan hol ve elektron çiftleri bu enerji sayesinde ayrılmaktadır. p-n eklemının iki ucu bir yüke bağlandığında, elektronlar n-tipinden yüke doğru hareket ederek p-tipine ulaşmaktadırlar. Bu fotoelektrik etki ile bir potansiyel fark oluşur. Bu çalışma mantığı sayesinde ise FV panellerden elektrik üretilebilmektedir [42].



Şekil 1.9. Yüklü FV hücresi [42]

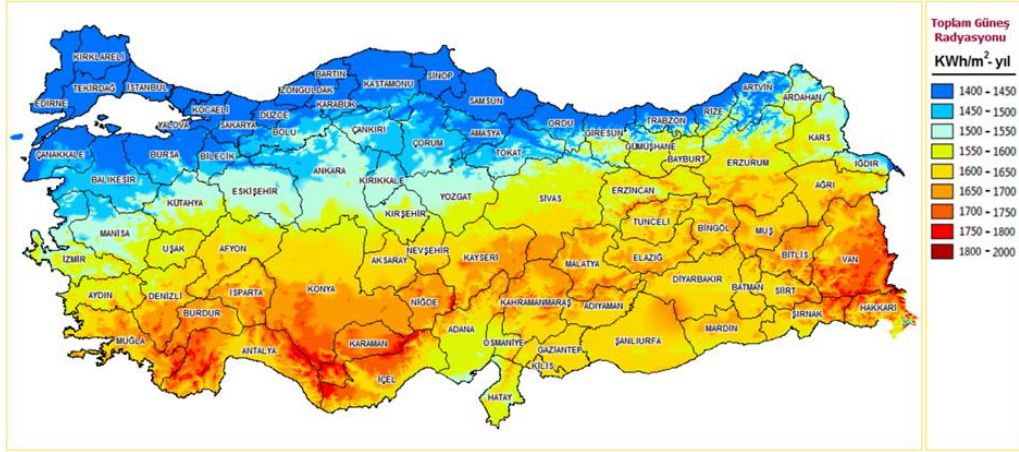
Farklı kullanım amaçlarına yönelik, değişik sayılarda FV hücrelerinin seri veya paralel bağlanmasıyla çeşitli FV modüller oluşturulmaktadır. Bu modüller bir araya gelerek panelleri oluşturulmaktadır. Paneller kullanım amacına ve güç gereksinimlerine göre seri ya da paralel bağlanabilirler. Şekil 1.10'da FV hücre, modül ve paneller görülmektedir [3] .



Şekil 1.10. FV hücre, FV modül, FV sistem [43]

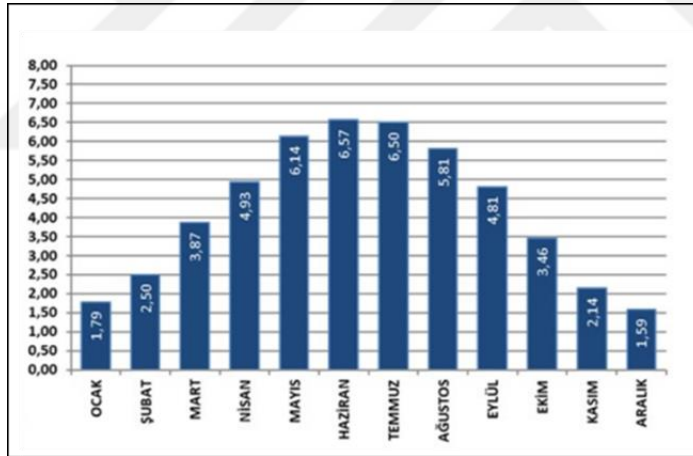
1.5.3. Türkiye’de güneş enerjisi

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA), Şekil 1.11’de gösterilmektedir. Atlas incelendiğinde, Türkiye’nin farklı bölgelerinde yıllık ortalama radyasyon miktarlarına dair önemli bilgilere ulaşılmaktadır. Bu bilgilere göre, radyasyonun en düşük olduğu bölgelerin 1.400-1.450 kwh/m²-yr ile Karadeniz ve Marmara olduğu görülmektedir. Karadeniz bölgesinden Akdeniz Bölgesi’ne doğru ise güneş radyasyonu miktarının artarak 1.800-2.000 kwh/m²-yr değerlerine ulaştığı sonucuna varılmaktadır [40].



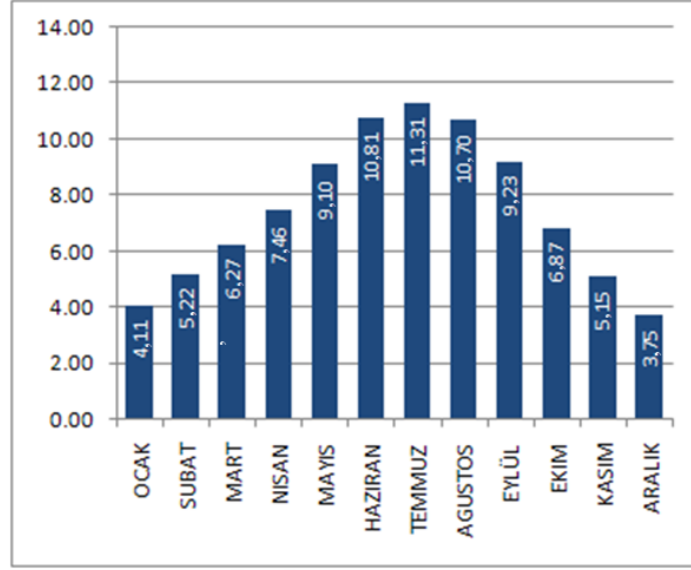
Şekil 1.11. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) [40]

Şekil 1.12’de, Türkiye’de aylara göre günlük ortalama güneş radyasyonu verileri $\text{kwh/m}^2/\text{day}$ birimi cinsinden gösterilmektedir. Türkiye genelinde, yıllık toplam radyasyon değeri, $1.527,46 \text{ kwh/m}^2/\text{day}$ ’dir. Grafik incelendiğinde, radyasyonun en yüksek değere ulaştığı ayın Temmuz olduğu açıkça anlaşılmaktadır [40].



Şekil 1.12. Türkiye global radyasyon verileri ($\text{kwh/m}^2/\text{day}$) [40]

Şekil 1.13’te ise, Türkiye’de aylara göre ortalama güneşlenme sürelerinin saat olarak gösterildiği bir grafik yer almaktadır. Türkiye genelinde yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saattir. Grafik incelendiğinde, güneşlenme süresinin en uzun olduğu ayların yaz ayları olduğu net bir şekilde görülmektedir [40].



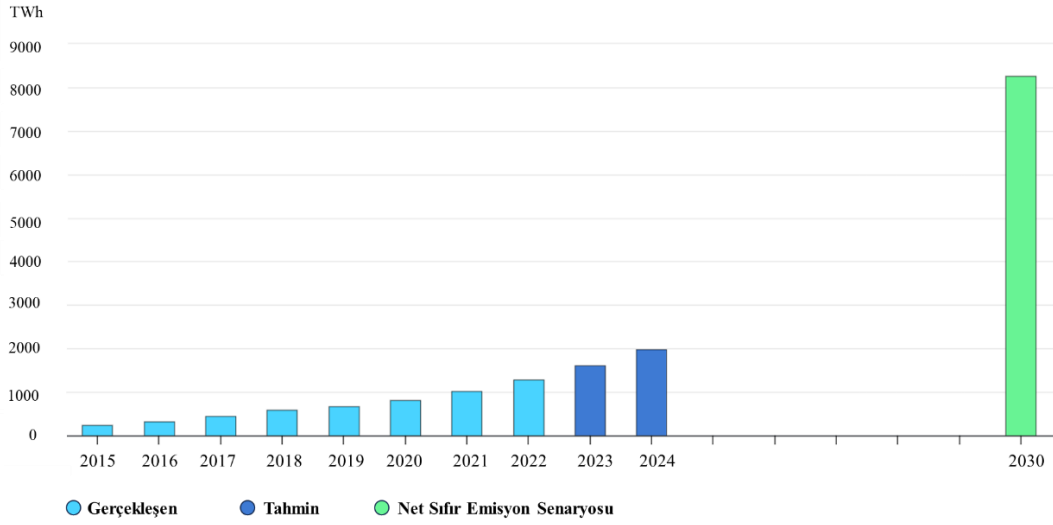
Şekil 1.13. Türkiye için güneşlenme süresi (saat) [40]

Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi ilk olarak 2014 yılında gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, 40,2 MW kurulu güç ile, 2014 yılındaki toplam kurulu gücün sadece %0,06’sını oluşturuyordu. Ancak, 2023 Haziran ayının sonunda bu değer %8,35’e ulaşmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimine olan talep ve bu alandaki büyüme her yıl artmaktadır [34,40] .

IEA verilerine göre, Türkiye’de 2014 yılındaki güneş enerjisinden elektrik üretimi 17 GWh düzeyindeyken, 2021 yılında 13,294 GWh’ye yükselmiştir. Bu da ülkede GES’e yapılan yatırımların bir neticesi olarak değerlendirilebilir [33].

1.5.4. Dünya’da güneş enerjisi

Şekil 1.14, IEA’nın 2015-2030 tarih aralığını dikkate alarak hazırladığı ve “Net Sıfır Emisyon Senaryosu” çerçevesinde, güneş enerjisinden elektrik üretimi tahminlerini göstermektedir. Grafikten, güneş enerjisinden elektrik üretiminin, 2022 yılında %26’lık bir artış göstererek yıl sonunda 1.293 TWh’ye ulaştığı görülmektedir. Aynı yıl içinde, dünya genelinde toplam üretimde güneş enerjisinin payının %4,5’e yükseldiği anlaşılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimindeki artıştan en yüksek paya sahip olan ülkeler ise, 100 GW’lık büyüme ile Çin, 38 GW’lık büyüme ile AB olarak kaydedilmiştir. ABD ise üçüncü sırada yer almaktadır. Dünya genelinde “Net Sıfır Emisyon Senaryosu”na ulaşılabilmesi için, 2030 yılındaki güneş enerjisi üretiminin 8.300 TWh olması ve bu hedefe ulaşılması için de her yıl güneş enerjisinden elektrik üretiminin %26 artması gerekmektedir [44].



Şekil 1.14. 2015-2030 yılları için “Net Sıfır Emisyon Senaryosu”nda güneş enerjisi üretimi tahmini [44]

1.6. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisinin kökeni, güneşten gelen radyasyonların yer yüzeyini farklı biçimlerde ısıtarak, atmosferdeki hava basıncında değişikliklere yol açmasıdır. Bu atmosferik değişiklikler, hava kütlelerinin hareket etmesine neden olarak, rüzgâr enerjisinin oluşmasını sağlamaktadır [45].

Rüzgârdan elektrik enerjisinin üretilmesi için, güç talebine göre farklı kapasitelerde rüzgâr enerji santralleri kurulmaktadır. Bu santrallerde ise, ana bileşen olarak rüzgâr türbinleri yer almaktadır. Bu türbinler, havanın kinetik enerjisini ilk olarak mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürme prensibiyle çalışmaktadır [45,46]. Rüzgâr türbinlerinin işleyişi şu şekilde gerçekleşmektedir: Rüzgârın türbinin kanatlarına etki etmesiyle, türbinin kanatları hareket etmeye başlar ve bir mekanik enerji üretilir. Aynı zamanda kanatların rotoruna bağlı olan bir şaft sayesinde bu mekanik enerji, sistemde yer alan bir jeneratöre iletilerek jeneratörü döndürür ve jeneratör mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu sayede üretim gerçekleştirilmiş olur [47].

Rüzgârın hızı, yönü ve kalitesi, aynı zamanda ortamın türbülans miktarı, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimini etkileyen faktörlerdendir [3]. Rüzgâr türbininden elde edilen enerji miktarını belirleyen bir diğer kritik faktör ise, türbin kanatlarının süpürdüğü alanın büyüklüğüdür. Rüzgâr türbinin güç formülü Denklem (1.1) ile

ifade edilmektedir. Bu formüldeki P, rüzgâr türbinin gücünü watt birimiyle, ρ hava yoğunluğunu kg/m^3 birimiyle, V rüzgâr hızını m/s birimiyle, r rotor yarıçapını m birimiyle temsil etmektedir. Formülde geçen $\pi \cdot r^2$ kanatların süpürdüğü alanı ifade etmektedir. Formülden görülmektedir ki, rotor yarıçapının artması ve buna bağlı olarak kanatın süpürdüğü alanın genişlemesi, türbinin üreteceği gücü artırmaktadır [48]. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi santrallerinin tasarımında enerji üretim kapasitesinin optimize edilmesi açısından, rotor çapının doğru seçilmesi önem taşımaktadır.

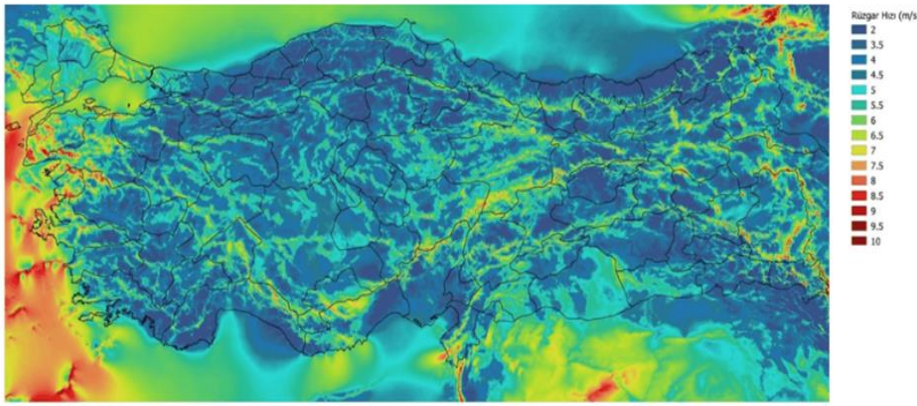
$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 V^3 \quad (1.1)$$

Doğal bir enerji kaynağı olan güneş gibi, rüzgâr da çevreye zarar vermeyen, sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji kaynağıdır [45]. Son yıllarda artan bir öneme sahip olan rüzgâr enerjisinin diğer avantajları arasında ise, taşıma sorunun olmaması, atmosferde serbest olarak bol miktarda yer alması ve çevre dostu olması bulunmaktadır. Ayrıca, rüzgârın ücretsiz olması ise, en önemli artılardan biri olarak kabul edilmektedir. Diğer yandan, rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminde en önemli dezavantajlardan biri ise, kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak, teknolojik gelişmeler sayesinde, bu maliyetler her geçen gün azalmaktadır. Maliyetlerdeki bu olumlu gelişmelerle, ülkelerin rüzgâr enerjisine verdikleri önemin arttığı görülmektedir. Rüzgâr enerjisi santrallerinin diğer bir dezavantajı da çevreye gürültü yaymalarıdır. Bu sorun, santrallerin, yerleşim bulunmayan ya da gürültünün daha az hissedildiği yerlere kurulmasıyla çözülebilmektedir [46].

1.6.1. Türkiye’de rüzgâr enerjisi

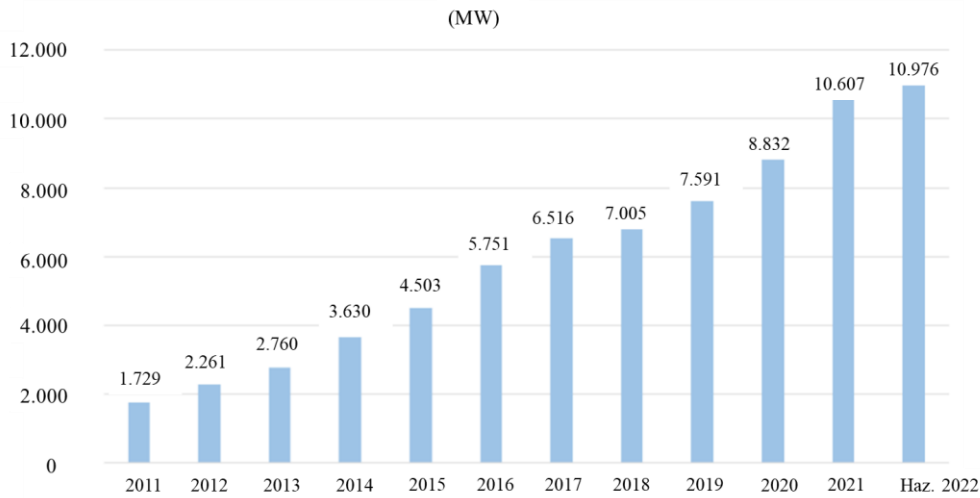
Şekil 1.15, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlas’ını (REPA) göstermektedir. Bu atlas, 100 m yükseklikteki rüzgâr hızı verilerini içermektedir [31]. Verilere göre, Türkiye’de her bir kilometrelik alana 5 MW güç sağlayabilecek rüzgâr santrallerinin kurulabilmesi için, ortalama yıllık rüzgâr hızının 7,5 m/s ve üzerinde olduğu 50 m yükseklikteki bölgeler uygundur. Türkiye’de toplam 47.849,44 MW’lık rüzgâr enerjisi santrali kurma potansiyeli bulunmaktadır [45]. Bu potansiyelin 37,8 MW’ı karada, 10 MW’ı ise denizde kullanılabilir durumdadır. Türkiye, bu rüzgâr potansiyeli ile, Avrupa ülkeleri içerisinde avantajlı bir konumda yer almaktadır [49].

Atlas incelendiğinde, Türkiye’de rüzgâr enerji potansiyelinin, Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir ve bu bölgeler rüzgâr hızı açısından santrallerin etkili bir şekilde kurulabileceği alanlardır [31]. Türkiye genelinde, kurulu rüzgâr gücü kapasitesinin en yüksek olduğu bölge Ege bölgesi olup, toplam rüzgâr gücü kapasitesinin %37,73’ünü oluşturmaktadır. Marmara Bölgesi, %35,36’lık payıyla ikinci sıradadır. En düşük rüzgâr kurulu gücü kapasitesine sahip bölge ise, %0,16’lık oran ile Doğu Anadolu Bölgesi’dir. [49].



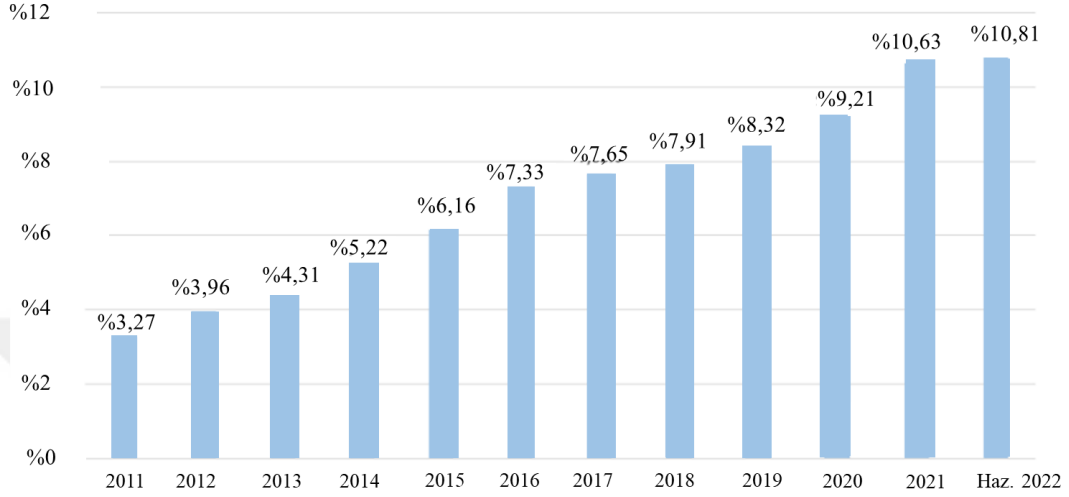
Şekil 1.15. Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli atlası (REPA) [45]

Şekil. 1.16’da, 2022 yılının Haziran ayı da dahil olmak üzere, Türkiye’deki rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç değerleri gösterilmektedir. 2011 yılında Türkiye’de 1.729 MW kurulu güç bulunurken, Haziran 2022 yılında bu değer 10.976 MW’a yükselmiştir. En büyük büyüme 2016-2022 yılları arasında gerçekleşmiş olup, 2022 yılındaki rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2016 yılının neredeyse iki katıdır [45].



Şekil 1.16. Türkiye’de rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç [45]

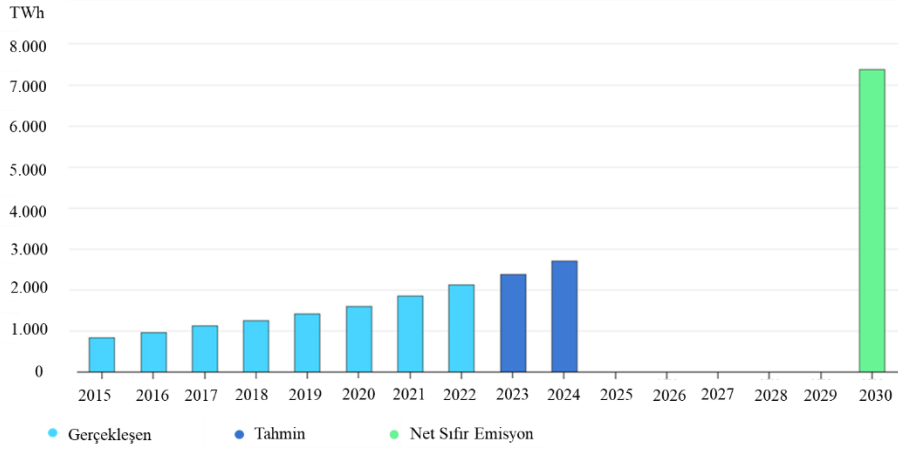
Şekil 1.17’de ise, 2011 ile Haziran 2022 tarihleri arasında, Türkiye’deki toplam kurulu güç içerisinde, rüzgâr enerji santrallerinin payı gösterilmektedir. 2011’de %3,27 olan rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu güçteki payının, Haziran 2022 tarihinde %10,81’e yükseldiği görülmektedir [45].



Şekil 1.17. Rüzgâr enerjisi santrallerinin Türkiye’deki toplam kurulu güce oranı [45]

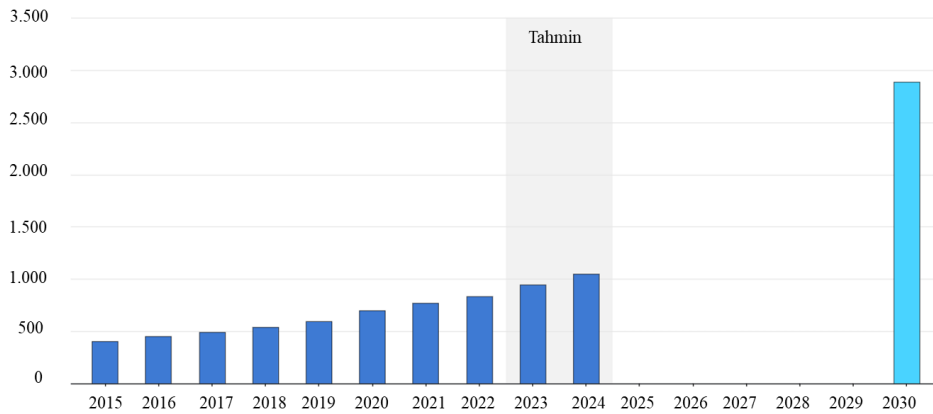
1.6.2. Dünyada rüzgâr enerjisi

Şekil 1.18’deki grafik, IEA’nın yayınladığı ve “Net Sıfır Emisyon Senaryosu” çerçevesinde, dünya genelinde, 2015-2030 dönemi için, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi tahminlerini göstermektedir. Verilere göre, dünya genelinde rüzgardan elektrik üretimi, %14 artarak 265 TWh büyüme kaydetmiş ve toplam üretim 2.100 TWh’yi aşmıştır. Bu büyümeye en büyük katkıyı sağlayan ülkeler, yaklaşık %40 oranıyla Çin ve %22’lik oran ile ABD olarak belirlenmiştir. Net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için, 2030’a kadar rüzgâr enerjisinden üretimin yaklaşık 7.389 TWh’ye ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle, 2023-2030 yılları arasında her yıl, rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminde yaklaşık olarak %17’lik bir büyümeye sağlanması gerekmektedir. IEA’nın “Renewables 2022” raporuna göre, dünyadaki rüzgâr enerjisi santrali kapasitesi konusunda Çin lider durumdadır ve 2022 yılında rüzgâr kapasitesini 37 GW artırmıştır [50].

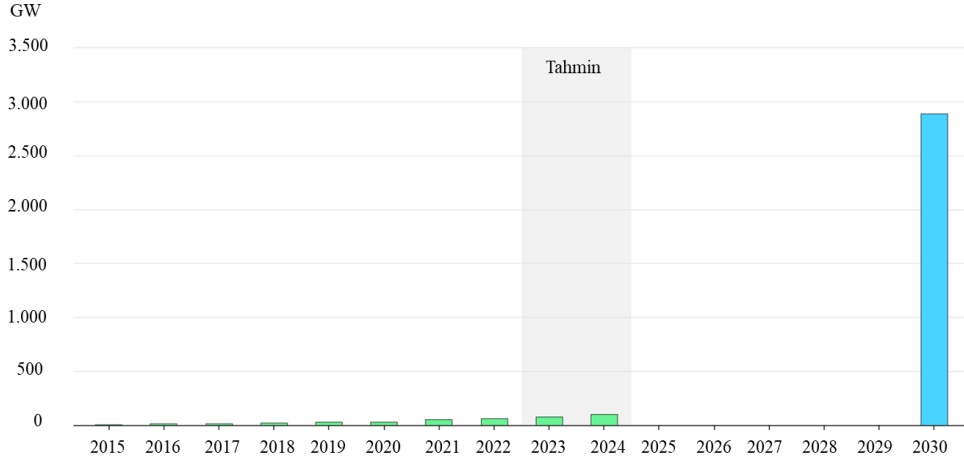


Şekil 1.18. 2015-2030 yılları için “Net Sıfır Senaryosu”nda rüzgâr enerjisinden üretim [50]

Şekil 1.19 ve Şekil 1.20, dünya genelinde 2015-2030 dönemi için açık deniz ve kara rüzgâr gücü kapasite tahminlerini göstermektedir. 2022 yılı itibariyle rüzgâr kapasitesinin %93’ü kara rüzgâr gücü, %7’si ise açık deniz rüzgâr gücüne aittir. Ayrıca, yeni bir teknoloji olan deniz üstü rüzgâr çiftlikleri, 2022 yılındaki rüzgâr enerjisi büyümesine %18’lik bir katkı sağlamıştır. 2022 yılında bir önceki yıla göre kara rüzgâr gücü, 63 GW, açık deniz rüzgâr gücü ise 12 GW artmıştır. 2022’deki büyümenin 2021 ve 2020 yıllarındaki büyümelere göre daha az olmasının en önemli nedenlerinden biri Covid-19 pandemisinin projelerin devreye alınmasını geciktirmesidir. 2030’da rüzgâr enerjisinden yaklaşık 7.400 TWh’lık üretim olabilmesi için hem karasal hem de deniz üstü kurulumların artırılması gerekmektedir. Bu hedefe ulaşmak için, devletlerin bu projelere daha fazla destek sağlaması önem taşımaktadır [50].



Şekil 1.19. 2015-2030 dönemi için “Net Sıfır Senaryosu” çerçevesinde kara rüzgâr gücü kapasitesi [50]



Şekil 1.20. 2015-2030 dönemi “Net Sıfır Emisyon Senaryosu” çerçevesinde açık deniz rüzgâr gücü kapasitesi [50]

1.7. Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar (EA) günümüzde büyük popülarite kazanmış olsa da bu araçlar 1918 yılına kadar oldukça popülerdi. Ancak içten yanmalı motorların yaygınlaşmasıyla, İYM’li araçlar maliyet açısından daha avantajlı hale geldi ve EA popülaritesini kaybetti [51]. İYM’ler, kullandıkları benzin, dizel gibi yakıtların, hava ile tepkimeye girerek, sistemlerinde yer alan silindir içerisinde bir ateşleme sistemi ile yanmasını sağlayan motorlardır. Bu yanma sonucunda, motorda yer alan pistonun itilerek hareket etmesi sağlanmaktadır. Bu hareket ile, motorda yer alan krank mili dönmekte ve zincir ya da tahrik mili ile tekerleklerin dönmesi sağlanmaktadır. Bu sayede, taşıtlar uzun menziller boyunca hareket edebilmektedir. Yanma işlemi motorun içerisinde gerçekleştiğinden, bu motorlara içten yanmalı motorlar denmektedir. Bu motorlar icat edilip geliştirildikten sonra, ulaşım sektöründe önemli bir yer elde etmişlerdir ve günümüzdeki taşıtlarda da hala kullanılmaktadırlar [52]. Fakat İYM’ler kullandıkları fosil yakıtlar nedeniyle, atmosfere sera gazı salınmaktadır ve ulaşım sektörü, sera gazı salınımına katkısı olan en önemli sektörlerden biridir ve petrol kaynaklarının yaklaşık %49’unu tüketmektedirler. Dünyada yaygın olarak kullanılan İYM’li taşıtların egzoz emisyonları, sera gazı salınımına ve kanser vb. hastalıkların artışına neden olmaktadır [53]. Ayrıca dünya genelinde sera gazı salınımına en fazla katkısı olan sektörlerden biri de ulaşım sektörüdür [54]. Bu nedenle, ülkeler son yıllarda ulaşım sektörünün sebep olduğu

çevresel etkilerin azaltılması için çeşitli çabalar sarf etmektedir. Bu durum da EA'nın tekrar popüler hale gelmesine neden olmuştur [53]. EA'nın, çevresel avantajları bulunmaktadır. Bu araçların yaygınlaşması, egzoz emisyonlarını minimum seviyelere indirme potansiyeli taşır ve aynı zamanda yeni iş kollarını oluşturarak ülke ekonomilerinin büyümesine katkıda bulunabilir [55]. EA arasında tamamen elektrikli olanlar sıfır emisyonlu iken, hibrit elektrikli araçlarda (HEA) ise emisyon oranı, modele ve güç sistemi türüne göre değişmektedir [56]. Bununla birlikte, bu araçların çevreye yaydığı emisyonlar, İYM'li araçlardan çok daha düşüktür.

EA'nın motor yapısı daha basit ve sistem bileşenleri daha az olduğu için bakım maliyetleri daha düşüktür. Ayrıca arıza riski ve enerji maliyeti daha azdır. Bu araçlar, titreşim, gürültü gibi olumsuz özelliklere sahip değildir. Verimlilikleri de YEK'ten beslenmeleri durumunda, %70lere kadar ulaşabilmektedir. Sürüş menzilleri genellikle 200-350 km arasında değişse de gelişen teknolojiler sayesinde bu araçların menzilleri 500 km'nin üzerine çıkabilmektedir [54].

EA, çevre dostu bir ulaşım seçeneği olmalarına rağmen, enerji gereksinimlerini karşılamak için elektrik enerjisi kullanırlar. Elektrik üretim süreci de sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Bu araçlar, ihtiyaç duydukları enerjiyi, genelde şebekeden aldıklarından, dünya genelinde elektrik talebinin ve dolayısıyla elektrik üretim sürecinde çevreye yayılan sera gazı miktarının artmasına katkıda bulunurlar. Bu sorunun çözümü için, EA'nın ihtiyaç duyduğu enerjinin YEK kullanan sistemlerden sağlanması önemlidir. Yani aslında EA'nın çevre dostu olabilmesi kullanılan enerji kaynaklarına bağlıdır [55].

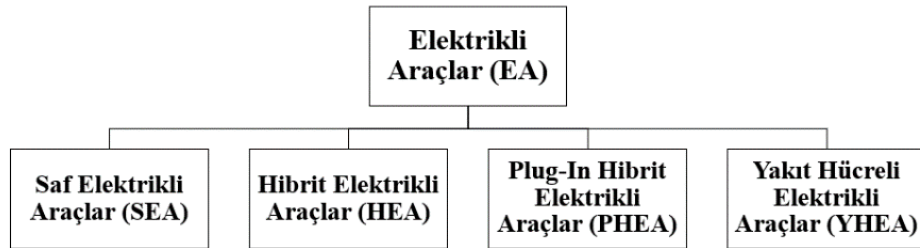
EA, şebekeye ek yükler getirerek sistem maliyetleri ve güç kayıplarını artırır. Bu sorun, EA'nın kontrollü şekilde şarj edilmesiyle aşılabılır. Ayrıca, şebekeye güneş, rüzgâr enerjisi gibi YEK'i dahil etmek de bu sorunun alternatif ve akılcı bir şekilde çözülmesini sağlayabilir. EA'nın ekonomik açıdan olumsuz bir diğer özelliği de pahalı batarya sistemlerine sahip olmaları sebebiyle oluşan yüksek başlangıç maliyetleridir. Bu sorunu ele almak için, uygun olan enerji politikaları ve şarj stratejileri belirlemek önemlidir. EA'da özellikle, güç kaynağı olarak kullanılan bataryalar son derece önemlidir. Çünkü, EA için güç kaynağı olarak kullanılan bataryalar, direkt olarak sürüş menzilini etkilemektedirler. Bu nedenle, daha yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahip, hafif, düşük maliyetli bataryaların geliştirilmesi,

EA'nın İYM'li araçlarla rekabet edebilmesini sağlaması açısından önemlidir. Bu bağlamda, EA'da tercih edilen batarya türleri, yıllar geçtikçe değişiklik göstermektedir. Örneğin, kurşun asit bataryalar, düşük enerji yoğunlukları sebebiyle artık EA'da çok yaygın kullanılmamakta ve sadece düşük hızlı EA'da tercih edilmektedirler. Günümüzde EA'larda en çok tercih edilen bataryalar, büyük güç depolama kapasitesine, yüksek güç yoğunluğuna, uzun çevrim ömrüne sahip olan lityum iyon bataryalardır. Lityum iyon bataryalar içerisinde öne çıkan batarya türlerinden biri ise, yüksek deşarj akımları, daha düşük maliyetleri ile LiFePO_4 bataryalardır ve bu bataryalar, EA'da yaygın olarak kullanılmaktadır [57].

Elektrikli araç teknolojisi için diğer önemli unsur ise, yeterli şarj altyapısının olmasıdır. Bunun sağlanması için, dünya genelinde, kurulan şarj istasyonları sayısı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca şarj süresini azaltmak için, daha hızlı şarj olanağı sunan DC hızlı şarj istasyonlarına olan talep de artmaktadır [55].

Sonuç olarak, elektrikli araç teknolojileri çeşitli zorluklarla karşı karşıya olsa da teknolojik gelişmeler sayesinde, bu sorunların üstesinden gelinecek ve bu sayede EA'nın pazardaki payı ilerleyen yıllarda çok daha fazla olacaktır. EA'nın pazardaki payının artmasıyla da ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı salınımı, çevre kirliliği gibi sorunlar aşılabacaktır.

Şekil 1.21'de görüldüğü gibi EA temelde, güç desteği ve tahrik sistemlerine göre saf elektrikli araçlar (SEA), hibrit elektrikli araçlar (HEA), plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEA) ve yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA) olmak üzere dört kategoriye ayrılmaktadırlar [58].

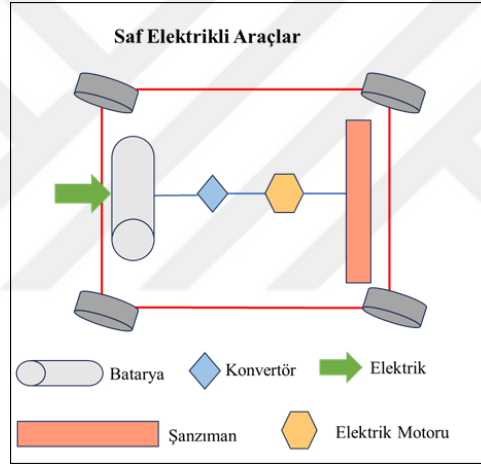


Şekil 1.21. Elektrikli araç çeşitleri

1.7.1. Saf elektrikli araçlar

SEA, tamamen elektrik enerjisiyle çalışan araçlar olup İYM'ye sahip değildirler ve bu araçlarda yakıt olarak herhangi bir şekilde benzin, dizel gibi sıvı yakıtlar kullanılmamaktadır [54].

Bataryalı elektrikli araçlar olarak da adlandırılan SEA'nın yapısı, Şekil 1.22'de gösterilmektedir. Batarya teknolojisi, bu araçlar için son derece önemlidir. Çünkü, bu araçların güç kaynakları tamamen bataryalardan gelir [53]. SEA'nın en önemli avantajı, İYM'ye sahip olmadıkları için çevreye sera gazı yaymamalarıdır. SEA'da enerji ihtiyacı bataryada depolanan elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Bataryada depolanan elektrik enerjisi elektrik motoru tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür ve bu sayede tekerlekler tahrik edilmiş olur [59].



Şekil 1.22. Saf elektrikli araçların yapısı [59]

SEA'nın en önemli avantajlarının başında, çevreye hiç emisyon yaymamaları ve sessiz çalışmaları gelmektedir. Bununla birlikte, bu araçların bazı dezavantajları da mevcuttur. SEA, hızlı şarj teknolojilerine sahip olmalarına rağmen, içten İYM'li araçlarla kıyaslandıklarında şarj olma süreleri, İYM'li araçların tanklarının dolma süresine göre uzundur. Ayrıca, bu araçların başlangıç maliyetleri yüksektir, sürüş menzilleri sınırlıdır ve dünya genelinde, şarj istasyonu altyapısı, henüz olması gereken kadar yeterli miktarda mevcut değildir [53].

Bu araçların verimliliği ve menzil kapasitesi sürüş koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Yüksek dış sıcaklık, ani hızlanma, yokuşlu yollarda sürüş gibi faktörler menzili azaltabilen etmenler arasındadır. SEA'nın rejeneratif frenleme özelliği sayesinde, aracın frenleme anında elektrik üretimi gerçekleşerek enerji kazanımı

sağlanmaktadır, bu da SEA'yı özellikle şehir içi sık sık dur-kalk trafiği olan sürüşlerde diğer araçlardan ayıran avantajlardan biridir [60].

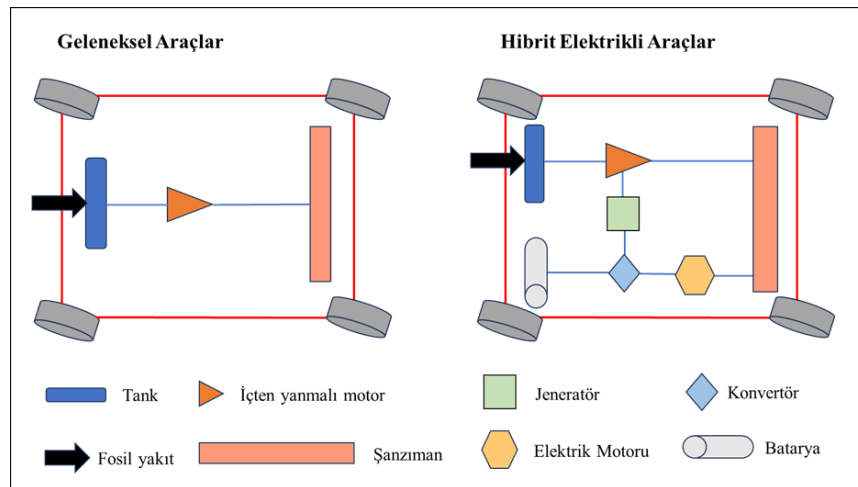
1.7.2. Hibrit elektrikli araçlar

HEA, güç kaynağı olarak hem benzin, dizel gibi sıvı yakıtları hem de elektrik enerjisini kullanan araçlardır. Bu araçlardaki tahrik sistemi hem İYM hem de elektrik motoruyla ilişkilidir [53].

Şekil 1.23'te, İYM'ye sahip geleneksel araçlarla HEA'nın yapısı birlikte gösterilmektedir. Geleneksel araçlarda İYM'ler benzin, dizel gibi sıvı yakıtları kullanarak aracın hareket etmesini sağlamaktadır ve sürüş esnasında sadece İYM kullanılmaktadır.

HEA'da ise hem geleneksel araçlardaki gibi İYM hem de elektrik motoru yer almaktadır [61]. Bu araçlarda yakıt hücresi ile beslenen İYM, bir jeneratörü çalıştırarak elektrik üretilmesini sağlar. Bu üretilen elektrik enerjisi de bataryada depolanabilir veya elektrik motoru tarafından mekanik enerjiye dönüştürülerek, aracın hareketi sağlanır. Elektrik motoru, doğrudan İYM'nin ürettiği elektriği veya bataryada depolanan enerjiyi kullanabilir [62].

Bu araçlarda, enerji depolama iki şekilde gerçekleşebilmektedir. Birinci yöntem, İYM sayesinde üretilen enerjinin depolanmasıdır. Diğer yöntem ise, elektrik motorunun frenleme anında jeneratör görevi görerek, sürüş anında kaybedilen enerjiyi yakalayıp bataryada depolamasıdır [61].



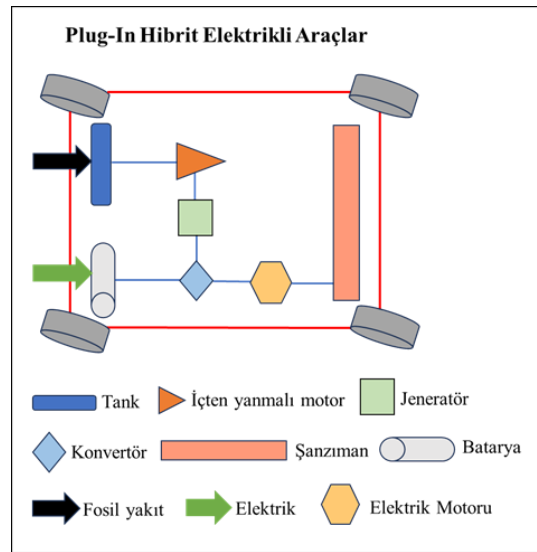
Şekil 1.23. Geleneksel ve hibrit elektrikli araçların yapıları [59]

HEA yakıt hücresi kullandıkları için, aslında emisyon yayarlar ancak bu araçlar, karayolu taşıtlarında sera gazının salınmasına en büyük katkıyı yapan kalkış anlarında, elektrik motorunu kullanarak bu salınımı azaltırlar [62]. HEA’da elektrik motoru, İYM’yi desteklemek amacıyla kullanılmaktadır ve daha düşük güç gerektiren şehir içi yolculuklarda daha çok elektrik motorundan faydalanılırken, şehirler arası yolculuklarda ise, çok fazla dur-kalk işlemi olmadığından çoğunlukla İYM kullanılır [59]. HEA, seri ya da paralel olarak tasarlanabilirler. Paralel HEA’da hem İYM hem de elektrik motorları tekerleklerle güç sağlayabilir ancak seri HEA’da İYM’ler tekerlekleri tahrik etmezler. Kullanım amaçları elektriğin üretilmesi ve depolanmasını sağlamaktır. Tahrik, elektrik motoru sayesinde gerçekleştirilir [59, 61,62].

HEA, performanslarıyla EA içerisinde en popüler olanlardır ve İMY’ye sahip araçlarla rekabet edebilecek potansiyele sahiptirler. HEA’nın SEA’ya göre üstünlüğü İYM kullanılması sebebiyle daha uzun sürüş menzili sunmalarıdır [59, 62]

1.7.3. Plug-in hibrit elektrikli araçlar

Hem İYM hem de elektrik motoru içeren HEA’ya oldukça benzeyen PHEA’nın HEA’dan temel farkı, bataryalarının elektrik enerjisi ile şarj edilme özelliğine sahip olmasıdır. HEA’ya göre daha büyük bataryalara sahip olan PHEA’da da SEA ve HEA’daki gibi rejeneratif frenleme ile bataryaların şarj edilebilme özelliği mevcuttur [59]. Şekil 1.24’te PHEA’nın yapısı gösterilmektedir.

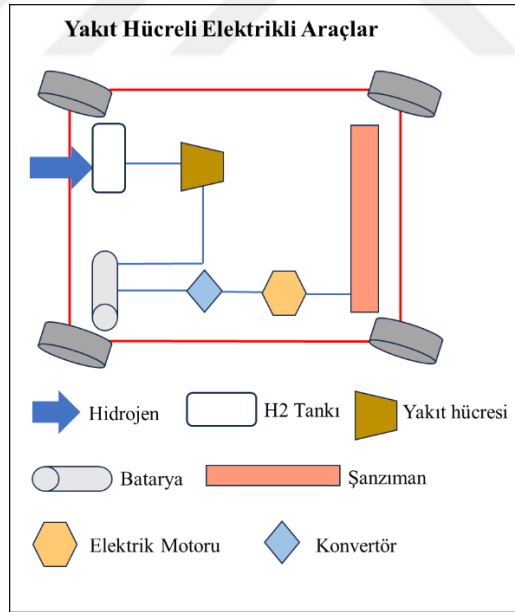


Şekil 1.24. Plug-In hibrit elektrikli araçların yapısı [59]

Bu araçlar şehir içi kısa mesafe kullanım durumlarında, bataryada depolanan enerjiyi kullanarak sera gazı emisyonunu önlerler fakat uzun mesafe sürüşlerinde İYM'yi kullanırlar. Bu araçların, başlangıç maliyetleri SEA'ya kıyasla daha yüksektir ve bataryaları ise HEA'ya göre daha büyüktür [59, 63].

1.7.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar

Sadece elektrik motoruna sahip olma özelliğiyle SEA'ya benzeyen YHEA, elektriğin üretilme metoduyla farklılık göstermektedirler. Bu araçlarda enerji, yakıt hücresi ile elde edilmektedir ve bu araçlar hidrojen tankı içermektedir. Bu tank, hidrojenin araca alındığı yerdir. Şekil 1.25'te YHEA'nın yapısı gösterilmektedir. Tank içerisine alınan hidrojen, yakıt hücreleri aracılığıyla elektrik enerjisinin üretilmesini sağlar. Anot, anot tabakası, elektrolit, katot ve bir katot katalizör içeren yakıt hücresi, kimyasal reaksiyon sonucunda elektrik enerjisi üretmektedir. Bu üretilen enerji elektrik motoru ile mekanik enerjiye dönüştürülerek aracın hareketi için kullanılır veya daha sonra kullanılmak üzere bataryada depolanır. Bu araçlar çevreye sadece su buharı ile sıcak hava yaymaktadırlar [64].



Şekil 1.25. Yakıt hücreli elektrikli araçların yapısı [59]

Bu araçlar sürüş menzili açısından geleneksel araçlarla rekabet edebilecek potansiyele sahiptirler. Ayrıca, bu araçlarda seri veya paralel bağlantılarla, yakıt hücrelerinden istenilen miktarda güç üretilebilmektedir. Ancak, çevreye hiç sera gazı yaymamalarıyla SEA gibi ilgi çeken bu araçların, üretim süreçlerinde çevre

kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına olan katkısı, göz ardı edilmektedir. Ayrıca, yüksek başlangıç maliyetleri ve yakıt temin edilecek istasyonların azlığı da bu araçlarla ilgili diğer olumsuz durumlardır [53].

1.7.5. Türkiye’de elektrikli araçlar

Son yıllarda, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de EA’nın önemi artmıştır. Tablo 1.1’de, Otomotiv Distribütörleri & Mobilite Derneği (ODMD)’nin 2022 yılı için yayınladığı “Makroekonomik Değerlendirme” raporunda yer alan, motor tiplerine göre otomobil satış miktarları gösterilmektedir [65]. Verilere göre, toplam otomobil satışının 2022 yılında, bir önceki yıla göre %5,5 artarak, 561.853’ten 592.660’a yükseldiği görülmektedir. 2021 yılında 2.846 adet olan SEA’nın satışı ise 2022 yılı sonunda %171,7 artarak 7.733’e ulaşmıştır. HEA’nın satışında da artış meydana gelmiştir ve satılan HEA’nın sayısı bir önceki yılın satışlarına göre %30,1 artarak 49.493’ten 64.387’ye yükselmiştir.

Özellikle dikkat çeken bir nokta, Türkiye’de 2022 yılında satılan HEA’nın sayısının satılan SEA’nın sayısının 8 katından daha fazla olmasıdır. Veriler incelendiğinde, benzinli otomobillerin satışındaki artış oranının, SEA’nın ve HEA’nın artış oranından daha az olduğu görülmektedir. Dizel ve otogaz ile çalışan otomobillerin satış miktarında ise, 2021 yılına göre düşüş yaşandığı görülmektedir. HEA ve SEA’nın satış miktarlarının toplam otomobil satış miktarı içindeki payı da artmıştır. 2021 yılında %9,3 olan bu oran, 2022 yılında %12,2’ye yükselmiştir. Henüz bu oranlar düşük olsa da ilerleyen yıllarda, daha büyük artışların olması beklenmektedir.

Tablo 1.1. Motor tipine göre otomobil satış miktarı [65]

	Ocak-Aralık		Ocak-Aralık		
	2021		2022		
Motor Tipi	Adet	Pay	Adet	Pay	Değişim
Benzin	373.406	66,50%	408.920	69%	9,50%
Dizel	110.525	19,70%	103.311	17,40%	-6,50%
Otogaz	25.583	4,60%	8.309	1,40%	-67,50%
Hibrit	49.493	8,80%	64.387	10,90%	30,10%
Elektrik	2.846	0,50%	7.733	1,30%	171,70%
Toplam	561,853	100%	592.66	100%	5,50%

Türkiye için önemli bir gelişme de 5 farklı firma tarafından, “Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş.”nin yerli marka elektrikli otomobil üretmek için kurulmasıdır. Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) adı verilen yerli marka elektrikli araç üretiminin gerçekleşmesi için Bursa-Gemlik’te kurulan fabrika, 29 Ekim 2022 yılında açılmıştır ve şu anda söz konusu aracın üretimi ve satışı devam etmektedir. Bu tez çalışmasında da bu marka tarafından üretilen elektrikli taşıtın teknik belgelerinden alınan verilerden faydalanılmaktadır.

1.7.6. Dünyada elektrikli araçlar

IEA’nın verilerine göre; 2022 yılında dünya genelinde, EA’nın satışları rekor bir seviyeye ulaşmıştır. Elektrikli araç satışları, 2021 yılına göre %55 artarak 10 milyon adedi aşmıştır. 2017-2022 yılları arasında, dünya genelinde satılan elektrikli araç sayısı, 10 milyonu aşmıştır ve böylece 2022 yılında, EA’nın dünya genelinde satılan toplam araç miktarı içerisindeki payı, bir önceki yıla göre %5 artarak, %14’e ulaşmıştır. Bu artışlar sonucunda, dünya genelindeki elektrikli araç sayısı, 2022 yılı itibariyle 26 milyona yükselmiştir [66].

Elektrikli araç satışlarının büyük bir kısmı Çin’de gerçekleşmektedir. 2022 yılında Çin’deki SEA ve PHEA satışları sırasıyla 4,5 ve 1,5 milyon adede ulaşmıştır. 2022 yılında, dünya genelinde toplam taşıt satışları, 2021 yılına göre %3 oranında azalmış olsa da elektrikli araç satışları artmaya devam etmiştir. 2023 yılının ilk çeyreğinde satılan araç sayısı ise 2,3 milyon adetten fazladır. IEA’nın tahminine göre, 2023 yılında elektrikli araç satışları, 14 milyon civarında olacak ve elektrikli araç satışlarının dünya genelinde toplam araç satışları içerisindeki payı %18’e ulaşacaktır. Ancak dünya ekonomisindeki yavaşlamalar, Çin’deki teşviklerin kaldırılması gibi faktörlerin, tahminlerin altında satışlara neden olabileceği de düşünülmektedir. Bununla birlikte, petrol fiyatlarının yükselmesi EA’yı her geçen gün daha cazip bir hale getirmektedir ve bunun, artışların bazı yeni pazarlarda tahmin edilenden daha fazla olmasını sağlayabileceği öngörülmektedir [66].

1.8. Enerji Depolama Sistemleri

Rüzgâr, güneş vs. gibi YEK kullanılan sistemlerin, belirsiz hava koşullarına bağlı olması gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu tür sistemlerin güç çıkışındaki dalgalanmalar, enerji ihtiyacının geleneksel sistemlerdeki gibi sürekli ve güvenilir bir

şekilde sağlanması konusunda zorluklar yaratabilmektedir. Bu durumda, EDS devreye girmektedir. Bu sistemler, üretilen fazla enerjinin depolanmasını ve ihtiyaç duyulduğunda sistem tarafından kullanılmasını sağlamaktadır [67].

Depolama sistemleri genel olarak elektriksel EDS ve termal EDS olarak, iki kategori altında incelenmektedir. Batarya, ultra-kapasitörler, volan, hidrojen vb. gibi EDS elektriksel EDS'ye örnektir ve bu tez çalışmasında tasarlanan HES'te, enerji depolama sistemi olarak elektriksel EDS'den olan batarya kullanılmıştır [68].

Elektrik enerjisini kimyasal olarak depolayan bataryalar, kurşun-asit, lityum-iyon, nikel-kadmiyum gibi farklı türlerde bulunmaktadır. Bataryalar, depoladıkları enerjiyi ihtiyaç duyulduğunda, elektrik enerjisi olarak geri verme yeteneğine sahiptirler. Fazlalık olan elektrik enerjisini de kimyasal formda depolayabilirler. Şarj ve deşarj durumunda gerçekleşen bu işlemler, batarya içinde yer alan iki elektrotta meydana gelen kimyasal tepkimeler neticesinde gerçekleşmektedir. Çevrim ömrü, güç değeri, enerji depolama kapasitesi, boyut vb. özellikler bataryaların performansını belirleyen temel faktörlerdir [68].

Bataryalar, özellikle şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde üretim ve güç talebi arasındaki dengesizliğin çözümü açısından son derece önem taşımaktadır ve bu nedenle, sıklıkla tercih edilmektedirler.

2. METERYAL VE METOT

2.1. HOMER ile Güç Optimizasyonu ve Ekonomik Analiz

Bu tez çalışması, Yalova ilinde yaşayan dört kişilik bir ailenin elektrik ve termal yük talebinin, sıfır emisyonu sahip bir HES ile karşılanması, teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla, HOMER programıyla simülasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar temel alınarak, tekno-ekonomik analizler yapılmıştır. Ayrıca, Türkiye’deki her coğrafi bölgeden bir il seçilerek, simülasyon çalışması tekrar gerçekleştirilmiş ve tüm iller için çıkan sonuçlar, analiz edilmiştir.

HOMER ile uygulamada yapılması gereken işlemlerden biri, çalışmanın gerçekleştirileceği lokasyonun seçilmesidir. Coğrafi konum bilgisi, simülasyon çalışmaları için son derece önemli bir girdidir. Çünkü yapılacak olan simülasyon çalışmaları, seçilen lokasyonlara ait güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık verilerine dayanarak gerçekleştirilmektedir.

HOMER programı, NASA tarafından belirli aralıklarla yerleştirilen sensörlerden elde edilen güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık verilerini kullanmaktadır. Bu çalışmada yer alan güneş ışıınımı verileri, Temmuz 1983 ile Haziran 2005 tarihleri arasındaki 22 yıllık verilere, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri ise Ocak 1984 ile Aralık 2013 tarihleri arasındaki 30 yıllık verilere dayanmaktadır. Bu veriler, seçilen coğrafi konumlara en yakın olan sensörlerden elde edilmekte ve HOMER tarafından kullanılmaktadır.

İlk lokasyon olarak, Yalova ili seçilmiş ve tüm simülasyon çalışmaları bu il için gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.1.’de, Yalova için aylara göre ortalama güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde, yıllık ortalama güneş ışıınımının $4,02 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$, rüzgâr hızının ortalama $5,06 \text{ m/s}$ ve sıcaklığın ise ortalama $13,87 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu görülmektedir. Ayrıca, Temmuz ve Ağustos ayları hariç, güneş ışıınımının ortalamanın üzerinde olduğu aylarda, rüzgâr hızının ortalama değerlerin altında olduğu, benzer şekilde, rüzgâr hızının ortalamanın üzerinde olduğu aylarda ise, güneş ışıınımının ortalamanın altında olduğu görülmektedir. Bu da YEK’in birbirlerini tamamlayıcı bir rol oynayabileceğini açıkça göstermektedir.

Tablo 2.1. Yalova için aylara göre ortalama güneş ışıınımı, rüzgâr hızı (50 m’de) ve sıcaklık verileri

Aylar	Ortalama Güneş Işınımı (kWh/m ² /day)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Ortalama Sıcaklık (°C)
Ocak	1,67	5,43	4,94
Şubat	2,31	5,53	5,03
Mart	3,49	5,35	7,16
Nisan	4,46	4,63	11,63
Mayıs	5,91	4,25	16,38
Haziran	6,71	4,27	20,94
Temmuz	6,79	5,18	23,49
Ağustos	5,93	5,43	23,71
Eylül	4,69	4,94	20,2
Ekim	2,99	5,11	15,61
Kasım	1,88	5,08	10,7
Aralık	1,39	5,53	6,69
Yıllık Ortalama	4,02	5,06	13,87

Coğrafi lokasyon seçildikten sonra tamamlanması gereken diğer önemli bir adım da enerji ihtiyacı olan yüklerin sisteme tanımlanmasıdır. Bu çalışmada, iki farklı elektrik yükü ve ailenin TLD’si göz önünde bulundurulmuştur. Elektrik yükleri, ev içinde tüketilen elektrik enerjisi ile ailenin kullandığı varsayılan TOGG marka bir elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik enerjisini içermektedir.

HOMER programında lokasyon seçildikten ve yük verilerinin sisteme girişi yapıldıktan sonraki adım ise, sistemde kullanılacak diğer bileşenleri belirlemektir. Hangi enerji kaynaklarının tercih edileceği, sistemin şebekeye bağlı olup olmayacağı, dizel jeneratörün kullanılıp kullanılmayacağı, sistemde depolama ünitesinin kullanılıp kullanılmayacağı (kullanılacaksa hangi tip depolama ünitesinin kullanılacağı), sistemde inverter veya konverterin bulunup bulunmayacağı gibi konular netleştirilmelidir. Sistem bileşenleri belirlendikten sonra, bu bileşenlere ait başlangıç maliyetleri, yer değişim maliyetleri, bakım-onarım maliyetleri, kullanım ömrü gibi bilgiler belirlenip sisteme girilerek simülasyon çalışması gerçekleştirilir.

Simülasyon sonucunda, HOMER programı tarafından önerilen sistemler, NPC'si en düşük olan sistemden en yüksek olana doğru sıralanmaktadır.

Bu çalışmada, rüzgâr ve güneş enerjisi kaynakları tercih edilmiştir ve sistem, rüzgâr türbini ile FV panellerini içermektedir. Ayrıca, sistemde AC'den DC'ye ve DC'den AC'ye dönüşüm yapabilen konvertör ve akü de kullanılmıştır. Tüm ekonomik veriler, ABD doları cinsinden ifade edilmektedir.

Ayrıca çalışmada, sistemin öngörülen proje ömrü 25 yıl olarak kabul edilmiştir. Yıllık elektrik kesintisi sınırını ifade eden “annual capacity shortage” değeri ise, %5 olarak belirlenmiştir. Bu sınır, sistemin yıllık elektrik üretiminde maksimum %5 oranında bir kesintiye izin verme kapasitesine işaret etmektedir. Ayrıca, ABD doları için enflasyon oranı %5 ve faiz oranı ise %5,25 olarak tanımlanmıştır [69,70].

İlk aşamada, simülasyon çalışması, sadece ev içi tüketilen elektrik yükü ile ailenin sahip olduğu farz edilen, TOGG marka bir elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik yükü dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma yapılırken, elektrikli taşıtın hem günlük hem de haftada bir şarj edildiği iki farklı senaryo için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryo, sistem maliyeti açısından daha avantajlı bulunmuştur. Bu nedenle, bundan sonraki tüm çalışmalar, taşıtın günlük şarj edildiği senaryoya dayalı olarak yapılmıştır.

Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için simülasyon çalışması tamamlandıktan ve sonuçlar analiz edildikten sonra, ailenin TLD verileri de sisteme dahil edilmiştir. TLD'nin üç farklı sistem ile karşılandığı üç farklı senaryo dikkate alınarak, tekrar simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda, TLD'nin, sadece sistemde yer alan bir kazan ile karşılandığı düşünülmüştür. İkinci senaryoda, sisteme TLC eklenmiştir ve TLD'nin, kazan sistemi ve TLC'nin koordinasyonlu bir şekilde çalışması ile karşılandığı sistem incelenmiştir. Üçüncü senaryoda ise, termal yük, sisteme elektrik yükü olarak tanımlanmış ve TLD'nin 5 kW'lık bir rezistif ısıtıcıyla karşılandığı varsayılmıştır. Bu üç senaryo için yapılan çalışmaların sonuçları incelenip analiz edilmiştir ve farklı senaryolar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu simülasyon çalışmalarının tamamı, Yalova ili için yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, bir ailenin elektrik yükü taleplerini, fosilden bağımsız bir enerji sistemiyle karşılamanın teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğunu fakat TLD de dikkate

alındığında, tüm yük taleplerini, tamamen fosilden bağımsız bir sistem ile karşılamının, teknik ve ekonomik açıdan mantıklı bir çözüm olmadığını göstermiştir.

Bu çalışmaların ardından, Yalova için sadece elektrik yüklerinin dikkate alındığı senaryoda, HOMER tarafından önerilen NPC'si en düşük olan sistemde yer alan FV panelden gerçekleştirilen üretim miktarı, ikinci bir analiz çalışması gerçekleştirilerek doğrulanmıştır. Çalışmanın bu adımında, Sketchup, Skelion ve PVGIS programları kullanılmıştır. Kullanılan programlar ve yapılan analizler ile ilgili detaylı bilgilere, ilerleyen bölümlerde yer verilmektedir.

Simülasyon ve analiz çalışmaları Yalova için tamamlandıktan sonra, Türkiye'deki her coğrafi bölgeden seçilen bir il için, simülasyon çalışmaları tekrarlanmıştır. Yalova için gerçekleştirilen çalışmada, bir ailenin TLD'sini, tamamen sıfır emisyonlu bir enerji sistemiyle karşılamının teknik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığı sonucuna varıldığından, diğer iller için gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında, sadece ailenin elektrik yükü talepleri dikkate alınmıştır. Sadece elektrik yüklerinin dikkate alındığı senaryo için simülasyon çalışmaları, Yalova dahil olmak üzere toplam 7 il için gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen tüm iller ile bu iller için, kaynak verilerinin alındığı sensörlere ait coğrafi konum bilgileri, Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Seçilen coğrafi lokasyonlardaki sensörlere ait enlem ve boylam bilgileri

Bölge	Seçilen İller	Enlem	Boylam
Akdeniz	Antalya	36.75	30.75
Doğu Anadolu	Erzincan	39.75	39.25
Ege	İzmir	38.25	26.25
Güneydoğu Anadolu	Diyarbakır	37.75	40.25
İç Anadolu	Ankara	39.75	32.75
Marmara	Yalova	40.75	29.25
Karadeniz	Sinop	42.25	35.25

Tablo 2.3'te ise, çalışma kapsamında seçilen tüm illerin yıllık ortalama güneş ışınlamı, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde, yıllık ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 3,61 m/sn ile 7,09 m/sn arasında değiştiği

görülmektedir ve en yüksek ortalama rüzgâr hızına 7,09 m/s ile İzmir ili, en düşük ortalama rüzgâr hızına ise 3,61 m/s ile Erzincan ilinin sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık ortalama güneş ışıınımı değerleri incelendiğinde, bu değerlerin 4,02 ile 5,08 kWh/m²/day arasında değiştiği ve en yüksek ortalama güneş ışıınımı değerine 5,08 kWh/m²/day ile İzmir ilinin, en düşük ortalama güneş ışıınımı değerine ise 4,02 kWh/m²/day ile Yalova ilinin sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Sıcaklık değerleri ise, 5,39 ile 18,23 °C arasında değişmektedir. En yüksek yıllık ortalama sıcaklık değeri, 18,23 °C ile Antalya’da, en düşük değeri ise, 5,39 °C ile Erzincan ilinde kaydedilmiştir.

Tablo 2.3. Seçilen coğrafi lokasyonlara ait yıllık ortalama güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri

Coğrafi Bölge	Seçilen İl	Ortalama Güneş Işıınımı (kWh/m ² /day)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Ortalama Sıcaklık (°C)
Akdeniz	Antalya	4,54	3,73	18,23
Doğu Anadolu	Erzincan	4,51	3,61	5,39
Ege	İzmir	5,08	7,09	17,74
Güneydoğu Anadolu	Diyarbakır	4,77	4,37	15,26
İç Anadolu	Ankara	4,40	4,55	10,52
Marmara	Yalova	4,02	5,06	13,87
Karadeniz	Sinop	4,15	5,30	13,93

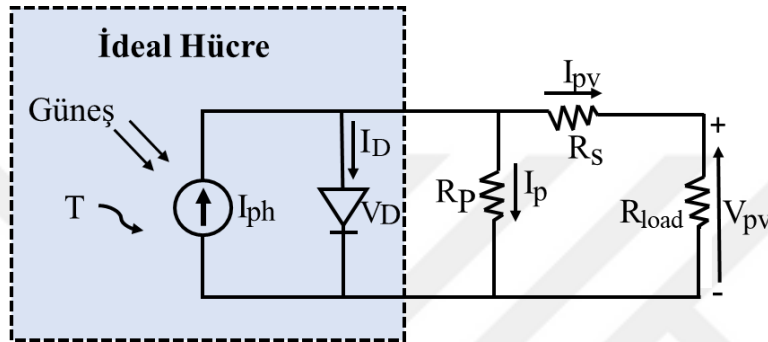
Tüm iller için, sadece elektrik yüklerini içeren senaryo dikkate alınarak gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının sonuçları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bulunan sonuçlar ve yapılan analizler, ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

2.1.1. Sıcaklık ile FV panelin verimi arasındaki ilişki

Enerji sistemleri için sıcaklık verileri, en az güneş ışıınımı ve rüzgâr hızı verileri kadar önem taşımaktadır. Çünkü sıcaklık, FV panellerin performansına doğrudan etki

eden faktörlerden biridir. Sıcaklığın yükselmesi ile FV panellerin verimi azalmaktadır.

Şekil 2.1’de bir FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi gösterilmektedir. Bu devrede, I_{ph} fotovoltaik hücrenin fotovoltaik akımını, I_{pv} çıkış akımını, V_{pv} FV hücrenin çıkış gerilimini, R_p FV hücredeki sızıntı akımlarını ifade eden paralel direnci, R_s çıkıştaki gerilim düşümünü ifade etmek için kullanılan seri direnci, R_{load} ise yük direncini temsil etmektedir [71,72].



Şekil 2.1. Bir FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi [71-73]

I_{pv} akımını hesaplamak için Denklem (2.1)’deki eşitlik kullanılmaktadır. I_0 ters diyot saturasyon akımını, q elektron yükünü ($1,6021917 \times 10^{-19} \text{C}$), k Boltzmann sabitini ($1,3806505 \times 10^{-23} \text{ Joules/Kelvin}$), n diyotun ideallik faktörünü, T_c ($^{\circ}\text{C}$) FV hücre sıcaklığını Kelvin birimiyle ifade etmektedir [71].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT_c}} - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p} \right) \quad (2.1)$$

R_p değeri R_s ’den çok daha büyüktür. Eşdeğer devrede, $R_p = \infty$ kabul edilerek açık devre alındığında, I_{pv} akımının formülü Denklem (2.2)’deki olmaktadır [72].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

I_{pv} formülü düzenlendiğinde ise, Denklem (2.3)’teki V_{pv} formülü elde edilmektedir. Denklem incelendiğinde, I_{pv} ve I_0 akımlarının artmasıyla çıkış gerilim değerinin azaldığı görülmektedir [72].

$$V_{pv} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_{pv}}{I_0} \right) - R_s I_{pv} \quad (2.3)$$

Bir FV hücrenin çıkış gücü ise, Denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır [72].

$$P = V_{pv} I_{pv} \quad (2.4)$$

Sıcaklığın güce olan etkisinin daha net anlaşılabilmesi için Denklem (2.5)'te verilen bant aralığı enerjisi formülünün incelenmesi gerekmektedir. Bu denklemde, $E_G(T_C)$ sıcaklığa bağlı olarak bant aralığı enerjisini, $E_G(0)$ bant aralığının sınırlayıcı değerini, α ve β deneysel verilere en iyi uyumu sağlamak için seçilen sabitleri, T_C ise sıcaklığı temsil etmektedir [74]. Denklemden de anlaşılacağı üzere, bir FV hücrede sıcaklık artışı meydana geldiğinde yarı iletkenlerin bant aralığı enerjisi azalmaktadır. Bu da hücre tarafından daha fazla ışın absorbe edilmesine ve bu nedenle çıkış akımının artmasına neden olmaktadır.

$$E_G(T_C) = E_G(0) - \frac{\alpha T_C^2}{(T_C + \beta)} \quad (2.5)$$

Denklem (2.4)'teki güç formülü incelendiğinde, çıkış gücünün akım ve gerilim ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça, çıkış akımının artışına rağmen, çıkış geriliminde daha fazla düşüş meydana gelmektedir. Gerilimdeki düşüşün akımdaki artıştan daha fazla olmasının nedeninin daha iyi anlaşılabilmesi için, I_0 akımının formülü, Denklem (2.6)'da asal taşıyıcı yoğunluğuna bağlı olarak sunulmaktadır. Bu denklemde, n_i , asal taşıyıcı yoğunluğunu, A diyotun kesit alanını, D_n elektronların difüzyon katsayısını, D_p deliklerin difüzyon katsayısını, L_n elektronların difüzyon uzunluğunu, L_p deliklerin difüzyon uzunluğunu temsil etmektedir. n_i 'nin formülü ise Denklem (2.7)'de verilmektedir. Bu denklemde h planck sabitini, m_e elektronun kütlesini, m_h deliğin kütlesini ifade etmektedir. Denklem (2.7) incelendiğinde, sıcaklık artışının n_i 'yi artırdığı görülmektedir. Aynı şekilde, Denklem (2.6) dikkate alındığında da I_0 akımının n_i 'nin karesi ile doğru orantılı olarak arttığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, iki denklem birlikte ele alındığında, sıcaklığın artışıyla n_i 'de meydana gelen bir birim değişimin, I_0 akımını yaklaşık 100 birim artıracığı görülmektedir.

$$I_0 = qA \left(\frac{D_n}{L_n} \frac{n_i^2}{N_A} + \frac{D_p}{L_p} \frac{n_i^2}{N_D} \right) \quad (2.6)$$

$$n_i(T) = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{-E_G/2kT} \quad (2.7)$$

Sonuç olarak, bir FV hücrede sıcaklık artışı meydana geldiğinde, I_0 akımının değeri, çıkış akımına göre çok daha fazla artmaktadır. I_0 akımının çıkış akımına göre daha fazla artması, I_0 akımı ile çıkış gerilimi ters orantılı olduğundan, çıkış geriliminin çıkış akımındaki artışa oranla daha fazla düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle de FV hücrenin çıkış gücü azalmaktadır.

Denklem (2.8)'de ise, bir FV hücrenin verimi I_{SC} kısa devre akımına ve V_{OC} açık devre gerilimine bağlı olarak verilmektedir. Devreye yük bağlı olmadığında devrenin kısa devre edilmesiyle elde edilen akım I_{SC} , devrenin açık devre edilmesiyle elde edilen gerilim ise V_{OC} ile ifade edilmektedir. Bu parametreler, panelin verimliliğini belirlemede kullanılmaktadır. Bu denklemde, η , FV panelin verimini FF, dolgu faktörünü temsil etmektedir. İdeal bir hücrede, dolgu faktörü 1'dir [75]. Denklemden açıkça görülmektedir ki, FV hücrenin çıkış gücü kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ile doğru orantılıdır. Az önce de belirtildiği gibi, bir FV hücrede sıcaklık arttığında, aynı şekilde V_{OC} 'deki azalma I_{SC} 'deki artıştan daha fazla olduğundan, panelin verimi azalmaktadır.

$$\eta = \frac{I_{SC} V_{OC} FF}{P_{in}} \quad (2.8)$$

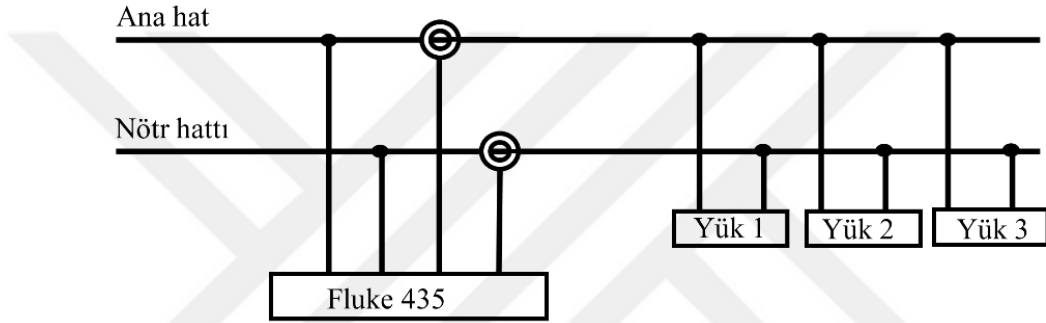
Görülmektedir ki, seçilen coğrafi lokasyonların sıcaklık değerleri, FV sisteminin verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Aynı radyasyon düzeyine sahip olan iki bölge arasında, sıcaklığın düşük olduğu lokasyon, verimlilik açısından daha avantajlıdır.

2.1.2. Ev içinde tüketilen elektrik yükünün belirlenmesi

Referans alınan 4 kişilik ailenin ev içindeki elektrik tüketim miktarının belirlenmesi amacıyla, Fluke 435 II Güç Kalite ve Enerji Analizörü ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm düzenek yapısı, Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Ölçümler, 1 Ekim 2022 ile 28 Ekim 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.3'te ise, Fluke 435 II Güç Kalite ve Enerji Analizörü'nün tek faz bağlantı şeması sunulmaktadır. Bağlantı şemasındaki ilk 2 prob gerilim probunu, 3. ve 4. problar ise akım problarını temsil etmektedir.



Şekil 2.2. Ölçüm düzenek yapısı



Şekil 2.3. Fluke 435 II güç kalite ve enerji analizörünün tek faz bağlantı şeması

Güç kalite ve enerji analizörü ile gerçekleştirilen ölçümler, yirmi sekiz gün boyunca 5 saniyelik zaman aralıklarıyla kaydedilmiştir. Ölçüm sonuçlarının bir örneği, Tablo 2.4’te sunulmaktadır. Bu tabloda, “Tarih” sütununda, ölçüm yapılan tarihler; “Saat” sütununda ölçümün gerçekleştiği saat aralığı ve “5 Saniyelik Ortalama Güç (mW)” sütununda, beş saniyelik zaman dilimleri için tüketilen ortalama güç mW birimiyle ifade edilmektedir. İlk üç sütundaki veriler, ölçüm sonucunda elde edilmiştir. “5 Saniyelik Ortalama Güç (kW)” sütunu, mW olarak ölçülen güç verilerinin kW birimine dönüştürülmüş halini içermektedir. “Saatlik Ortalama Güç (kW)” sütunundaki veriler ise, saatlik ortalama güç verilerini kW birimiyle ifade etmektedir. Bu veriler, 5 saniyelik ortalama güç verilerinin 5 ile çarpılıp 3.600’e bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo 2.4. Ölçüm sonuçlarından örnek bir bölüm

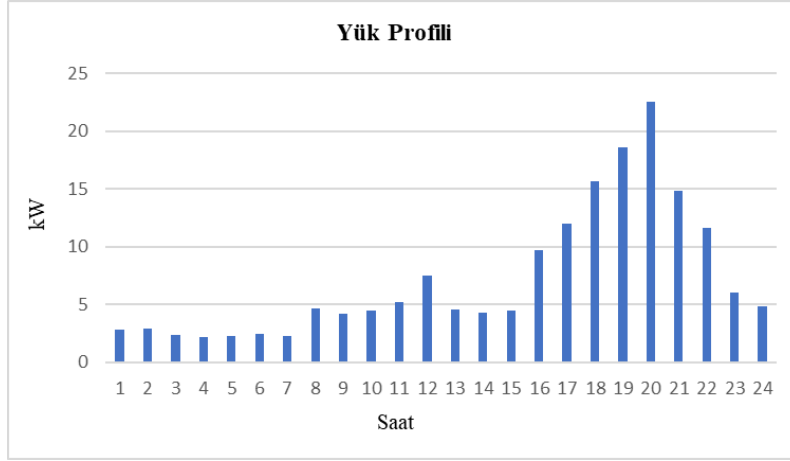
Tarih	Saat	5 Saniyelik Ortalama Güç (mW)	5 Saniyelik Ortalama Güç (kW)	Saatlik Ortalama Güç (kW)
29.9.2022	6:41:27 PM.264	260000	0,260000	0,000361
29.9.2022	6:41:32 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:41:37 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:41:42 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:41:47 PM.264	260000	0,260000	0,000361
29.9.2022	6:41:52 PM.264	260000	0,260000	0,000361
29.9.2022	6:41:57 PM.264	300000	0,300000	0,000417
29.9.2022	6:42:02 PM.264	300000	0,300000	0,000417
29.9.2022	6:42:07 PM.264	300000	0,300000	0,000417
29.9.2022	6:42:12 PM.264	300000	0,300000	0,000417
29.9.2022	6:42:17 PM.264	300000	0,300000	0,000417
29.9.2022	6:42:22 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:42:27 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:42:32 PM.264	280000	0,280000	0,000389
29.9.2022	6:42:37 PM.264	280000	0,280000	0,000389

Ölçüm sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, Excel programı ile saatlik toplam güç verilerini içeren Pivot tablosu oluşturulmuştur. Oluşturulan Pivot tablosu ile elde edilen 28 günlük saatlik toplam güç verileri, Tablo 2.5'te sunulmaktadır. Bu veriler baz alınarak, ailenin 28 gün boyunca ev içinde tükettiği enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Temel enerji formülünde güç ile zamanın çarpılması ile bulunan değer, enerji miktarını ifade etmektedir. Bu nedenle, bu tablodaki güç verileri 1 ile çarpıldığında, kWh birimiyle, tüketilen enerji miktarı bulunur. Yani bu tabloda yer alan toplam güç verileri, aynı zamanda tüketilen saatlik toplam enerji miktarlarını da temsil etmektedir. Bu bilgiler ışığında, 28 gün boyunca tüketilen toplam enerji miktarının, 172,78 kWh olduğu, açıkça görülmektedir. Tüketilen toplam enerji miktarı 28'e bölündüğünde, ailenin günlük ortalama 6,17 kWh enerji tükettiği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 2.5. 28 günlük saatlik toplam güç verileri

Saat	28 Günlük Saatlik Toplam Güç (kW)
00:00	2,8223
01:00	2,9444
02:00	2,3627
03:00	2,2035
04:00	2,2668
05:00	2,4853
06:00	2,2797
07:00	4,6647
08:00	4,1799
09:00	4,4547
10:00	5,2003
11:00	7,4956
12:00	4,6193
13:00	4,2999
14:00	4,4639
15:00	9,7124
16:00	11,9913
17:00	15,6834
18:00	18,6586
19:00	22,5770
20:00	14,8764
21:00	11,6602
22:00	6,0415
23:00	4,8325
Toplam	172,7763

Şekil 2.4'te, elde edilen saatlik toplam güç verileri kullanılarak Excel'de oluşturulan, 28 günlük toplam yük profili gösterilmektedir. Yük profili incelendiğinde, en fazla enerji tüketiminin 17:00 ile 22:00 saatleri arasında, en düşük enerji tüketiminin ise 00:00-07:00 saatleri arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4. 28 günlük toplam yük profili

Ailenin toplam yük profilinin, sadece hafta içi günlerini kapsayacak şekilde elde edilmesi için, Excel’de oluşturulan Pivot tablosundan tekrar yararlanılmıştır. Bu tabloda sadece hafta içi günleri seçilerek, sadece hafta içi günleri için elde edilen toplam saatlik güç değerleri, Tablo 2.6’da gösterilmektedir. Bu tablodaki güç değerleri, daha önceki kısımda açıklandığı üzere, aynı zamanda tüketilen saatlik enerji miktarlarını ifade etmektedir. Bu bağlamda, ölçüm yapılan hafta içi günlerinde tüketilen toplam enerjinin, 107,63 kWh olduğu açıkça görülmektedir. Ölçüm yapılan 28 günden 20’si, hafta içine denk gelmektedir. Bu nedenle, 107,63 kWh değerinin 20’ye bölünmesi sonucunda, ölçüm yapılan hafta içi günlerindeki günlük ortalama tüketilen enerji miktarı 5,38 kWh olarak bulunmaktadır.

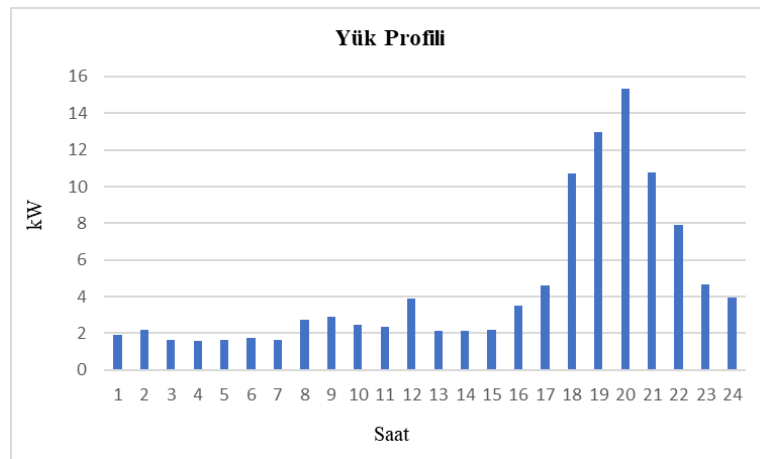
Tablo 2.6. Hafta içi günleri için saatlik toplam güç değerleri

Saat	Toplam Saatlik Güç (kW)
00:00	1,9072
01:00	2,2009
02:00	1,6619
03:00	1,5706
04:00	1,6376
05:00	1,7668
06:00	1,6431
07:00	2,7186
08:00	2,8886
09:00	2,4834

Tablo 2.6. (Devam) Hafta içi günleri için saatlik toplam güç değerleri

10:00	2,3617
11:00	3,8678
12:00	2,1118
13:00	2,1511
14:00	2,1910
15:00	3,5079
16:00	4,6157
17:00	10,7074
18:00	12,9559
19:00	15,3597
20:00	10,7794
21:00	7,9161
22:00	4,6858
23:00	3,9365
Toplam	107,6265

Sadece hafta içi günlerini baz alarak elde edilen 20 günlük toplam yük profili, Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Profil incelendiğinde, hafta içindeki günlerde enerji tüketiminin, 17:00 ile 22:00 saatleri arasında en yüksek, 00:00-07:00 saatleri arasında ise en az olduğu görülmektedir.



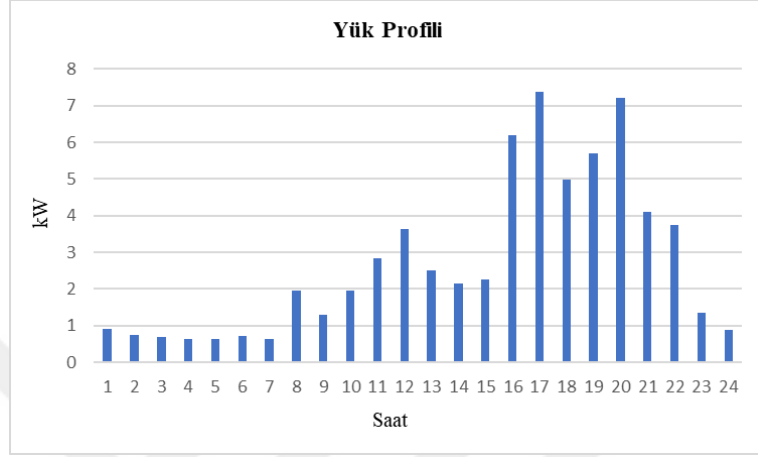
Şekil 2.5. Sadece hafta içi günleri için 20 günlük toplam yük profili

Daha sonra, Excel’de oluşturulan Pivot tablosundan tekrar yararlanılarak, ailenin yük profili, sadece hafta sonu günlerini kapsayacak şekilde elde edilmiştir. Sadece hafta sonu günleri seçilerek elde edilen saatlik toplam güç değerleri, Tablo 2.7’deki gibi olmaktadır. Enerji formülüne göre, hafta sonu günlerinde tüketilen toplam enerji, 65,15 kWh olarak belirlenmektedir. Ölçüm yapılan 28 günden 8’i, hafta sonuna denk gelmektedir. 65,15 kWh değeri 8’e bölüldüğünde, ölçüm yapılan günlerde hafta sonu günlerindeki ortalama günlük tüketilen enerji miktarı, 8,14 kWh bulunmaktadır.

Tablo 2.7. Hafta sonu günleri için saatlik toplam güç verileri

Saat	Toplam Saatlik Güç (kW)
00:00	0,9151
01:00	0,7435
02:00	0,7009
03:00	0,6329
04:00	0,6292
05:00	0,7185
06:00	0,6366
07:00	1,9461
08:00	1,2913
09:00	1,9713
10:00	2,8386
11:00	3,6279
12:00	2,5075
13:00	2,1488
14:00	2,2729
15:00	6,2045
16:00	7,3756
17:00	4,9760
18:00	5,7027
19:00	7,2173
20:00	4,0970
21:00	3,7441
22:00	1,3558
23:00	0,8959
Toplam	65,1498

Sadece hafta sonu günleri baz alınarak elde edilen 8 günlük toplam yük profili, Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Profil incelendiğinde, ölçüm yapılan hafta sonu günlerinde enerji tüketiminin özellikle 16:00 ile 22:00 saatleri arasında en yüksek, 00:00-07:00 saatleri arasında ise en az olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6. Sadece hafta sonu günleri için 8 günlük toplam yük profili

Ölçüm yapılan günler için, hafta içi ve hafta sonu günlerindeki toplam enerji tüketim miktarları karşılaştırıldığında, tüketilen ortalama günlük enerji miktarının hafta sonu günlerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeni, aile üyelerinin hafta sonları evde daha fazla zaman geçirmeleri olabilir.

Ölçüm sonucunda elde edilen 28 günlük güç verilerinin HOMER'a aktarılması için, 365 günlük güç verilerini kapsayacak şekilde bir Excel dosyası oluşturulması ve bu Excel dosyasının da csv. formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Excel tablosu oluşturulurken, 1 yılda 52 hafta bulunduğundan, ölçüm sonucu elde edilen 4 haftalık güç verileri, 365 günü tamamlamak üzere, toplamda 13 kere tekrarlanarak tabloda kullanılmıştır.

Sonuç olarak, yılın tüm günleri için güç verilerini kapsayacak şekilde, Excel tablosu oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan Excel dosyası csv. formatına dönüştürülerek HOMER programına aktarılmış ve aktarılan dosyaya göre HOMER tarafından günlük, mevsimlik ve yıllık yük profilleri oluşturulmuştur.

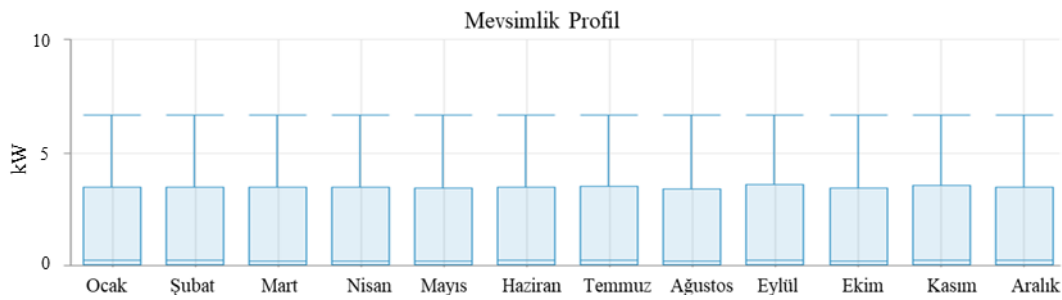
Şekil 2.7’de elde edilen günlük yük profili gösterilmektedir. Bu profil incelendiğinde, daha önce elde edilen 28 günlük toplam yük profilinde olduğu gibi, ailenin enerji tüketiminin 17:00 ile 22:00 saatleri arasında en yüksek olduğu görülmektedir.



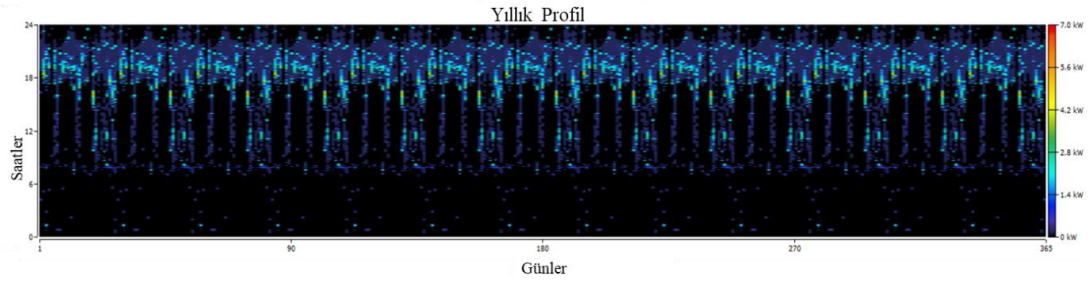
Şekil 2.7. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için günlük elektrik yükü profili

Şekil 2.8’ de, HOMER tarafından oluşturulan mevsimlik yük profili, Şekil 2.9’da ise yıllık yük profili gösterilmektedir. Dört haftalık ölçümlerden elde edilen veriler, 13 kere tekrarlandığından mevsimlik yük profilinde herhangi bir dalgalanma görülmektedir.

Ayrıca HOMER, aktarılan Excel dosyasındaki verileri kullanarak ailenin ev içindeki enerji tüketimini günlük ortalama 6,16 kWh olarak hesaplamıştır. Saatlik ortalama gücü 0,26 kW, pik gücü ise 6,67 kW olarak hesaplamıştır.



Şekil 2.8. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için mevsimlik elektrik yükü profili



Şekil 2.9. HOMER tarafından oluşturulan ev içi tüketim için yıllık elektrik yükü profili

2.1.3. Elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik yükünün hesaplanması

Bu çalışmada, referans alınan ailenin bir elektrikli taşıt kullandığı farz edilerek bu yük, sistemde “Elektrikli Taşıt Yük” olarak tanımlanmıştır. Ailenin hafta içleri her gün, hafta sonu ise Cumartesi günleri 1 gün, 30 km yol kat ettiği düşünülmüştür. Pazar günleri ise taşıtın kullanılmadığı varsayılmıştır.

Elektrikli taşıt olarak, yerli üretim olan TOGG marka “T10X Standart Menzil” model taşıt seçilmiştir. Şekil 2.10’da seçilen taşıtın teknik özellikleri gösterilmektedir. Bu aracın menzili 314 km’dir.

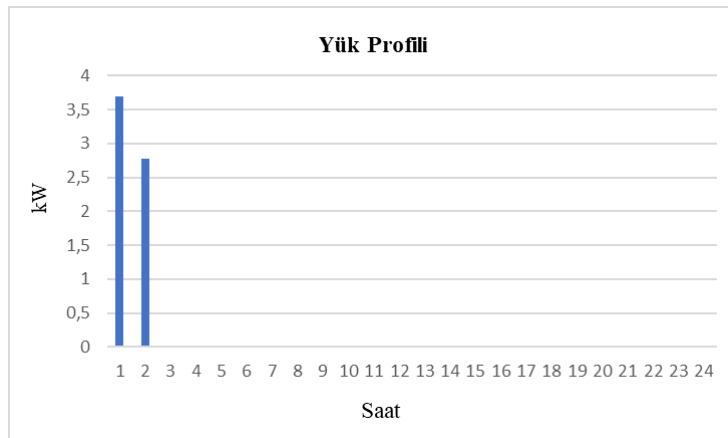
T10X	V1 RWD Standart Menzil
TEKNİK VERİLER	
Maksimum Güç (kW) / (BG)	160 / 218
Maksimum Tork (Nm)	350
Maksimum Hız (km/s)	185
Hızlanma 0 - 100 km/s (s)	7,4
Menzil (km) (WLTP)	314
Enerji Tüketimi (kWh/100 km)	16,7
Tarifelendirilmiş Enerji Tüketimi (kWh/100 km)	19,5
CO2 Emisyonu (gr/km)	0
Batarya Kapasitesi (kWh)	52,4
Dahili AC Şarj (OBC) Gücü (kW)	11
Şarj süresi - AC (11 kW) (%20 - %80) (dk)	195
Şarj süresi - DC (180 kW) (%20 - %80) (dk)	28
Çekiş sistemi	Arkadan itiş
Uzunluk x Genişlik x Yükseklik (mm)	4599 / 1886 / 1676
Aks mesafesi (mm)	2890
Yerden minimum yükseklik (mm) (boşken)	192
Ağırlık (kg) (Şoför hariç)	1949 - 1972
Bagaj Hacmi / Arka koltuklar yatırıldığında (l)	441 / 1515
Ön frenler	Hava soğutmalı disk
Arka frenler	Disk
Ön süspansiyon	MacPherson
Arka süspansiyon	Çok noktalı, Bağımsız

Şekil 2.10. Seçilen elektrikli taşıtın teknik özellikleri

Bu bilgiler ışığında, hafta içi katedilen yol toplam 150 km, hafta sonu katedilen yol ise 30 km olarak hesaplanmaktadır. Elektrikli taşıt için yük verileri HOMER programına aktarılırken, iki farklı senaryo ele alınmıştır. Birinci senaryoda, ailenin elektrikli taşıtı kullandığı her gün, ikinci senaryoda ise sadece Pazar günleri şarj ettiği varsayılmıştır. Birinci senaryoda, 30 km yol katedilmesi durumunda, tüketilen enerjinin yerine konabilmesi için, taşıtın her gün, 1 saat 45 dakika boyunca şarj edilmesi gerekmektedir. İkinci senaryoda ise, bir hafta boyunca toplam 180 km yol katedilmesi durumunda, tüketilen enerjinin yerine konabilmesi için, taşıtın yaklaşık 11 saat boyunca şarj edilmesi gerekmektedir. Taşıt şarj edilirken, sistemden saatte 3,7 kW güç çekmektedir. Bu veriler, ilgili taşıt için hazırlanmış olan teknik dokümandaki bilgilere dayanmaktadır [76].

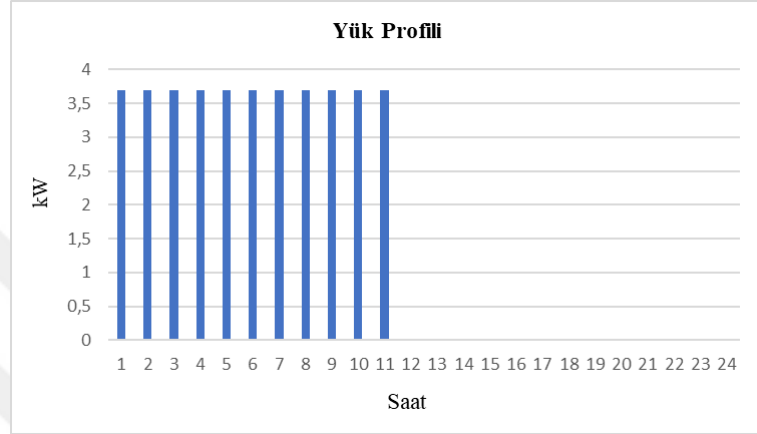
İki senaryo için de belirlenen güç ve şarj süresi verileri ile, HOMER programına aktarılmaya uygun olacak ve yılın 365 günü için güç verilerini kapsayacak şekilde Excel tabloları hazırlanmıştır. Tablo oluşturulurken, ev içinde tüketilen güç verilerinin girildiği Excel dosyasındaki formatın aynısı kullanılmıştır. Daha sonra, iki senaryo için de oluşturulan Excel tabloları csv. formatına dönüştürülmüş ve sırayla HOMER programına aktarılmıştır. Bu aktarımların ardından, HOMER tarafından, aktarılan csv. dosyalarına göre, her iki senaryo için de günlük, mevsimlik ve yıllık yük profilleri oluşturulmuştur.

Birinci senaryo için HOMER tarafından oluşturululan günlük yük profili, Şekil 2.11.'de gösterilmektedir. Bu profil, taşıtın günlük şarj edildiği birinci senaryoda, şarj için tüketilen günlük güç miktarlarını içermektedir.



Şekil 2.11. Elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda günlük yük profili

İkinci senaryo için, HOMER tarafından oluşturululan günlük yük profili, Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Bu profil, ikinci senaryoda, elektrikli taşıtın şarj edildiği gün için güç tüketim miktarlarını içermektedir. Bu senaryoda taşıt, sadece Pazar günleri şarj edilmektedir. Bu nedenle, elde edilen günlük yük profili, sadece Pazar gününün günlük yük profilini temsil etmektedir. Diğer günler taşıt şarj edilmediğinden, herhangi bir enerji tüketimi bulunmamaktadır.



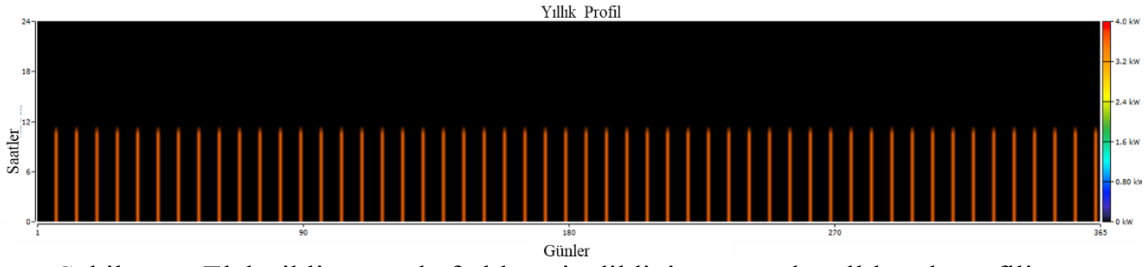
Şekil 2.12. Elektrikli taşıtın haftalık şarj edildiği senaryoda günlük yük profili

Birinci senaryo için HOMER tarafından oluşturulan yıllık yük profili, Şekil 2.13’te gösterilmektedir. Bu profil, bir yıl boyunca günlere göre tüketilen güç miktarlarını ifade etmektedir. Grafik incelendiğinde, Pazar günleri hariç tüm günlerde, 00:00 ile 01:45 saatleri arasında saatlik 3.7 kW güç tüketildiği görülmektedir.



Şekil 2.13. Elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda yıllık yük profili

İkinci senaryo için HOMER tarafından oluşturulan yıllık yük profili ise, Şekil 2.14’te gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde de, sadece taşıtın şarj edildiği Pazar günlerinde, 00:00 ile 11:00 saatleri arasında güç tüketildiği görülmektedir.



Şekil 2.14. Elektrikli taşıtın haftalık şarj edildiği senaryoda yıllık yük profili

Her iki senaryo için de taşıtın gece şarj edildiği düşünülmüştür. Çünkü, ailenin ev içinde tükettiği enerjinin en az olduğu saatler, gece saatleridir. Diğer bir ifadeyle, gece saatlerinde, sistemden çok fazla güç çekilmemektedir. Elektrikli taşıtın, enerji tüketiminin en düşük olduğu gece saatlerinde şarj edilmesi, sistemden bir anda çekilen güç miktarının aşırı yüksek olmamasını sağlamaktır.

Birinci ve ikinci senaryoda, elektrikli taşıtın şarj edilmesi için tüketilen günlük enerji miktarları HOMER tarafından sırasıyla 5,55 kWh/day, 5,8 kWh/day olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, tüketilen yıllık toplam enerji miktarlarının HOMER tarafından 365'e bölünmesiyle elde edilmiştir. Pik güç değerleri ise, iki senaryo için de 3,7 kW olarak bulunmuştur.

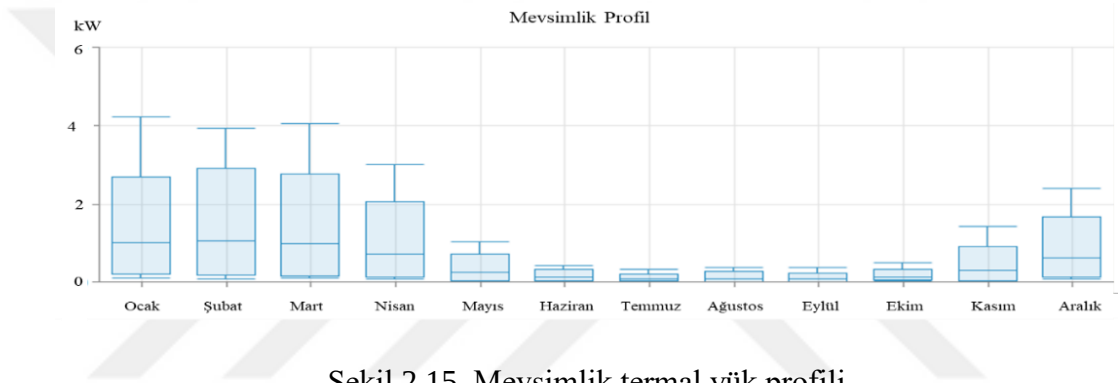
Elektrikli taşıtın farklı şarj edilme senaryolarının sisteme olan etkisinin daha net anlaşılabilmesi için, yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlar, ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

2.1.4. Termal yükün belirlenmesi

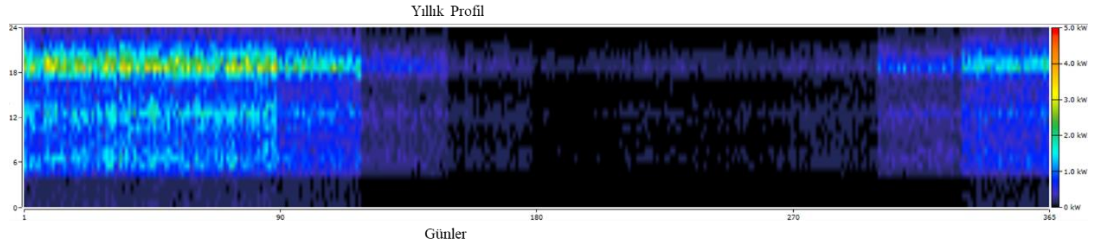
Bu çalışmada, referans alınan 4 kişilik ailenin yıllık doğal gaz kullanımının 1.000 m^3 olduğu kabul edilmiştir [77]. 1 m^3 doğal gaz kullanımı ile 10,64 kWh enerji tüketilmektedir. Bu nedenle, ailenin termal yük talebi, yıllık toplam 10.640 kWh olarak hesaplanmaktadır.

Doğal gaz kullanım tüketimi, mevsimlere göre farklılık göstermektedir. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye'de konutlardaki doğal gaz tüketim miktarlarını da içeren "Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporları" adlı aylık raporları yayınlamaktadır. 2022 yılına ait raporlar incelendiğinde, konutlardaki yıllık toplam doğal gaz tüketiminin %18'inin Ocak ve Mart, %20'sini Şubat, %13'ünün Nisan ve %11'inin ise Aralık aylarında olduğu, diğer aylarda (özellikle yaz aylarında) ise tüketimin daha düşük olduğu görülmektedir [78].

Bu nedenle termal yük talebi verileri HOMER’da tüm aylar için tanımlanırken, 10.640 kWh’lık yıllık toplam yük talebi, EPDK raporlarında belirtilen aylık tüketim oranlarına uyacak şekilde ayarlanmıştır. Ayarlanan değerler HOMER programında girilirken, TLD’nin sadece termal sistem ile karşılandığı ilk iki senaryoda, TLD verileri sisteme termal yük olarak tanımlanmıştır. Bu durumda, günlük ortalama TLD HOMER tarafından 29,15 kWh olarak hesaplanmıştır ve HOMER tarafından Şekil 2.15’te gösterilen mevsimlik yük profili ile Şekil 2.16’da gösterilen yıllık yük profili elde edilmiştir. Yük profilleri incelendiğinde, EPDK’nın raporlarında açıklandığı gibi kış aylarında tüketimin daha yüksek, özellikle yaz aylarında ise tüketimin daha düşük olduğu görülmektedir.



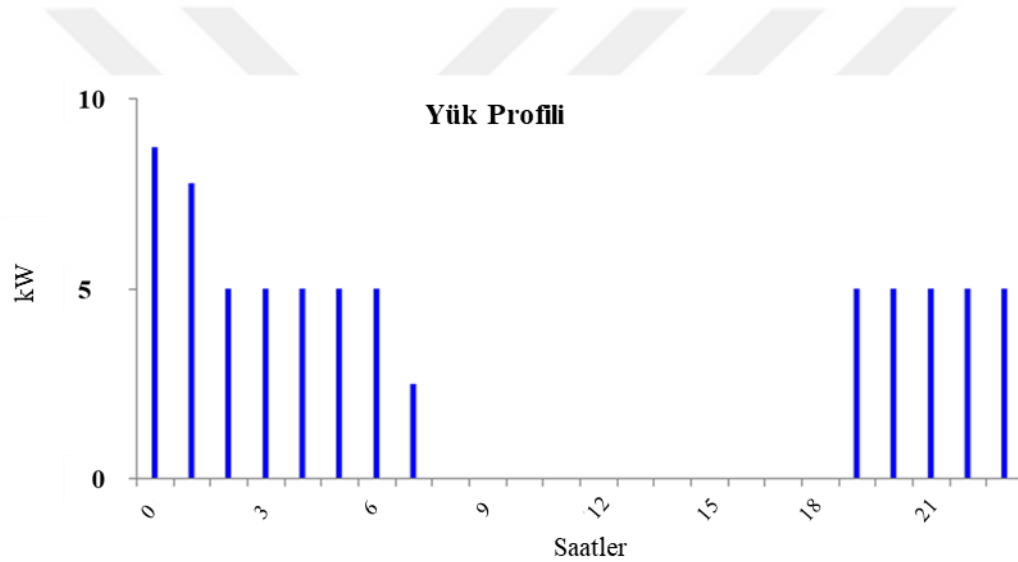
Şekil 2.15. Mevsimlik termal yük profili



Şekil 2.16. Yıllık termal yük profili

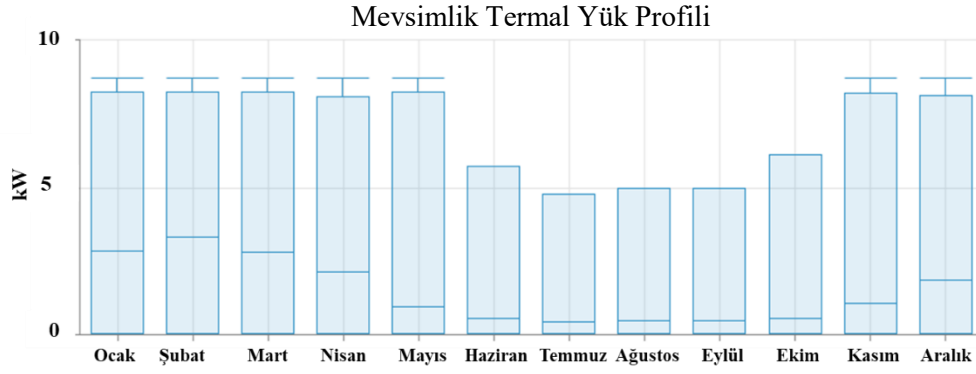
TLD’nin saatte 5 kW güç sağlayan rezistif bir ısıtıcı aracılığıyla, sadece elektrik sistemi tarafından karşılandığı senaryodaki sistemde, iki farklı elektrik yükü yer almaktadır. İlk elektrik yükü, daha önce sistemde tanımlanan ve sadece ev içerisinde tüketilen enerjiyi temsil eden yüküdür. İkinci yük verileri ise, daha önce elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryo için girilen güç verileri ile beraber, yıllık toplam 10.640 kWh olan termal yük talebini içermektedir. İki yük verisi birleştirilerek, tek yük verisi olarak sistemde tanımlanmıştır. Çünkü HOMER programında maksimum iki farklı elektrik yükü tanımlanabilmektedir. Bu nedenle, elektrikli taşıtın şarj

edilmesi için gereken güç miktarları ve TLD birleştirilmiş ve bir elektrik yükü olarak sistemde tanımlanmıştır. İlgili yük verileri sistemde tanımlandıktan sonra, “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” olarak isimlendirilen yük için elde edilen günlük yük profili, Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, yük talebinin özellikle saat 00:00 ile 06:00 arasında ve 19:00 ile 00:00 arasında yüksek olduğu görülmektedir. Çünkü, TLD bu saatlerde daha yüksektir. Ayrıca, 00:00 ile 01:45 saatleri arasında, elektrikli taşıt şarj edilmektedir. Elektrikli taşıtın şarj edilmesi ve TLD’nin karşılanması için tüketilen günlük enerji miktarı HOMER tarafından 34,7 kWh/day olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, pik güç değeri 8,7 kW olarak bulunmuştur. Bu pik değeri, elektrikli taşıtın şarj edildiği saatlere denk gelmektedir.



Şekil 2.17. TLD’nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” için günlük yük profili

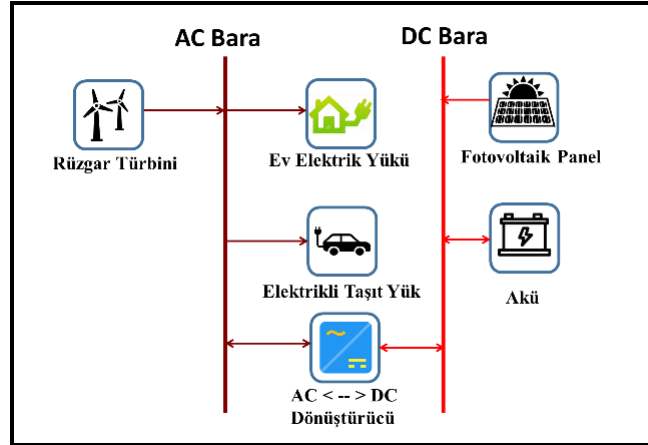
Şekil 2.18’de ise termal yük talebinin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” için oluşturulan mevsimlik yük profili görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ısıtma talebinin az olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında tüketilen miktar diğer aylara göre daha düşüktür.



Şekil 2.18. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda “Elektrikli Taşıt+Termal Yük” için mevsimlik yük profili

2.1.5. Tasarlanan sistemlerin bağlantı şemaları

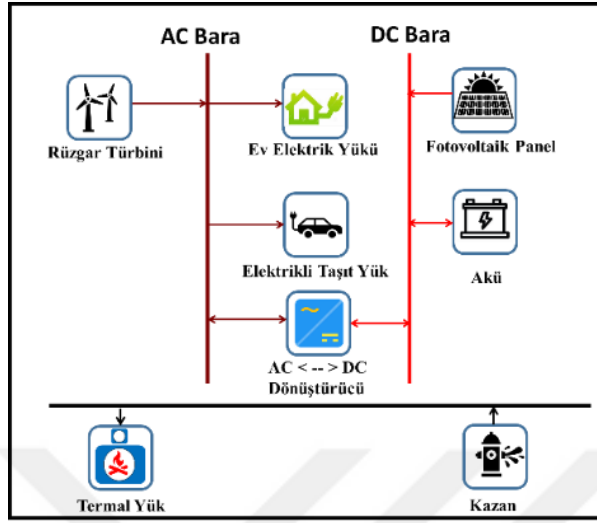
Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için tasarlanan sistemin bağlantı şeması, Şekil 2.19’da sunulmaktadır. Sistem, rüzgâr türbini, FV panel, AC’den DC’ye ve DC’den AC’ye dönüşüm yapabilen konvertör, akü ve elektrik yüklerini içermektedir. Bu sistemde, iki farklı elektrik yükü yer almaktadır. Birinci yük, ev içinde tüketilen elektrik yükü, ikinci yük ise elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken elektrik yüküdür. Elektrik yükleri ile rüzgâr türbini, sisteme AC bara üzerinden, FV panel ve akü ise, DC bara üzerinden bağlanmıştır.



Şekil 2.19. Sadece elektrik yüklerini içeren HES’in bağlantı şeması

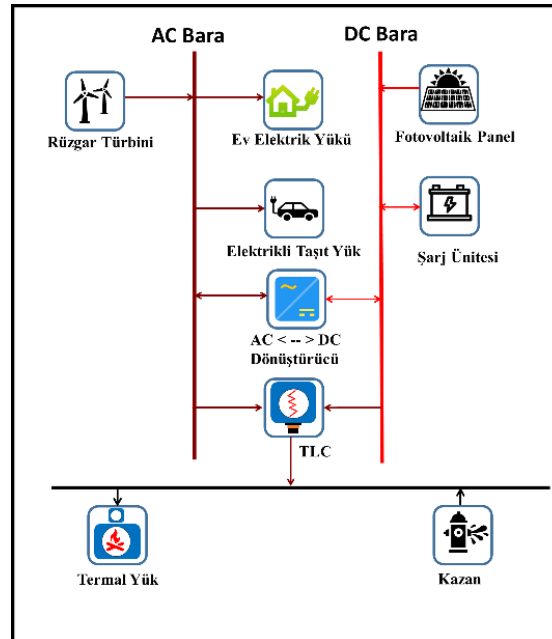
Daha sonra sisteme TLD verileri girilmiştir. Termal yük talebinin üç farklı senaryo ile karşılandığı düşünülmüştür. Birinci senaryoda, termal yük talebinin sadece bir kazan sistemi ile karşılandığı varsayılmıştır. Kazan, enerji kaynağı olarak kullandığı yakıtın kimyasal enerjisini, yanma işlemleriyle ısı enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Bu senaryoda, ilk tasarlanan sisteme sadece kazan eklenmiştir. İlgili sistemin

bağlantı şeması, Şekil 2.20’de gösterilmektedir. Kazan sisteminde, enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanılmaktadır.



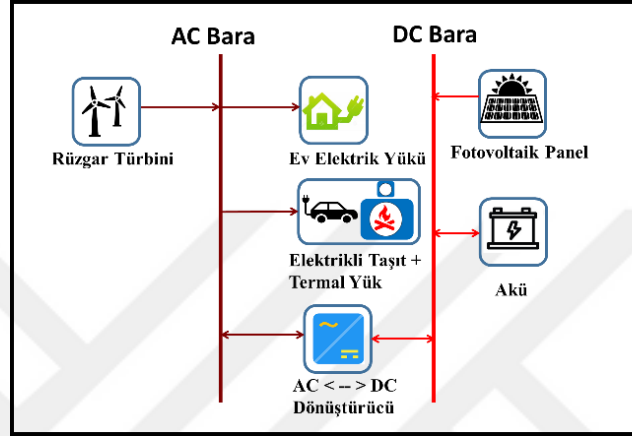
Şekil 2.20. TLD’nin kazan ile karşılandığı senaryoda tasarlanan HES’in bağlantı şeması

İkinci senaryoda ise, ilk tasarlanan sisteme, kazana ek olarak bir TLC eklenmiştir. Bu sistemin bağlantı şeması, Şekil 2.21’de sunulmaktadır. Bu sistemde, TLD, kazan sistemi ile elektrik sisteminin koordinasyonlu bir şekilde çalışmasıyla karşılanmaktadır. Elektrik sisteminde üretilen fazlalık enerji, TLC sayesinde termal enerji olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.21. TLD’nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda tasarlanan HES’in bağlantı şeması

Üçüncü senaryoda ise TLD'nin 5 kW'lık bir rezistif ısıtıcıyla karşılandığı düşünülmüştür. Bu nedenle, yıllık toplam TLD, sisteme elektrik yükü olarak girilmiştir. HOMER'da en fazla iki adet elektrik yükü tanımlanabilmektedir. Bundan dolayı, daha önce belirlenen elektrikli taşıt yük verileri ile termal yük verileri birleştirilerek HOMER'da tek bir elektrik yükü olarak tanımlanmıştır. İlgili sistemin bağlantı şeması Şekil 2.22'de gösterilmektedir.



Şekil 2.22. TLD'nin rezistif ısıtıcıyla karşılandığı senaryoda tasarlanan HES'in bağlantı şeması

2.1.6. FV panel seçimi

Çalışmada 1 kW FV panel için kurulum maliyeti (capital cost) ve yer değişim maliyeti (replacement cost) 700 \$, yıllık bakım onarım maliyeti 20 \$ olarak kabul edilmiştir. FV panelin proje ömrü 25 yıl olarak girilmiştir. "Derating factor" değeri, %80 olarak sistemde belirlenmiştir. Bu değer kirlilik, kablo kayıpları, eskime gibi negatif etkiler nedeniyle panelin çıkışında, etikette belirtilen güç değerinin yüzde kaç kadarı bir güç elde edileceğini ifade eder [79]. Bu değer %80 olarak belirtildiğinde, çıkıştaki güç kaybının maksimum %20 olmasına izin verildiği anlamına gelmektedir.

Bu faktörün etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi adına, HOMER tarafından bir FV hücresinin çıkış gücünün belirlenmesi için kullanılan formül, Denklem (2.9)'da gösterilmektedir. Denklemden, P_{PV} FV hücrenin çıkış gücünü, Y_{PV} FV hücrenin nominal kapasitesini, yani etikette belirtilen çıkış gücü değerini, f_{PV} derating factor (oran azalma faktörü) değerini, $\overline{G_T}$ FV hücreye düşen güneş ışınlamını kW/m^2 birimiyle, $G_{T,STC}$ standart test koşullarındaki güneş ışınlamını 1 kW/m^2 birimiyle, α_P

güç sıcaklık katsayısını, T_c FV hücrenin sıcaklığını °C birimiyle, $T_{c,STC}$ ise, standart test koşulları altındaki FV hücrenin sıcaklık değeri olan 25 °C'yi ifade etmektedir [80]. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında f_{PV} değeri %80 alındığında, HOMER'da P_{PV} gücü, f_{PV} değeri 0,8 kabul edilerek hesaplanmaktadır.

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{\overline{G_T}}{\overline{G_{T,STC}}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (2.9)$$

2.1.7. Rüzgâr türbini seçimi

Rüzgar türbini olarak, HOMER programında yer alan “Aeolos-V1kW” isimli 1 kW kapasiteli türbin seçilmiştir. Bu türbin için kurulum maliyeti ve yer değişim maliyeti 1441,44 Sterlin'dir [81]. 19 Mayıs 2023 tarihinde açıklanan veriler baz alındığında, 1 İngiliz Sterlin'inin 1,2464 Amerikan Doları'na eşit olduğu görülmektedir [82]. Bu nedenle, 1 adet rüzgâr türbininin kurulum maliyeti, yaklaşık 1.800 \$ olarak hesaplanmaktadır. Yıllık bakım ve onarım maliyeti ise 25 \$ dolar olarak kabul edilmiştir. Rüzgâr türbininin proje ömrü ise, 20 yıl olarak tanımlanmıştır.

Seçilen türbinde rotorun yerden yüksekliğini ifade eden “hub height” değeri yaklaşık 10 m'dir. Hub height arttıkça rüzgâr hızı da artmaktadır. Denklem (2.10)'da rüzgar hızının formülü ifade edilmektedir. Bu denklemde yer alan V_{hub} belirlenen yükseklikteki rüzgâr hızını, V_{anem} ise rüzgâr hızını ölçen anemometre cihazı ile daha önce H_{anem} referans yüksekliğinde ölçülen referans rüzgâr hızını, H_0 ise yüzey pürüzlülük uzunluğunu ifade etmektedir. Yüzey pürüzlülük yüksekliği su, çiftlik arazisi, orman, geniş açık arazi vs. gibi farklı yüzeylerde farklı değerlerde olmaktadır. Rüzgâr hızının birimi m/s, yükseklik ve uzunlukların birimi ise m'dir. Denklem incelendiğinde, yükseklik arttıkça rüzgâr hızının da arttığı görülmektedir [12].

$$V_{hub} = V_{anem} \frac{\ln \left(\frac{H_{hub}}{H_0} \right)}{\ln \left(\frac{H_{anem}}{H_0} \right)} \quad (2.10)$$

2.1.8. Akü seçimi

Depolama ünitesi olarak, 1,28 kWh kapasiteli $LiFePO_4$ akü tercih edilmiştir. 1 adet akü için başlangıç maliyeti ile yer değişim maliyeti 300 \$, yıllık bakım-onarım maliyeti ise 20 \$ olarak kabul edilmiştir. Akünün başlangıç durumunda %100 dolu

olduğu varsayılmıştır. Ayrıca bir akünün yaşam ömrü boyunca üretebileceği enerji miktarını ifade eden “throughput” değeri ise 3.500 kWh olarak hesaplanmıştır. Bir diğer önemli parametre ise deşarj derinliğidir ve bu değer, akünün yüzde kaç deşarj olacağını ifade etmektedir. Bu çalışmada, deşarj derinliği %80 olarak kabul edilmiştir. Bu, akünün tamamen boşalmayacağı ve belirtilen değere kadar deşarj olmasına müsaade edileceği anlamına gelmektedir.

2.1.9. Konverter seçimi

Konverter, DC'den AC'ye ve AC'den DC'ye dönüşüm yapabilen bir elektriksel güç dönüştürme elemanıdır. Tasarlanan sistemde AC'den DC'ye ve DC'den AC'ye dönüşüm yapan bir konverter tercih edilmiştir. Çünkü, FV ve aküler sisteme DC bara üzerinden bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle, FV panel tarafından üretilen elektriğin kullanılabilmesi için, konverter aracılığıyla AC'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Aynı şekilde, rüzgar türbini tarafından üretilen fazlalık elektriğin, aküde depolanabilmesi için de DC'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. HOMER'da bulunan “Search Space” bölümünden konverter kapasitesi 0-6 kW arasında sınırlandırılmıştır. Konverter için kurulum maliyeti ve yer değişim maliyeti 300 \$, bakım-onarım maliyeti ise 20 \$ olarak kabul edilmiştir. Konverterin verimi ise AC'den DC'ye ve DC'den AC'ye dönüşüm durumlarının ikisi için de %95 olarak belirlenmiştir.

2.1.10. Kazan seçimi

Kazan sistemi termal yük talebinin karşılanması için kullanılmaktadır. Kazan sisteminin çalışması için gereken enerji, fosil yakıt ile sağlanmaktadır. Bu yakıtların yanması ile kimyasal enerji, ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Bu çalışmada, termal yük talebinin dahil edildiği birinci ve ikinci senaryoda tasarlanan sistemde kazan yer almaktadır. HOMER, kazanın sistemde önceden mevcut olduğunu kabul etmektedir. Bu nedenle, HOMER tarafından gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında, kazanın kurulum, yer değişim, bakım ve onarım maliyetleri dikkate alınmamaktadır.

HOMER programında tasarlanan sistemin kazanı içermesi durumunda, maliyet girdisi olarak, kazanın enerji kaynağı olarak kullandığı fosil yakıtın birim maliyeti dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı fosil yakıtın kullanıldığı iki farklı senaryo ele alınmıştır. Birinci senaryoda, fosil yakıt olarak doğal gaz seçilmiş ve doğal gazın birim maliyeti 0,35 \$ olarak kabul edilmiştir. İkinci senaryoda ise yakıt

kaynağı olarak dizel tercih edilmiş ve dizelin birim fiyatı ise 1,48 \$ olarak kabul edilmiştir. Bu fiyatlar, 18 Eylül 2023 tarihinde açıklanan verilere dayanmaktadır [83,84]. Kazanın verimi ise %85 kabul edilmiştir.

2.1.11. TLC seçimi

TLC, elektrik sistemi tarafından üretilen fazlalık enerjinin, TLD'yi karşılamak üzere kullanılmasını sağlamaktadır. Bu işlem, elektrik sisteminde üretilen fazlalık enerjinin termal yük barasına iletilmesiyle gerçekleşmektedir [26,85]. Bu sayede, sistemde gereksiz yere elektrik üretilmesinin ve emisyon miktarlarının yükselmesinin önüne geçilmiş olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kullanılan TLC'nin başlangıç ve yer değişim maliyetleri 200 \$ olarak kabul edilmiştir. İşletme ve bakım maliyetleri ise, 15 \$ olarak belirlenmiştir. TLC'nin kapasitesi 0-15 kW değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

2.2. Yalova İli İçin Simülasyon Sonuçları

2.2.1. Simülasyon sonuçlarında yer alan parametreler

HOMER ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının sonuçlarında, bazı parametreler yer almaktadır. Analiz çalışmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için, ilgili parametreler ve açıklamaları aşağıda sunulmaktadır.

NPC: Sistemde şuan mevcut olan ürünler için, proje ömrü boyunca harcanan tüm giderleri (sermaye maliyeti, bakım-onarım maliyet, vb.) içermektedir. NPC aynı zamanda, simülasyon sonucunda HOMER tarafından önerilen enerji sistemlerinin sıralanmasında da kullanılmaktadır. HOMER, sıralamayı NPC'si en düşük olan sistemden en yüksek olana doğru gerçekleştirmektedir.

COE: Bu değer, 1 kWh enerji üretmek için gereken maliyeti ifade etmektedir.

İşletme Maliyeti (İşl. Mal.): İşletme maliyeti, sistem için gereken ilk sermaye maliyeti haricindeki bütün gider ve gelirlerin yıllık olarak karşılığını temsil etmektedir.

Başlangıç maliyeti (Baş. Mal.): Sistemin kurulumu için gereken maliyeti belirtmektedir.

Yenilenebilir Oran (Yenilenebilir Fraksiyon- Yen. Frak.): Üretilen enerjinin yüzdelik olarak ne kadarının YEK'ten elde edildiğini ifade etmektedir.

Toplam Yakıt: Sistemde yıl boyunca kullanılan yakıt miktarını ifade etmektedir.

Dispatch (Sevk): Yeterli yenilenebilir enerji kaynağı olmadığı durumda sistemin stratejisinin ne olacağını belirtmektedir. Cycle Charging (Çevrim Şarjı) ve Load Following (Yük Takibi) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

CC: (Cycle Charging): Sistemde jeneratör ihtiyacı olması durumunda, jeneratörün tam kapasite çalışacağını gösteren strateji türünü ifade etmektedir. Jeneratörün, ihtiyaçtan fazla çalışması durumunda, üretilen enerji depolama ünitesinde depolanabilmektedir.

LF (Load Following): Sistemde jeneratör ihtiyacı olması durumunda, jeneratörün ihtiyaç kadar kullanılacağını gösteren stratejiyi belirtmektedir.

2.2.2. Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında, sadece elektrik yüklerini içeren senaryo dikkate alınarak, Yalova ili için simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Daha önce ifade edildiği gibi, ilgili sistem rüzgâr türbini, FV panel, akü ve konvertörü içermektedir. Bu çalışma gerçekleştirilirken, elektrikli taşıtın iki farklı şekilde şarj edildiği, iki farklı senaryo dikkate alınmıştır. Birinci senaryoda, elektrikli taşıtın kullanıldığı her gün şarj edildiği, ikinci senaryoda ise haftada bir gün şarj edildiği düşünülmüştür. İki senaryo için, simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Birinci senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, 2.23'te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, birinci senaryoda, HOMER tarafından önerilen NPC'si en düşük olan sistem için NPC değerinin 29.813 \$, COE değerinin ise 0,298 \$ olduğu görülmektedir. Bu sistem, kurulu gücü 2,53 kW olan FV panel, 2 adet 1 kW'lık rüzgâr türbini, 14 adet akü ve 4 kW kapasiteli bir konvertörü içermektedir. Sistemin sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. İşletme ve başlangıç maliyetleri ise, sırasıyla 785,63 \$ ve 10.768 \$ olarak bulunmuştur. Sistemde sadece YEK ile üretim gerçekleştirdiğinden, yenilenilir oran %100 ve tüketilen fosil yakıt miktarı ise 0 olarak hesaplanmıştır.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
2,53	2	14	4,00	CC	\$29.813	\$0,298	\$785,63	\$10.768	100	0
9,20		18	5,00	CC	\$31.799	\$0,321	\$761,54	\$13.337	100	0
	5	19	4,00	CC	\$41.551	\$0,416	\$1.058	\$15.900	100	0

Şekil 2.23. Yalova ili taşıtın günlük şarj edildiği senaryo için simülasyon sonuçları

Önerilen sistemlerden en uygun maliyete sahip olan ikinci sistem ise, rüzgâr türbini içermemektedir ve sistemin NPC ve COE değerleri sırasıyla 31.799 \$ ve 0,321 \$ olarak hesaplanmıştır. En uygun maliyetli üçüncü sistemde ise FV panel yer almamaktadır ve bu sistemde ise NPC ve COE değerleri sırasıyla 41.551 ve 0,416 \$ olarak bulunmuştur.

Önerilen birinci sistemin FV panel ve rüzgâr türbinlerini birlikte içermesi, bir avantaj olarak görülmektedir. Çünkü YEK'in en önemli dezavantajlarından biri, kesintili olmalarıdır ve bu nedenle, bir enerji sisteminde birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bulunması, bu kaynakların birbirlerinin eksikliğini tamamlaması açısından kritik bir öneme sahiptir.

İkinci senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 2.24'te sunulmaktadır. İkinci senaryoda, HOMER tarafından önerilen NPC'si en düşük olan sistemin NPC ve COE değerlerinin sırasıyla, 43.425 \$ ve 0,424 \$ olduğu görülmektedir. Bu sistem, kurulu gücü 6,83 olan FV panel, 47 adet akü ve 5 kW kapasiteli bir konvertör içermektedir. Sistemde rüzgâr türbini yer almamaktadır ve sistemin sevk stratejisi CC olarak belirlenmiştir. İşletme ve başlangıç maliyetleri sırasıyla 950,6 \$ ve 20.380 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sistemde de yenilenilir oran %100 ve tüketilen fosil yakıt miktarı ise 0 olarak bulunmuştur. En uygun maliyete sahip olan ikinci sistemin NPC ve COE değerlerinin ise, sırasıyla 47.190 \$ ve 0,455 \$ olduğu görülmektedir. Önerilen üçüncü sistemde ise, FV panel bulunmamaktadır ve bu sistemin NPC ve COE değerleri sırasıyla 52.133 \$ ve 0,511 \$ olarak hesaplanmıştır.

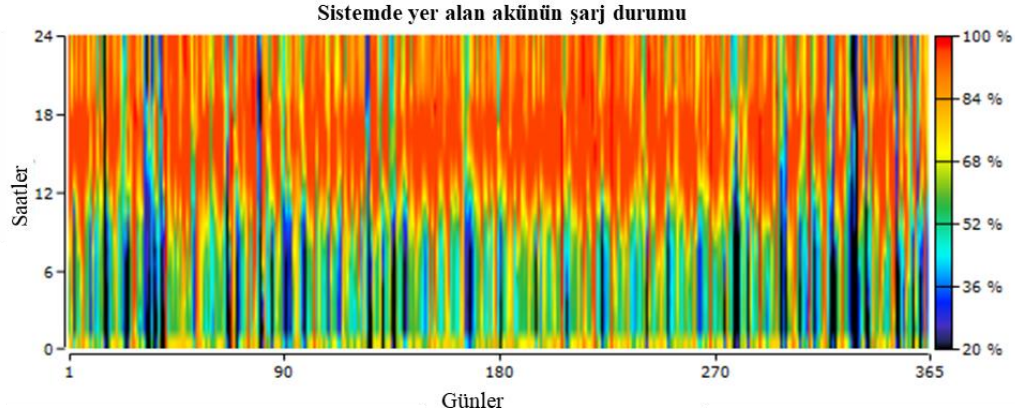
Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
6,83		47	5,00	CC	\$43.425	\$0,424	\$950,60	\$20.380	100	0
8,77	1	41	5,00	CC	\$47.194	\$0,455	\$1.050	\$21.742	100	0
	4	46	5,00	CC	\$52.133	\$0,511	\$1.222	\$22.500	100	0

Şekil 2.24. Yalova ili taşıtın haftada bir gün şarj edildiği senaryo için simülasyon sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde, taşıtın günlük şarj edildiği birinci senaryoda, önerilen en uygun maliyetli sistemin, diğer senaryo için önerilen en uygun maliyete sahip olan sisteme göre NPC değerinin 13.612 \$ (%32), COE değerinin ise 0,126 \$ (%30) daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu farkın nedeninin daha net anlaşılması için, sonuçların detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Birinci senaryoda, taşıtın şarj edildiği her gün, sistemden 1 saat 45 dakika boyunca 3.7 kW güç çekilmesi gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde açıklanan enerji formülüne göre, bu şarj süresince tüketilen enerji miktarı, 6,37 kWh olarak hesaplanmaktadır. İkinci senaryoda ise, taşıtın şarj edildiği gün, sistemden 11 saat boyunca 3.7 kW güç çekilmesi gerekmektedir. Bu durumda tüketilen enerji miktarı ise, 40,7 kWh olarak hesaplanmaktadır. Bu tüketim, sadece bir gün için de olsa, sistemden yüksek miktarda güç çekilmesine sebep olarak, sistemin kapasitesini artırmaktadır. Sonuç olarak, iki senaryo için de önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemler karşılaştırıldığında, ikinci senaryoda, bu yüksek yük talebinin karşılanması için aküde depolanması gereken enerji miktarının, diğer senaryoya göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ikinci senaryodaki sistemde, birinci senaryodaki sisteme göre, çok daha fazla akü yer almaktadır. Akü sayıları birinci senaryoda 14 adet, ikinci senaryoda ise 47 adet olarak belirlenmiştir ve akü miktarındaki bu fark, ikinci senaryodaki sistemin COE değerini, birinci senaryodaki sisteme göre yaklaşık 1,5 kat daha yüksek hale getirmektedir.

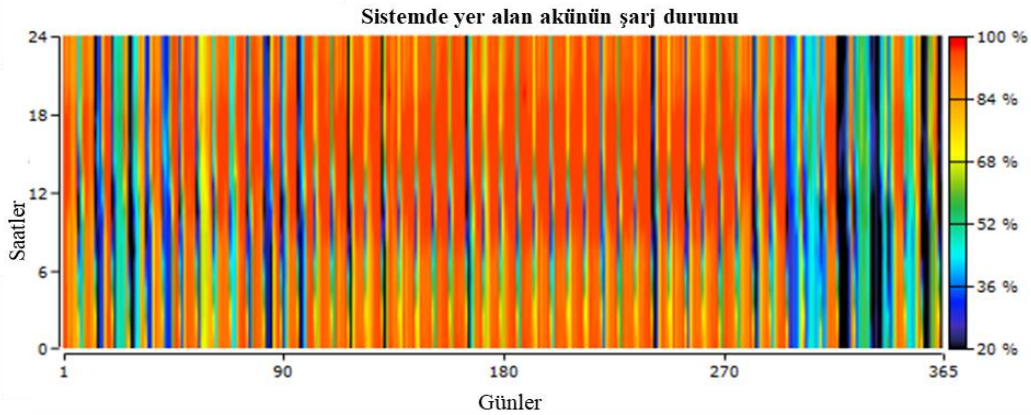
Birinci senaryoda önerilen NPC'si en düşük olan sistemde yer alan akünün şarj durumu, Şekil 2.25'te gösterilmektedir. Özellikle, 12:00-18:00 saatlerinde, akünün doluluk oranının genellikle %100'e yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, gündüz saatlerinde enerji tüketiminin daha az olması ve FV panellerden üretilen enerjinin depolanmasıdır. Doluluk oranının özellikle, elektrikli taşıtın şarj edildiği

gece saatlerinden itibaren ise düşmeye başladığı görülmektedir. Doluluk oranının, saat 12:00’ye doğru artarak tekrar %100’lere ulaştığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2.25. Yalova ili elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün şarj durumu

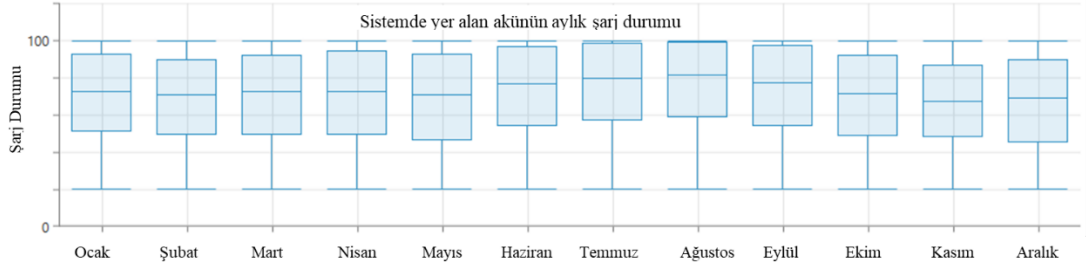
İkinci senaryoda önerilen NPC’si en düşük olan sistemde yer alan akünün şarj durumu ise, Şekil 2.26’da gösterilmektedir. Bu senaryoda, genellikle doluluk oranının %60’ın üzerinde olduğu görülmektedir. Fakat bazı günlerde, doluluk oranının daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, Pazar günleri 00:00-11:00 saatleri arasında, elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken enerji miktarının yüksek olması (yaklaşık 41 kWh) ve bu nedenle, akünün doluluk oranının tekrar %100 olmasının, birkaç gün sürmesi olarak açıklanabilir.



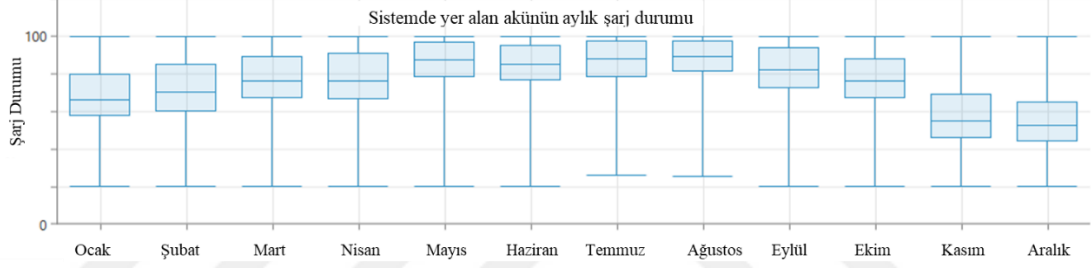
Şekil 2.26. Yalova ili elektrikli taşıtın haftada bir şarj edildiği senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün şarj durumu

Şekil 2.27, birinci senaryoda, Şekil 2.28, ikinci senaryoda önerilen NPC’si en düşük olan sistemlerde yer alan akülerin aylara göre şarj durumlarını gösteren grafikleri sunmaktadır. Grafikler incelendiğinde, yukarıda da belirtildiği gibi, haftada bir şarj

edilen senaryoda, doluluk oranının neredeyse her ay %60 ile %100, özellikle yaz aylarında ise %80 ile %100 arasında olduğu görülmektedir. Birinci senaryoda ise, doluluk oranının neredeyse %40'lara kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 2.27. Yalova ili elektrikli taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün aylara göre şarj durumu



Şekil 2.28. Yalova ili elektrikli taşıtın haftada bir şarj edildiği senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemde yer alan akünün göre şarj durumu

Ayrıca iki senaryo için de bataryaların otonomisi hesaplanmıştır. Otonomi değeri, depolama ünitesi boyutunun elektrik yüküne oranını ifade etmektedir ve Denklem (2.11) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, A_{batt} saat birimiyle depolama sisteminin otonomi değerini, N_{batt} kullanılan batarya sayısını, V_{nom} akünün nominal gerilimini V birimiyle, Q_{nom} akünün nominal kapasitesini Ah birimiyle, q_{min} bataryanın minimum şarj durumunu %'lik olarak ve $L_{prim,ave}$ ortalama primer yükü kwh/d birimiyle ifade etmektedir [86].

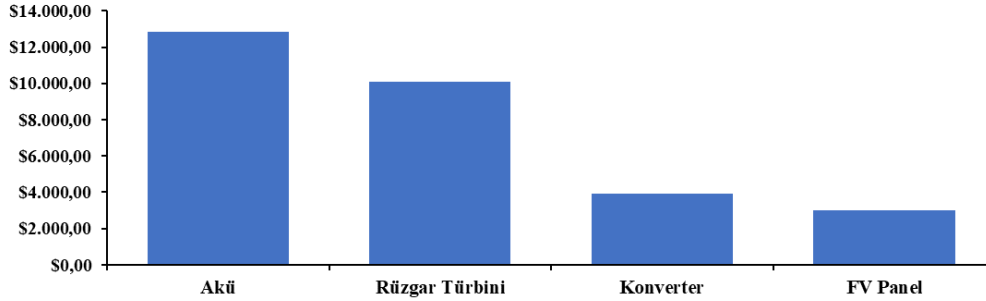
$$A_{batt} = \frac{N_{batt} V_{nom} Q_{nom} \left(1 - \frac{q_{min}}{100}\right) \left(\frac{24h}{d}\right)}{L_{prim,ave} \left(\frac{1000Wh}{kWh}\right)} \quad (2.11)$$

Denklem incelendiğinde, kullanılan akü sayısının otonomi süresini artırdığı görülmektedir. Bu denkleme göre, birinci senaryo için otonomi değeri 29,4 saat,

ikinci senaryo için ise 96,6 saat olarak hesaplanmaktadır. İkinci senaryo için hesaplanan otonomi değerinin daha yüksek olmasının nedeni, kullanılan akü sayısının daha fazla olması ve bu nedenle akünün kapasitesinin artmasıdır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, elektrikli taşıtın her gün şarj edilmesinin, teknik ve ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle, çalışmanın diğer adımlarında gerçekleştirilecek olan tüm simülasyonlar ve teknolojik analizler, elektrikli taşıtın her gün şarj edildiği senaryo düşünülerek gerçekleştirilmiştir.

Bu aşamada, elektrikli taşıtın her gün şarj edildiği senaryoda çıkan sonuçlar, daha detaylı bir şekilde analiz edilmektedir. NPC'si en düşük olan sistemde yer alan bileşenlerin maliyetleri, Şekil 2.29'da gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde, toplam maliyetteki payı en yüksek olan bileşenin yaklaşık 13.000 \$ ile akü olduğu görülmektedir. Bu değer, sistemin NPC değerinin neredeyse yarısına yakın bir değere denk gelmektedir. Bunun nedeni, akünün diğer bileşenlere göre, miktar olarak daha fazla olması olarak açıklanabilir.



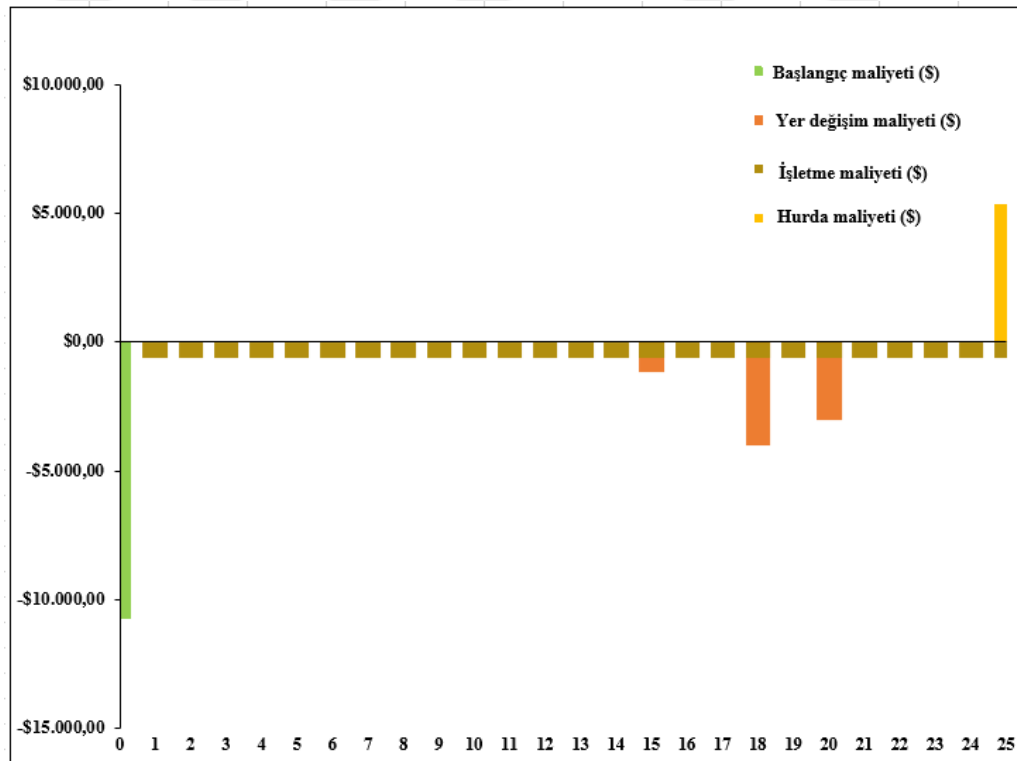
Şekil 2.29. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistem bileşenlerinin maliyetleri

Tablo 2.8, sistem bileşenlerinin maliyetlerinin detaylandırılmış halini sunmaktadır. Bu tablo başlangıç, yer değişim, işletme ve bakım, yakıt ve hurda maliyetlerini içermektedir. Sistemin %100 yenilenebilir olması sebebiyle yakıt maliyetinin sıfır olduğu açıkça görülmektedir. Hurda maliyeti, bileşenler kullanım ömrünü tamamladıktan sonra hurda halindeki bileşenin değerini ifade etmektedir. Bu değer, toplam maliyet tutarından düşülmektedir. Diğer maliyetler incelendiğinde, en yüksek maliyetin 15.474,32 \$ ile işletme ve bakım maliyeti olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 2.8. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistem bileşenlerinin detaylandırılmış maliyetleri

Bileşen	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yer Değişim Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
Akü	\$4.200,00	\$4.031,01	\$6.787,90	\$0	(\$2.185,80)	12.833,11
Rüzgâr Türbini	\$3.600,00	\$3.432,78	\$5.522,70	\$0	(\$2.487,62)	10.067,86
Konverter	\$1.200,00	\$1.157,95	\$1.939,40	\$0	(\$376,91)	3.920,44
FV panel	\$1.767,60	\$0	\$1.224,32	\$0	(\$0)	2.991,92
Sistem	\$10.767,60	\$8.621,74	\$15.474,32	\$0	(\$5.050,33)	29.813,33

Proje ömrü boyunca sistemdeki nakit akışı Şekil 2.30’da gösterilmektedir. Başlangıç maliyeti sadece proje başlangıcında, hurda maliyeti proje sonunda, işletme ve bakım maliyetleri ise her yıl hesaba katılmaktadır. Daha önce de ifade edildiği gibi, başlangıç, yer değişim, işletme ve bakım maliyetleri gider olarak ele alınmaktadır ve bu nedenle, şekildeki grafikte negatif değer olarak gösterilmektedir. Hurda değeri ise, grafikte pozitif değer olarak gösterilmektedir.



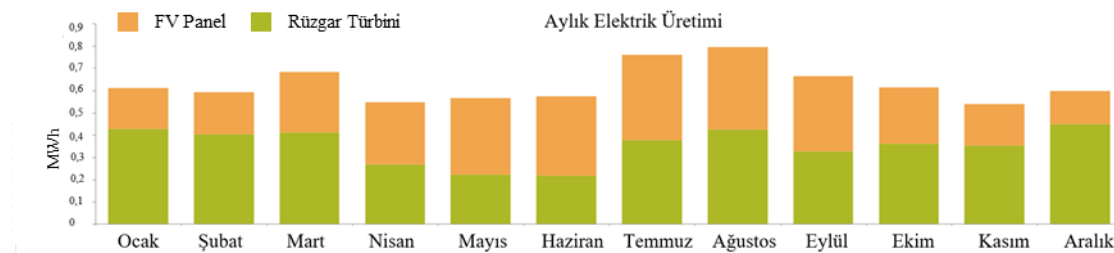
Şekil 2.30. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda sistemin proje ömrü boyunca nakit akışı

Şekil 2.31’de, FV panel ve rüzgâr türbini tarafından yıl boyunca üretilen elektrik enerjisi miktarları gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde, yıl boyunca FV panel ve rüzgâr türbini tarafından üretilen enerji miktarlarının sırasıyla 3.290 kWh ve 4.246 kWh olduğu görülmektedir. Üretimin %43,7’si FV panel, %56,3’ü ise rüzgâr türbini tarafından gerçekleştirilmiştir. Sistemde tüketilen AC yük miktarı, 4.124 kWh/yr olarak bulunmuştur. Üretilen fazlalık enerji ise, 2.903 kWh olarak hesaplanmıştır ve bu değer, üretilen toplam elektriğin %38,5’ine denk gelmektedir. Kapasite yetersizliğinin ise, daha önce sistemde tanımlanan %5 ve karşılanamayan elektrik yükünün ise 152 kWh/yr olduğu sonucuna varılmaktadır.

Üretim	kWh/yr	%	Tüketim	kWh/yr	%	Miktar	kWh/yr	%
FV Panel	3.290	43,7	AC Primer Yük	4.124	100	Aşırı Elektrik	2.903	38,5
Rüzgar Türbini	4.246	56,3	DC Primer Yük	0	0	Karşılanmamış Elektrik Yüğü	152	3,55
Total	7.536	100	Toplam	4.124	100	Kapasite Yetersiliğı	218	5,09

Şekil 2.31. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda yıllık elektrik üretim ve tüketim miktarları

Şekil 2.32’de ise aylara göre, FV panel ve rüzgar türbini ile gerçekleştirilen elektrik üretim miktarları sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde, özellikle kış aylarında, üretimin büyük bir bölümünün rüzgar türbini ile, yaz aylarında ise FV panel ile sağlandığı görülmektedir.



Şekil 2.32. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda aylara göre elektrik üretim miktarları

Tablo 2.9, önerilen en uygun maliyete sahip olan sistem tarafından yayılan emisyon miktarlarını içermektedir. Sistem tamamen yenilenebilir olduğundan, emisyon miktarları beklendiği gibi, 0 olarak bulunmuştur.

Tablo 2.9. Yalova ili sadece elektrik yükünü içeren ve taşıtın günlük şarj edildiği senaryoda salınan emisyon miktarları

Gaz Tipi	Miktar	Birim
Karbondioksit	0	kg/yr
Karbonmonoksit	0	kg/yr
Yanmamış hidrokarbon	0	kg/yr
Parçacıklı madde	0	kg/yr
Sülfür dioksit	0	kg/yr
Nitrojen dioksit	0	kg/yr

2.2.3. Termal yük talebinin dahil edildiği senaryolar için simülasyon sonuçları

Yalova için, sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak yapılan simülasyon ve analiz çalışmasının ardından, sisteme TLD de dahil edilerek tekrar simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, termal yük talebinin üç farklı şekilde karşılandığı, üç farklı senaryo için yapılmış ve sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

2.2.3.1. Termal yük talebinin sadece kazan sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları

Bölüm 2.1.4’te açıklanan termal yük verileri ile kazan cihazı, sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sisteme eklenmiştir. HOMER, kazanın sistemde daha önceden mevcut olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, simülasyon gerçekleştirilirken, kazanın maliyetleri hesaba katılmamaktadır ve kazan, önerilen sistemlerin başlangıç ve COE maliyetlerine etki etmemektedir.

Kazan sisteminde, enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanılmaktadır. Bu fosil yakıtların birim fiyatlarının değerleri, HOMER’da girilmektedir. Bu nedenle, kullanılan yakıtın miktarı, sistem maliyetlerini etkilemektedir.

TLD’nin sadece kazan ile karşılandığı senaryoda, enerji kaynağı olarak iki farklı fosil yakıtın kullanıldığı iki farklı senaryo ele alınmıştır. Birince senaryoda, yakıt olarak dizel, ikinci senaryoda ise doğal gaz kullanıldığı varsayılmıştır.

Dizel kullanılan senaryo için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, Şekil 2.33’te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen sistem bileşenlerinin, Yalova için

sadece elektrik yüklerini içeren senaryoda önerilen NPC'si en düşük olan sistem ile aynı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde COE ve başlangıç maliyetlerinin de değişmediği anlaşılmaktadır. COE değerinin değişmemesinin nedeni, TLD'nin sadece kazan sisteminden sağlanması ve bunun elektrik sisteminde üretilen elektriğin birim fiyatında herhangi bir değişikliğe neden olmamasıdır. Başlangıç maliyetinin değişmemesinin nedeni de HOMER'ın, kazanın sistemde önceden mevcut olduğunu kabul etmesidir. Bu nedenle, başlangıç maliyetinde değişiklik olmamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, değişikliğin NPC ve başlangıç maliyeti değeri ile yenilenebilir enerji oranının değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Yenilenebilir oran değerinin değişmesinin nedeni, kazan tarafından enerji kaynağı olarak fosil yakıtın kullanılması ve bu nedenle, sistemden emisyon salınmasına sebep olmasıdır.

NPC'si en düşük olan sistemde, yıllık toplam 1.272 litre dizel yakıt kullanıldığı ve sistemin yenilenebilir enerji oranının ise %27,9'a düştüğü görülmektedir. NPC değeri 75.454 \$ ve işletme maliyeti ise 2.668 \$ olarak bulunmuştur. Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için önerilen NPC'si en düşük olan sistemde ise, NPC değeri 29.813 \$ ve işletme maliyeti ise 785,63 \$ bulunmuştur. Kazanın kullandığı yakıt maliyeti nedeniyle, NPC değerinin %53 artarak 45.641 \$ yükseldiği görülmektedir ve NPC'deki artışın temel nedeni de bu yakıt maliyetidir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
2,53	2	14	4,00	CC	\$75.454	\$0,298	\$2.668	\$10.768	27,90	1.272,00
9,20		18	5,00	CC	\$77.440	\$0,321	\$2.644	\$13.337	27,80	1.272,00
	5	19	4,00	CC	\$87.192	\$0,416	\$2.941	\$15.900	27,90	1.272,00

Şekil 2.33. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için simülasyon sonuçları

İlgili sistemde, sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarında herhangi bir değişim olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, TLD'nin sadece kazan ile karşılanmasıdır ve bu nedenle, üretilen fazlalık elektrik enerjisi, TLD'yi karşılamak için kullanılmamıştır.

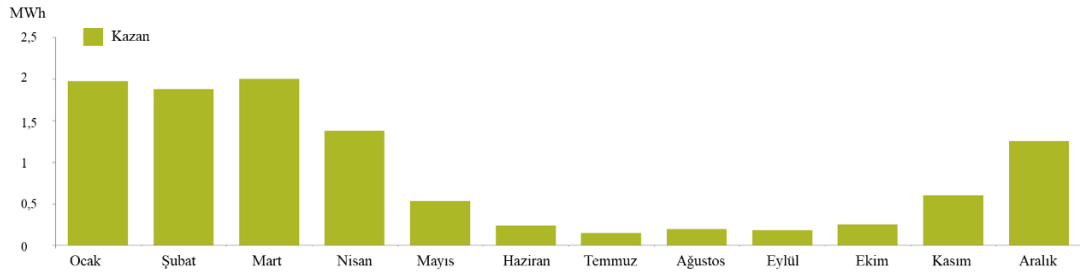
Tablo 2.10'da kazan sistemiyle ilgili çalışma koşulları sunulmaktadır. Tüm TLD, kazandan karşılandığı için, kazanın yıllık termal üretimi, sistemin yıllık TLD'si olan 10.640 kWh değeri ile aynı olacak şekilde hesaplanmıştır. Kazanın verimi %85

olarak belirlendiğinden, sistem girişindeki enerji miktarı, 12.517 kWh olarak bulunmuştur.

Tablo 2.10. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için kazan sistemi çalışma koşulları

Kazan için	Değer	Birim
Çalışma süresi (saat)	8.760	h/yr
Toplam üretim	10.640	kWh/yr
Fosil tüketimi	1.272	L/yr
Girişteki enerji miktarı	12.517	kWh/yr
Verimlilik	85	%

Şekil 2.34'te, kazandan gerçekleşen üretim miktarları, aylara göre gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, üretim miktarlarının, özellikle TLD'nin yoğun olduğu kış aylarında çok daha yüksek, diğer aylarda ise daha düşük olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.34. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo için aylara göre kazanın üretim miktarı

Tablo 2.11'de ise, dizel kullanılan senaryo için önerilen sistemlerden NPC'si en düşük olan sistemden salınan emisyon miktarları verilmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde, sistemden sera gazı olarak yıllık 3.366 kg karbondioksitin ve 8,34 kg sülfür dioksitin yayıldığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 2.11. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı, dizel kullanılan senaryoda salınan emisyon miktarları

Gaz Tipi	Miktar	Birim
Karbondioksit	3.366	kg/yr
Karbonmonoksit	0	kg/yr
Yanmamış hidrokarbon	0	kg/yr
Parçacıklı madde	0	kg/yr
Sülfür dioksit	8,34	kg/yr
Nitrojen dioksit	0	kg/yr
Toplam	3.374,34	kg/yr

Birinci senaryo için çalışma tamamlandıktan sonra, yakıt olarak doğal gaz kullanılan senaryo için simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar, Şekil 2.35'te gösterilmektedir. Dizel yerine doğal gaz tercih edilmesinin en önemli avantajlarından biri, doğal gazın birim fiyatının, dizelin birim fiyatına göre daha düşük olmasıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada, dizelin birim fiyatı 1,48 \$, doğal gazın birim fiyatı 0,35 \$ olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, doğal gaz kullanılan senaryoda önerilen sistemlerin NPC ve işletme maliyetleri daha düşük hesaplanmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen en uygun maliyete sahip olan sistem için NPC ve işletme maliyetlerinin sırasıyla 40.569 \$ ile 1.229 \$ olduğu görülmektedir. NPC ile işletme maliyetlerinin, dizel kullanılan senaryoda önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemin NPC ve işletme maliyetlerinin neredeyse yarısı kadar olduğu sonucuna varılmaktadır. Sistemin yenilenebilir oranı, bir önceki sistemde olduğu gibi %27,9 olarak bulunmuştur. Kullanılan yıllık toplam yakıt miktarı ise 1.268 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu sistemin NPC'sinin sadece elektrik yükü içeren senaryoda önerilen en uygun maliyete sahip olan sisteme göre 10.756 \$ (%36) daha yüksek olduğu görülmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma			Sistem		
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (m ³ /yıl)
2,53	2	14	4,00	CC	\$40.569	\$0,298	\$1.229	\$10.768	27,90	1.268,00
9,20		18	5,00	CC	\$42.554	\$0,321	\$1.205	\$13.337	27,80	1.268,00
	5	19	4,00	CC	\$52.306	\$0,416	\$1.502	\$15.900	27,90	1.268,00

Şekil 2.35. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryo için simülasyon sonuçları

Daha önce açıklandığı üzere, TLD sadece kazandan karşılandığı için, üretilen elektrik miktarlarında herhangi bir değişim olmamaktadır ve üretilen fazlalık elektrik enerjisi, TLD'yi karşılamak üzere kullanılmamaktadır.

Tablo 2.12'de, doğal gaz kullanılan senaryo için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemdeki emisyon miktarları yer almaktadır. Bu sistemden yayılan sera gazının 2.460 kg karbondioksit olduğu görülmektedir. Doğal gaz kullanılması durumunda sistemden yayılan emisyon miktarı, dizel kullanılması durumunda sistemden yayılan emisyon miktarına göre yaklaşık olarak %27 daha düşük bulunmuştur. Bu nedenle, yakıt olarak doğal gazı tercih etmenin daha çevre dostu bir çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 2.12. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryoda salınan emisyon miktarları

Gaz Tipi	Miktar	Birim
Karbondioksit	2.460	kg/yr
Karbonmonooksit	0	kg/yr
Yanmamış hidrokarbon	0	kg/yr
Parçacıklı madde	0	kg/yr
Sülfür dioksit	0	kg/yr
Nitrojen diokasit	0	kg/yr
Toplam	2.460	kg/yr

Sonuç olarak, iki senaryo için yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlardaki en önemli farkların, NPC ve işletme maliyetleri ile çevreye yayılan emisyon miktarlarında gözlemlendiği sonucuna varılmıştır.

2.2.3.2. Termal yük talebinin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları

Bu senaryoda TLD'nin karşılanması için, sisteme kazana ek olarak, bir TLC eklenmiştir. TLC, elektrik sistemiyle bağlantı kurarak, elektrik sisteminde üretilen fazlalık enerjinin, TLD'yi karşılamak amacıyla kullanılmasını sağlar. HOMER programı, simülasyonu gerçekleştirirken TLC'nin başlangıç, yer değişim ve işletme maliyetlerini de hesaba katmaktadır.

Bu çalışmada yakıt olarak doğal gaz tercih edilmiştir. Bunun nedeni, bir önceki çalışmada, doğal gaz kullanmanın dizel kullanmaya göre, ekonomik ve çevresel açıdan önemli avantajları olduğu sonucuna varılmasıdır.

Yapılan simülasyonun sonuçları Şekil 2.36'da gösterilmektedir. Çalışma sonucunda, HOMER tarafından önerilen en uygun maliyete sahip olan sistem, 3,49 kW kurulu güce sahip FV panel, 2 adet rüzgâr türbini, 12 adet akü, 13 kW'lık TLC, 4 kW'lık konverterü içermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, sistem bileşenlerinin, sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sistemden farklı olduğu görülmektedir. Çünkü bu senaryoda tasarlanan sistemde, elektrik sistemi ve termal sistem, birbirleriyle koordinasyonlu bir şekilde çalışmaktadır. Bu nedenle, önerilen sistemlerin bileşenlerinde farklılıklar gözlenmektedir. Ayrıca, bu çalışmada, HOMER tarafından, TLC'nin başlangıç, bakım ve onarım maliyetleri de hesaba katıldığı için, maliyetlerde değişiklik olmuştur.

Önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemin NPC değeri 46.653 \$, COE değeri 0,359 \$ olarak hesaplanmıştır. Başlangıç maliyeti ile işletme maliyetleri ise, sırasıyla, 13.444 \$, ve 1.370 \$ olarak bulunmuştur.

Bu senaryodaki sistemin, sadece kazan kullanan senaryodaki sisteme göre en önemli avantajlarından biri, sistemin yenilenebilir enerji oranının daha yüksek olmasıdır. TLC'nin sisteme eklenmesi ile bu değer %27,9'dan %40,90'a yükselmiştir. Ayrıca, kullanılan doğal gaz miktarının ise yaklaşık %20 azalarak 1.288 m³'ten 1.040 m³'e düştüğü sonucuna varılmaktadır.

Optimizasyon Sonuçları											
Tasarım						Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	TLC (kW)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (m3/yıl)
3,49	2	12	13,00	4,00	CC	\$46.653	\$0,359	\$1.370	\$13.444	40,90	1.040,00
9,70		17	13,00	5,00	CC	\$48.635	\$0,382	\$1.347	\$15.987	40,90	1.036,00
	5	19	15,00	4,00	CC	\$58.978	\$0,483	\$1.653	\$18.900	44,80	970,00

Şekil 2.36. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları

Şekil 2.37'de, önerilen en uygun maliyete sahip olan sistem için, elektrik üretim ve tüketim miktarları verilmektedir. Bu senaryo için önerilen maliyet açısından en avantajlı olan sistemde bulunan FV panelin kapasitesi daha yüksek olduğu için, FV panelden üretilen yıllık elektrik miktarı, diğer senaryodaki sistemlere göre %38 daha

fazla hesaplanmıştır ve bu değerin 4.548 kWh olduğu görülmektedir. Yıllık toplam üretim miktarının da %17 artarak, 8.794 kWh değerine ulaştığı sonucuna varılmaktadır. Ailenin elektrik yük talebinde bir değişiklik meydana gelmediğinden, tüketilen yıllık toplam elektrik enerjisi miktarı da değişmemiştir. Bununla birlikte, üretilen toplam elektrik miktarı arttığından, yıllık fazlalık elektrik miktarı 4.174 kWh'ye yükselmiştir.

Üretim	kWh/yr	%	Tüketim	kWh/yr	%	Miktar	kWh/yr	%
FV Panel	4.548	51,7	AC Primer Yük	4.123	100	Aşırı Elektrik	4.174	47,5
Rüzgar Türbini	4.246	48,3	DC Primer Yük	0	0	Karşılanmamış Elektrik Yükü	153	3,58
Toplam	8.794	100	Toplam	4.123	100	Kapasite Yetersiliği	218	5,09

Şekil 2.37. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda elektrik üretim ve tüketim miktarları

Şekil 2.38'de kazan ve TLC tarafından gerçekleştirilen üretim miktarları ile tüketilen termal yük ve fazlalık termal yük miktarları verilmektedir. Değerler incelendiğinde, ailenin yıllık termal yük ihtiyacı olan 10.640 kWh'nin karşılanabilmesi için, elektrik sistemi tarafından üretilen 4.174 kWh'lik fazlalık enerjinin kullanıldığı görülmektedir. Diğer yandan, kalan TLD'nin karşılanması için ise kazandan üretimin gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Kazan tarafından 8.726 kWh enerji üretildiği ve yıllık toplam üretimin ise 12.901 kWh olduğu anlaşılmaktadır. Üretilen termal enerjinin ise, 2.261 kWh'lik miktarının fazlalık olduğu hesaplanmıştır.

Bu fazlalık enerji, yeni gelişmekte olan kum bataryalar (sand battery) sayesinde depolanabilir ve ihtiyaç duyulduğunda (örneğin; kış aylarında) kullanılabilir. Gelişmekte olan yeni bir teknoloji olan bu bataryalarda kum, depolama ortamı olarak kullanılmaktadır. Bataryadaki kumun sıcaklığı, üretilen fazlalık ısı ile yükseltilmektedir ve bu termal enerji emilerek depolanmaktadır. Batarya içerisinde yer alan termoelektrik jeneratör ile de depolanan enerji, ihtiyaç halinde serbest bırakılmakta ve bu enerji elektrik üretimi veya belli bir alanın ısıtılması gibi amaçlarla kullanılabilir. Bu bataryalar, henüz ticari olarak yaygın bir şekilde kullanımda olmasalar da ilerleyen yıllarda, enerji sistemlerine depolama açısından büyük katkı sağlayacakları öngörülmektedir [87].

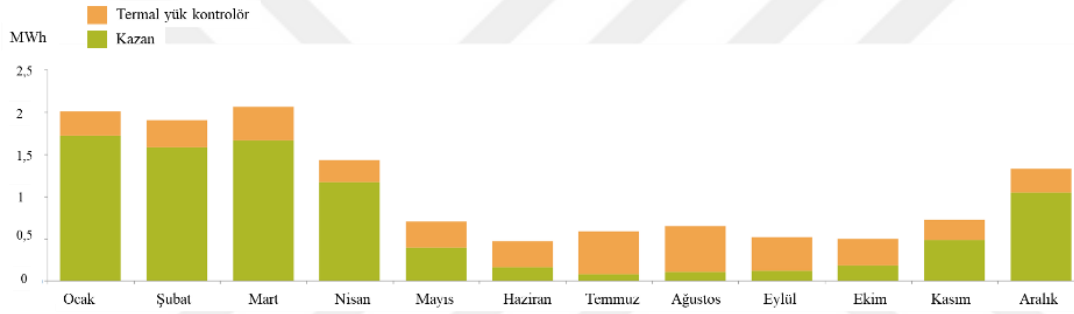
Üretim	kWh/yr	%
Kazan	8.726	67,6
Termal Yük Kontrolör	4.174	32,4
Toplam	12.901	100

Tüketim	kWh/yr	%
Termal Yük	10.640	100
Toplam	10.640	100

	kWh/yr	%
Fazlalık termal	2.261	21,3

Şekil 2.38. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda yıllık termal üretim ve tüketim miktarları

Şekil 2.39'da ise, kazan ve TLC tarafından gerçekleştirilen aylık üretim miktarları sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde, TLD'nin yoğun olduğu Ocak, Şubat, Mart vb. aylarda üretimin daha çok kazan sistemi ile, TLD'nin düşük olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos vb. aylarda ise TLC ile karşılandığı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2.39. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda aylara göre termal üretim miktarları

Bu senaryo için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemde, kazan tarafından 1.040 m³ doğal gaz kullanıldığı ve kazanın toplam 7.189 saat çalıştığı anlaşılmaktadır. Kazanın girişindeki 10.266 kWh/yr'lik enerjiden %85 verim ile 8.726 kWh/yr'lik üretim gerçekleştirildiği gözlemlenmektedir. TLC'nin ise, toplamda 2.724 saat çalıştığı belirlenmiştir.

Tablo 2.13'te, NPC'si en düşük olan sistem tarafından salınan emisyon miktarları yer almaktadır. Sistemden, yıllık toplam 2.018 kg CO₂ yayıldığı görülmektedir. Bu değer, TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryolardaki emisyon miktarları ile karşılaştırıldığında, doğal gaz kullanılan sisteme göre ise %18, dizel kullanılan sisteme göre %41 daha düşük olduğu hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, sisteme TLC eklemenin, salınan emisyonu azaltmada büyük bir önemi olduğu vurgulanmaktadır.

Tablo 2.13. TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryoda salınan emisyon miktarları

Gaz Tipi	Miktar	Birim
Karbondioksit	2.018	kg/yr
Karbonmonoksit	0	kg/yr
Yanmamış hidrokarbon	0	kg/yr
Parçacıklı madde	0	kg/yr
Sülfür dioksit	0	kg/yr
Nitrojen dioksit	0	kg/yr
Toplam	2.018	kg/yr

2.2.3.3. Termal yük talebinin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları

Bu senaryo için sistem tasarlanırken, FV panel, rüzgâr türbini ve akü kapasitesinin daha önceki gibi yine HOMER tarafından belirlenmesine izin verilmiştir. Bu senaryoda tanımlanan elektrik yükü miktarı çok fazla olduğundan, 6 kW'ya kadar sınırlanan konvertör kapasitesi, HOMER tarafından yetersiz görülmüştür. Bu nedenle konvertörün kapasitesi 1-10 kW olarak değiştirilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasının sonuçları Şekil 2.40'ta gösterilmektedir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde, elektrik yük talebinin yüksek olması nedeniyle, önerilen sistemlerdeki bileşenlerin kapasite ve miktarlarının çok fazla olduğu görülmektedir. NPC'si en düşük olan sistem, 27,5 kW kurulu güce sahip FV panel, 7 adet rüzgâr türbini, 80 adet akü ve 10 kW kapasiteli konverteri içermektedir.

Sistemin NPC maliyetinin, bileşenlerin kapasite ve miktarlarındaki artışa bağlı olarak, önceki senaryolarda önerilen sistemlere göre çok daha yüksek ve bu değer 135.832 \$ olduğu görülmektedir. COE, işletme ve başlangıç maliyetlerinin de arttığı anlaşılmaktadır ve bu değerler sırasıyla, 0,392 \$, 3.177 \$ ve 58.825 \$ olarak bulunmuştur. Sistem sadece YEK'i içerdiğinden, sistemin yenilenebilir enerji oranı %100 olarak hesaplanmıştır.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
27,5	7	80	10,00	CC	\$135.832	\$0,392	\$3.177	\$58.825	100	0
57,7		119	10,00	CC	\$166.020	\$0,481	\$3.587	\$79.059	100	0
	21	100	10,00	CC	\$168.529	\$0,485	\$4.031	\$70.800	100	0

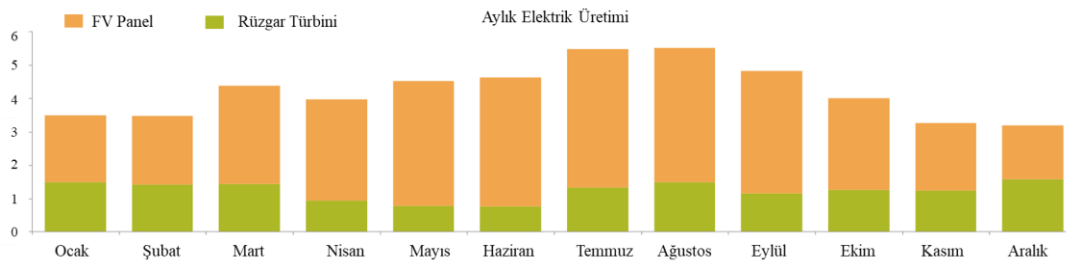
Şekil 2.40. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için simülasyon sonuçları

Şekil 2.41'de, NPC'si en düşük olan sistem tarafından gerçekleştirilen elektrik üretim ve tüketim miktarları verilmiştir. FV panel tarafından, yıllık toplam 35.780 kWh/yr, rüzgâr türbininden ise 14.862 kWh/yr enerji üretildiği görülmektedir. Üretimlerin %70,7'nin FV panel, %29,3'ünün ise rüzgâr türbini tarafından gerçekleştiği hesaplanmaktadır. Sistem tarafından üretilen 34.531 kWh/yr'lik enerjinin, fazlalık enerji olduğu ve bu değer yıllık elektrik yükü talebinden çok daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Üretim	kWh/yr	%	Tüketim	kWh/yr	%	Miktar	kWh/yr	%
FV Panel	35.780	70,7	AC Primer Yük	14.309	100	Aşırı Elektrik	34.531	68,2
Rüzgar Türbini	14.862	29,3	DC Primer Yük	0	0	Karşılanmamış Elektrik Yükü	608	4,08
Toplam	50.642	100	Toplam	14.309	100	Kapasite Yetersizliği	753	5,04

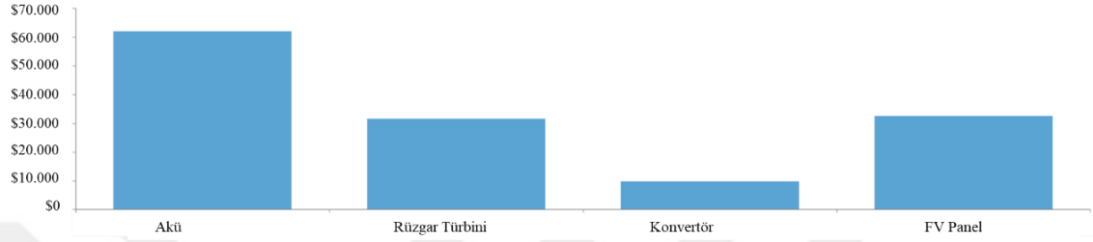
Şekil 2.41. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için termal üretim ve tüketim miktarları

Şekil 2.42'de, FV panel ve rüzgâr türbini tarafından aylık üretilen enerji miktarları sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde, üretimin daha çok güneş enerjisinden faydalanılarak gerçekleştirildiği sonucuna varılmaktadır. Özellikle yaz aylarında, FV panelden üretimin rüzgâr türbinine göre çok daha fazla olduğu, açıkça görülmektedir.



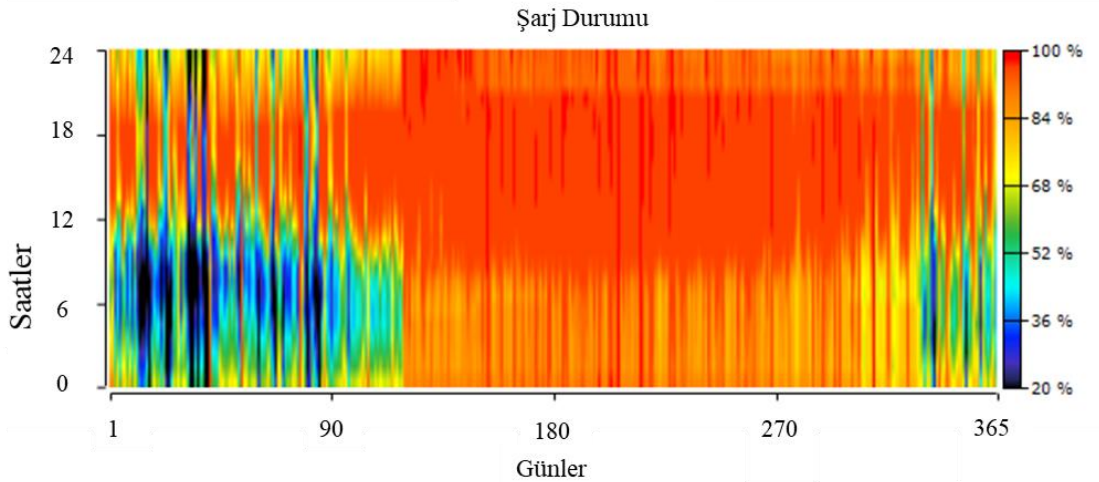
Şekil 2.42. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo için aylara göre termal üretim miktarları

Şekil 2.43'te, NPC'si en düşük olan sistemdeki bileşenlerin fiyatlarının yer aldığı grafik sunulmaktadır. Bu sistemde, NPC fiyatına en çok akünün katkı sağladığı görülmektedir. Akünün toplam maliyeti, 61.890 \$ olarak bulunmuştur ve bu değer, neredeyse, sistemin toplam NPC'sinin yarısı olarak hesaplanmaktadır. Diğer bileşenlerden FV panelin toplam maliyeti 32.541 \$, rüzgâr türbininin toplam maliyeti 31.598 \$ ve konvertörün toplam maliyeti ise 9.801 \$ olarak bulunmuştur.



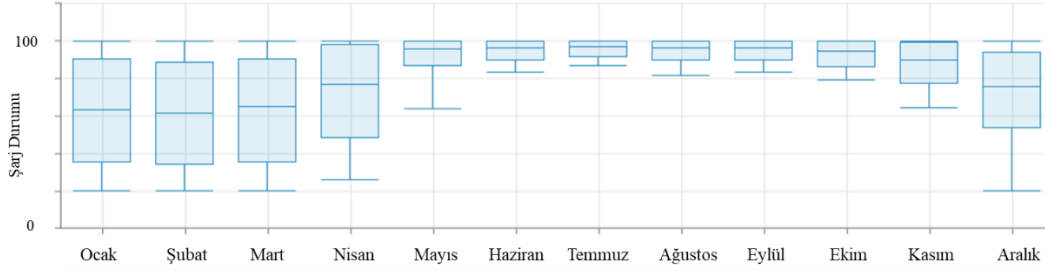
Şekil 2.43. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistem bileşenlerinin toplam maliyetleri

NPC'si en düşük olan sistemde yer alan akülerin şarj durum grafiği Şekil 2.44'te verilmektedir. Grafik incelendiğinde, hemen hemen yılın her gününde, özellikle güneş ışınımının yüksek olduğu 12:00-18:00 saatleri arasında, akünün doluluk oranının %100'e yakın değerlerde olduğu görülmektedir. TLD'nin yoğun olduğu kış aylarında ise, doluluk oranının 00:00-12:00 saatleri arasında, daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu saatlerde yük talebinin yüksek olmasından dolayı, aküde depolanan enerjinin kullanılmasıdır. Bataryanın otonomi süresi ise 48,1 saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.44. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistemde yer alan akünün günlere göre şarj durumu

Şekil 2.45'te, NPC'si en düşük olan sistemde yer alan akülerin şarj durum grafiği, aylık olarak sunulmaktadır. Batarya doluluk oranının özellikle TLD'nin yüksek olduğu Ocak, Şubat, Mart vb. aylarda %40'lara kadar düştüğü, TLD'nin daha düşük olduğu diğer aylarda ise, genel olarak %80-100 arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.45. TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryoda sistemde yer alan akünün aylara göre şarj durumu

Görüldüğü gibi, TLD'nin sadece elektrik sistemi tarafından karşılandığı senaryodaki sistem, sıfır emisyonu sahip olması açısından büyük bir avantaja sahiptir. Diğer yandan, sistemin önemli dezavantajları bulunmaktadır. En önemli dezavantajlardan biri, sistemin aşırı yüksek maliyetleridir. Bu nedenle, bir ailenin TLD'sini sıfır emisyonla karşılamaya çalışmak, ekonomik açıdan mantıklı bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu senaryodaki sistemin diğer bir dezavantajı da sistem bileşenlerinin miktar ve kapasitelerinin fazla olmasıdır. Türkiye'de meskenel şebeke bağlantılı sistemler, 10 kW ile sınırlı olmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde ise, böyle bir sınır bulunmamakla beraber 10 kW'dan fazla kapasiteye sahip sistemlerde, sistem bileşenleri için büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı bu çalışma için çıkan sonuçlardaki sistem bileşenlerinin miktar ve kapasitelerinin yüksek olması sebebiyle büyük alanlara ihtiyaç olacağından, 4 kişilik bir ailenin termal yük ihtiyacını, tamamen sıfır emisyonu sahip bir HES ile karşılamanın teknik açıdan da uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır.

2.2.4. Yalova ili için HOMER ile yapılan tüm simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Yalova ili için gerçekleştirilen tüm simülasyon çalışmalarının sonuçları, Tablo 2.14'te yer almaktadır. Bu tablo, tüm senaryolar için HOMER tarafından önerilen NPC'si en düşük olan sistemlerle ilgili detayları içermektedir. Tablo incelendiğinde, sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sistem ile TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemlerde yer alan bileşenlerin aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryoda, kazan sistemi ile elektrik sisteminin birbirinden bağımsız olarak çalışmasıdır. Bu nedenle, bu senaryoda, elektrik sisteminde herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Ayrıca bu iki senaryoda da yakıt tüketimine bağlı olarak sistemlerin yenilenebilir oranının %27,9'a düştüğü sonucuna varılmaktadır.

Sisteme TLC eklendiğinde ise, sistem bileşenlerinin tamamen değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni, TLC'nin elektrik sistemi ile koordineli bir şekilde çalışması ve bu nedenle, elektrik sisteminde değişiklik meydana getirmesi olarak açıklanmaktadır. Sistemin yenilenebilir oranı incelendiğinde ise, bu oranın TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemlere göre artarak %40,9'e yükseldiği görülmektedir. Bunun nedeni, TLC sayesinde, elektrik sisteminde üretilen aşırı elektrik enerjisinin TLD'yi karşılamak üzere kullanılmasıdır. Böylece, kazan tarafından kullanılan yakıt miktarı ve buna bağlı olarak, salınan emisyon miktarı azalmaktadır.

TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki sistem incelendiğinde ise, sistem bileşenlerinin miktar ve kapasitelerinin çok fazla olduğu görülmektedir. Sistemde 27,5 kW FV panel, 7 adet rüzgâr türbini, 80 adet akü ve 10 kW kapasitesine sahip konvertör yer almaktadır. Böyle bir sistemin kaplayacağı alan büyük olacağı için, teknik açıdan uygun bir çözüm olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 2.14. Yalova ili tüm senaryolar için önerilen en uygun maliyetli sistemler

Senaryolar	Yakıt	FV Panel (kW)	Rüzgâr Türbini (Adet)	Akü (Adet)	TLC (kW)	Konvertör (kW)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt
Sadece elektrik yükünü içeren senaryo	Yok	2,53	2	14	0	4,00	100	0
TLD'nin kazan ile karşılandığı birinci senaryo	Dizel	2,53	2	14	0	4,00	27,9	1.272 litre
TLD'nin kazan ile karşılandığı, ikinci senaryo	Doğal gaz	2,53	2	14	0	4,00	27,9	1.268 m ³
TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo	Doğal gaz	3,49	2	12	13	4,00	40,9	1.040 m ³
TLD'nin elektrik sistemi ile karşılandığı senaryo	Yok	27,5	7	80	0	10,00	100	0

Tablo 2.15'te, Yalova ili için incelenen tüm senaryolarda önerilen en düşük NPC'ye sahip olan sistemlerin maliyetleri yer almaktadır. Tablo incelendiğinde, TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemler ile sadece elektrik yükünün dikkate alındığı senaryodaki sistemin başlangıç maliyeti ile COE değerinin aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, HOMER'ın kazanın sistemde önceden var olduğunu düşünerek, kazanın başlangıç, yer değişim maliyetlerini hesaba katmamasıdır. Bu nedenle, sisteme sadece kazanın eklendiği senaryoda, sistemin başlangıç değerinin değişmediği ve 10.768 \$ olduğu görülmektedir. TLC eklenenen senaryodaki sistemin maliyetleri incelendiğinde, sistemin maliyetlerinde değişiklik olduğu sonucuna varılmaktadır. Başlangıç maliyetinin %25 artarak 13.444 \$'e, işletme maliyetinin ise yaklaşık %12 artarak 1.370 \$'e yükselmiştir. Bu artışın nedeni, HOMER'ın TLC'nin başlangıç, yer değişim ve işletme maliyetlerini de hesaba katmasıdır. TLD'nin sadece elektrik sistemi ile karşılandığı senaryoda ise, başlangıç ve işletme maliyetlerinin diğer senaryolardaki sistemlere göre çok daha

fazla olduğu görülmektedir. Sistemin başlangıç maliyeti 58.825 \$, işletme maliyeti ise 3.177 \$ olarak bulunmuştur.

Sistemlerin NPC ve COE değerleri karşılaştırıldığında ise, sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sistemin NPC ve COE değerlerinin sırasıyla 29.813 \$ ve 0,298 \$ olduğu görülmektedir. TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan sistemin NPC ve COE değerleri ise sırasıyla 40.569 \$ ve 0,298 \$, dizel kullanılan sistemin NPC ve COE değerleri ise sırasıyla 75.454 \$ ve 0,298 \$ sonucuna varılmaktadır. Dizel kullanılan sistemin NPC değeri, doğalgaz kullanılan sistemin NPC değerine göre %186 daha yüksektir. Bu farkın temel nedeni, dizelin birim fiyatının doğal gazın birim fiyatına göre daha yüksek olmasıdır. TLC kullanılan senaryodaki sistemde ise TLC'nin maliyetlere olan artırıcı etkisi nedeniyle, COE değerinin %20 artarak 0,359 \$'a yükseldiği görülmektedir. Bu sistemin NPC değerinin ise TLD'nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemlerden doğal gaz kullanılan sistemin NPC değerine göre %15 yüksek, dizel kullanılan sistemin NPC değerine göre ise %61 düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin NPC değeri, 46.653 \$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek NPC ve COE değeri ise, TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki sistem için bulunmuştur ve bu değerler sırasıyla, 135.832 \$ ve 0,392 \$'dır. Tüm senaryolardaki maliyetler incelendiğinde, TLD'nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki sistemin ekonomik açıdan da uygun bir çözüm olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 2.15. Yalova ili tüm senaryolar için maliyetler

Senaryolar	NPC (\$)	COE (\$)	Başlangıç Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$)
Sadece elektrik yükü bulunan senaryo	29.813	0,298	10.768	785,63
TLD'nin kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryo	40.569	0,298	10.768	1.229
TLD'nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo	46.653	0,359	13.444	1.370
TLD'nin kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo	75.454	0,298	10.768	2.668
TLD'nin sadece elektrik sistemi ile karşılandığı senaryo	135.832	0,392	58.825	3.177

Tablo 2.16’da Yalova ili için, tüm senaryolar baz alınarak yapılan simülasyonlar sonucunda önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemler tarafından gerçekleştirilen yıllık elektrik üretim, tüketim miktarları yer almaktadır. Tablodan, elektrik yüklerini içeren senaryodaki sistem ile TLD’nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemler için üretim ve tüketim miktarlarının da aynı olduğu görülmektedir. Bu sistemler için, yıllık toplam elektrik üretimi 7.536 kWh olarak bulunmuştur. Üretimin %43,7’sinin FV panel ile, %56,3’ünün ise rüzgâr türbini ile gerçekleştiği görülmektedir. Fazlalık enerji ise, 2.903 kWh olarak hesaplanmıştır. TLC eklenen senaryodaki sistemde ise, toplam üretimin 8.794 kWh olduğu ve üretimin %51,7’sinin FV panel ile, %48,3’ünün ise rüzgâr türbini ile karşılandığı görülmektedir. Sistemdeki fazlalık enerji ise, 4.174 kWh olarak hesaplanmıştır. TLC sisteminin elektrik sistemi ile koordinasyonlu bir şekilde çalışması ile, elektrik sistemindeki üretim miktarlarının değiştiği gözlenmektedir. İlk dört sistemde de yıllık AC yük tüketimi 4.124 kWh olarak bulunmuştur. TLD’nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki sistemde ise, üretim ve tüketim miktarlarının diğer sistemlere göre oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu sistemde, elektrik sistemi tarafından gerçekleştirilen üretim miktarının çok fazla artarak yıllık 50.642 kWh’ye ulaştığı anlaşılmaktadır. Üretimin %70,7’i FV panel ile, %29,3’ü ise rüzgâr türbini ile sağlanmıştır. Bu sistemde yıllık AC yük tüketiminin 14.309 kWh olduğu görülmektedir. Fazlalık elektrik ise 34.531 kWh/yr olarak

Tablo 2.16. Yalova ili tüm senaryolar için elektrik üretim, tüketim miktarları

	FV Panel Üretim (kWh/yr)	Rüzgâr Türbini Üretim (kWh/yr)	Toplam Üretim (kWh/yr)	FV Panel Üretim (%)	Rüzgâr Türbini Üretim (%)	AC Yük Tüketim (kWh/yr)	Fazlalık Elektrik (kWh/yr)
Sadece elektrik yükü bulunan senaryo	3.290	4.246	7.536	43,7	56,3	4.124	2.903
TLD’nin kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo	3.290	4.246	7.536	43,7	56,3	4.124	2.903
TLD’nin kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryo	3.290	4.246	7.536	43,7	56,3	4.124	2.903
TLD’nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo	4.548	4.246	8.794	51,7	48,3	4.124	4.174
TLD’nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryo	35.780	14.862	50.642	70,7	29,3	14.309	34.531

Tablo 2.17’de, Yalova ili için, TLD’nin sadece kazan ile karşılandığı senaryodaki sistemler ile hem kazan hem TLC ile karşılandığı senaryodaki sistem için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemlerdeki yıllık toplam termal üretim ve tüketim miktarları yer almaktadır. Sadece kazan kullanılan senaryolardaki sistemlerde, yük talebinin tamamen kazan ile karşılandığı görülmektedir ve bu sistemlerde fazlalık termal yük bulunmamaktadır. Bu sistemlerde kazan, 8.760 saat boyunca çalışmaktadır. TLC eklenen senaryodaki sistemde ise, elektrik sisteminden elde edilen 4.174 kWh enerjinin, TLD’yi karşılamak üzere kullanıldığı anlaşılmaktadır. Geri kalan yük talebi ise, kazan tarafından karşılanmaktadır. Kazan tarafından gerçekleştirilen üretimin 8.726 kWh olduğu görülmektedir. Bu sistemde, üretimin %67.6’sı kazan, %32.4’ü ise TLC ile sağlanmıştır. Kazanın çalışma süresi 7.189, TLC’nin çalışma süresi ise 2.724 olarak hesaplanmıştır. Fazlalık termal yükün ise, 2.261 kWh olduğu görülmektedir.

Tablo 2.17. Yalova ili TLD’yi içeren senaryolar için termal yük üretim, tüketim miktarları

	Kazan Üretim (kWh/yr)	Kazan Çalışma Süresi (saat)	TLC Üretim (kWh/yr)	TLC Çalışma Süresi (saat)	Tüketilen Termal Yük (kWh/yr)	Fazlalık Termal Yük (kWh/yr)
TLD’nin kazan ile karşılandığı dizel kullanılan senaryo	10.640	8.760	0	0	10.640	0
TLD’nin kazan ile karşılandığı doğal gaz kullanılan senaryo	10.640	8.760	0	0	10.640	0
TLD’nin kazan ve TLC ile karşılandığı senaryo	8.726	7.189	4.174	2.724	10.640	2.261

Tablo 2.18’de, Yalova ili için tüm senaryolar baz alınarak yapılan simülasyonlar sonucunda önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemlerden salınan emisyon miktarları yer almaktadır. Sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sistem ile TLD’nin sadece elektrik sisteminden karşılandığı senaryodaki sistemde fosil yakıt kullanılmadığı için, emisyon miktarı sıfır olarak bulunmuştur. Tablo incelendiğinde,

emisy on sal ın ın ın ın, TLD'nin sadece kazan ile kar ılınd ığı diz el kullan ılan sistemde en fazla oldu ę u sonucuna var ılmaktadır. Bu sistem i Çin y ıllık toplam emisyon sal ın ın miktar ı, 3.374,34 kg olarak bulunmuştur. TLD'nin sadece kazan ile kar ılınd ığı do ę al gaz kullan ılan sistemde ise emisyon oran ının yakla ık %27 azalar ak 2.460 kg'ye d ę ş t ę ü ę ü g  r  l m e k t e d i r . A y n ı s i s t e m e T L C e k l e n d i ę i n d e i s e , emisyon miktar ı daha da d ę ş e r e k 2.018 kg olmuştur. Bu sistemin emisyon sal ın ın miktar ının, diz el kullan ılan sistemdekine g  re yakla ık %41 daha az oldu ę u hesaplanmaktadır.

Tablo 2.18. Yalova ili t  m senaryolar i Çin sal ınan emisyon miktarları

	Karbondioksit (kg/yr)	S  l f  r dioksit (kg/yr)	Toplam
Sadece elektrik y  k  bulunan senaryo	0	0	0
TLD'nin kazan ile kar ılınd ığı diz el kullan ılan senaryo)	3.366	8,34	3.374,34
TLD'nin kazan ile kar ılınd ığı do ę al gaz kullan ılan senaryo	2.460	0	2460
TLD'nin kazan ve TLC ile kar ılınd ığı senaryo	2.018	0	2018
TLD'nin sadece elektrik sisteminden kar ılınd ığı senaryo	0	0	0

2.2.5. Yalova ili i Çin PVGIS ile solar sistem analizi

Çalışmanın bu aşamasında, Sketcup, Skelion ve PVGIS programları birlikte kullanılmıştır. Bu aşamada ama  , Yalova i Çin, sadece elektrik y  klerini i eren senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemde, FV panel tarafından gerçekleştirilen üretimin do ę rulanmasını sa ę lamaktadır.

SketchUp, üç boyutlu modelleme yapmayı sa ę layan bir programdır. Skelion ise, SketchUP program ının bir eklentisidir. Skelion program ının k  t  phanesi i çerisinde yer alan özellikler sayesinde, SketchUP'ta modellenmiş bir binanın çatısına istenilen boyut, kapasite vb. zelliklerde paneller se  ilerek yerleştirilebilmektedir. İstenilen özellikte panel veri tabanında mevcut de ę ilse, veri tabanına yeni paneller manuel olarak eklenebilmekte ve bu paneller, tasarımda kullan ılabilmektedir. SketchUp ile b  t  nleşmiş bir şekilde çalışabilen PVGIS ise, Skelion ile yerleştirilen FV sistemi i Çin sim  lasyonların ve analizlerin yapılmasını sa ę layan ve sonu  lar ı rapor halinde kullanıcıya sunan bir programdır.

SketchUP'ta modelleme yapmak için ilk olarak, lokasyon bilgilerinin sisteme tanımlanması gerekmektedir. Daha önce HOMER'da Yalova ili için simülasyon yaparken seçilen lokasyon verileri, SketchUp programında da seçilerek, müstakil evin yerleştirileceği alan belirlenmiştir. Daha sonra, Sketch Up programı ile evin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım gerçekleştirildikten sonra ise, Skelion arayüzü kullanılarak, çatılara yerleştirilecek olan FV sistemin özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir.

Sadece elektrik yüklerini içeren senaryoda, Yalova için yapılan simülasyon sonucunda önerilen maliyet avantajlı sistemde, 2,53 kW kurulu güce sahip bir FV panel yer almaktadır. Bu değere yakın bir kurulu güç edebilmek için, Skelion veri tabanına 425 W güce, 2,1 m uzunluğa ve 1,05 m genişliğe sahip olan bir panel tanımlanmış ve 6 adet panel, çatıya dikey olarak yerleştirilmiştir. Tasarlanan sistem Şekil 2.46'da gösterilmektedir. Rüzgâr türbinleri, sadece sistemde bulunduğunun gösterilmesi amacıyla yerleştirilmiştir.



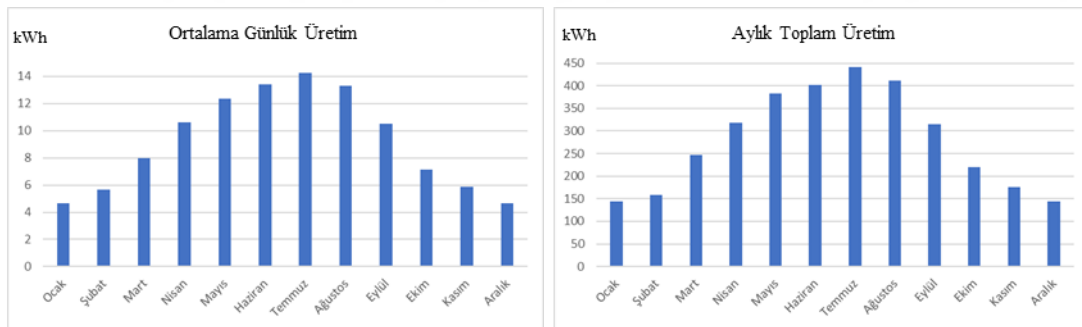
Şekil 2.46. Yalova ilindeki müstakil evin Sketch Up ile tasarımı

Tasarım tamamlandıktan sonra, PVGIS programı ile simülasyon gerçekleştirilmiştir. PVGIS ile gerçekleştirilen analiz sonuçları, rapor olarak alınıp incelenmiştir. Tablo 2.19'da, rapor çıktısından elde edilen üretim miktarı gösterilmektedir. Sistemin kurulu gücü 2.550 W ve bu sistem tarafından üretilebilecek enerji miktarı ise 3.361,15 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer, HOMER tarafından önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemde yer alan FV panelinin ürettiği 3,290 kWh değerine oldukça yakın olduğu, açıkça görülmektedir.

Tablo 2.19. Yalova ili sadece elektrik yükü içeren senaryo için güneş enerji potansiyeli

Panel Adedi	Panel Gücü (W)	Kurulu Güç (W)	Üretilen Elektrik (kWh)
6	425	2.550	3.361,15

Şekil 2.47’de ise, FV paneller tarafından gerçekleştirilen elektrik üretim miktarının aylara göre dağılımı yer almaktadır. Değerler incelendiğinde, ortalama günlük üretimin 14,23 kWh ile güneş ışınım miktarının en yüksek olduğu Temmuz ayında olduğu görülmektedir. Temmuz ayındaki toplam elektrik üretimi ise, 441,18 kWh olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde, güneş ışınım miktarının yüksek olduğu Haziran ve Ağustos aylarında da üretimin diğer aylara göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Işınım miktarının en düşük olduğu Aralık ayında bu değer, 4,67 kWh’ye kadar düşmektedir. Aralık ayındaki toplam elektrik üretim miktarı ise, 144,6 kWh olarak hesaplanmaktadır. PVGIS ile yapılan analize göre, FV panel sisteminden günlük ortalama 9,21 kWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Ortalama aylık üretim ise 280,09 kWh olarak bulunmuştur.



Şekil 2.47. PVGIS ile analize göre aylara göre a) günlük ortalama ve b) aylık toplam elektrik üretim miktarı

SketchUp, Skelion ve PVGIS kullanılarak gerçekleştirilen modelleme ve analiz sayesinde müstakil evin modellemesi gerçekleştirilmiş ve HOMER programı ile elde edilen veriler, ikinci bir analiz ile kontrol edilerek doğrulanmıştır.

2.2.6. Yalova ili için rüzgâr türbini ile gerçekleştirilen üretimin doğrulanması

Yalova ili için sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak gerçekleştirilen simülasyon sonucunda, NPC’si en düşük olan sistemde, 2 adet 1 kW’lık rüzgâr

türbini yer almaktadır ve bu türbinlerden üretilen yıllık enerji miktarı, HOMER tarafından 4.246 kWh olarak bulunmaktadır. Gücü bilinen bir rüzgâr türbininden yıllık üretimin ne kadar olacağı Denklem (2.12)'deki genel formül ile hesaplanmaktadır. Denklemden E, üretilen enerji miktarını, P panelin gücünü, h ise saat birimiyle süreyi ifade etmektedir. KF sembolü ile ifade edilen kapasite faktörü ise, rüzgâr türbininden gerçekleştirilen üretimin kurulu güce oranını temsil etmektedir. Marmara Bölgesi için ortalama kapasite faktörü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından, %25.7 olarak açıklanmıştır [88]. Bu değer, denklemden 0,257 olarak kullanılmaktadır. Rüzgar türbini kurulu gücü 2 kW, süre 8.760 saat, kapasite faktörü değeri 0,257 olarak formülde kullanıldığında, yıllık toplam enerji üretim miktarı 4.502 kWh olarak hesaplanmaktadır. Bu değer, HOMER tarafından önerilen NPC'si en düşük olan sistemde, rüzgâr türbininden elde edilen üretim değerine yakın bir değer olduğu görülmektedir. Bu hesaplama ile, HOMER'daki verilerin doğruluğu,

matematiksel olarak hesaplanıp kontrol edilmiştir.

$$E = P \cdot KF \cdot h \quad (2.12)$$

2.3. Diğer coğrafi bölgelerdeki iller için simülasyon sonuçları

Marmara Bölgesi'nde yer alan Yalova ili için tüm çalışmalar tamamlandıktan sonra, Türkiye'nin diğer coğrafi bölgelerinden seçilen iller için de, simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak yapılmış ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

2.3.1. Antalya ili için simülasyon sonuçları

Akdeniz Bölgesi'nden seçilen Antalya ili için 36.75 enlem ve 30.75 boylamında yer alan sensörlerdeki veriler kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları Şekil 2.48'de gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
6,66		17	5,00	CC	\$28.394	\$0,286	\$706,64	\$11.264	100	0
6,00	1	15	4,00	CC	\$31.028	\$0,306	\$797,27	\$11.700	100	0
	10	25	4,00	CC	\$66.359	\$0,665	\$1.636	\$26.700	100	0

Şekil 2.48. Antalya ili sadece elektrik yükü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Antalya ili için önerilen en uygun maliyetli sistemin NPC değerinin 28.394 \$, COE değerinin ise 0,286 \$ olduğu görülmektedir. Sistem 6,6 kW kurulu güce sahip FV panel, 17 adet akü ve 5 kW kapasiteli bir konvertörü içermektedir. Sistemin sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. İşletme ve başlangıç maliyetleri ise sırasıyla 706,64 \$ ve 11.264 \$ olarak hesaplanmıştır. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak bulunmuştur. Önerilen ikinci sistemde ise, 6 kW kurulu güce sahip FV panel ve 1 adet rüzgâr türbini yer almaktadır. Sistemin NPC ve COE değerlerinin ise sırasıyla 31.028 \$ ve 0,306 \$ olduğu görülmektedir.

2.3.2. Erzincan ili için simülasyon sonuçları

Doğu Anadolu Bölgesi'nden seçilen Erzincan ili için 39.75 enlem ve 39.25 boylamında yer alan sensörlerdeki veriler kullanılmıştır. Erzincan ili için simülasyon sonuçları Şekil 2.49'da gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
6,81		17	5,00	CC	\$28.798	\$0,290	\$719,02	\$11.368	100	0
6,00	1	15	5,00	CC	\$32.082	\$0,323	\$828,36	\$12.000	100	0
	9	32	5,00	CC	\$66.841	\$0,674	\$1.631	\$27.300	100	0

Şekil 2.49. Erzincan ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Erzincan ili için önerilen en uygun maliyetli sistemin NPC değerinin 28.798 \$, COE değerinin ise 0,290 \$ olduğu görülmektedir. Sistem, 6,81 kW kurulu güce sahip FV panel, 17 adet akü ve 5 kW kapasiteli konvertörü içermektedir. İşletme ve başlangıç maliyetleri sırasıyla 719,02 \$ ve 11.368 \$ olarak bulunmuştur. Sistemin sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve sistem tarafından tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak hesaplanmıştır.

Önerilen ikinci sistem, daha pahalı olsa da YEK kesintili olduğu için, rüzgâr türbini ile FV paneli birlikte içermesi sistemin avantajı olarak görülmektedir ve NPC' ile COE değerleri sırasıyla 32.082 \$ ve 0,323 \$ olarak bulunmuştur.

2.3.3. İzmir ili için simülasyon sonuçları

Ege Bölgesi'nden seçilen İzmir ilinde ortalama rüzgâr hızı değeri (7,09 m/s) ve güneş ışınlamı değeri (5,08 kWh/m²/day) diğer illere göre yüksektir ve bu il için

38.25 enlem ve 26.25 boylamında yer alan sensördeki veriler kullanılmıştır. İzmir ili için simülasyon sonuçları Şekil 2.50’de gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
1,81	1	10	4,00	CC	\$22,378	\$0.224	\$623.39	\$7,265	100	0
	2	13	4,00	CC	\$25,535	\$0.255	\$694.42	\$8,700	100	0
5,93		16	5,00	CC	\$26,931	\$0.272	\$679.73	\$10,453	100	0

Şekil 2.50. İzmir ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

İzmir ili için önerilen en uygun sistemin NPC’si diğer illere göre oldukça düşük bulunmuştur ve bu değerin 22.378 \$ olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, sistemin COE değeri de Yalova ili için yapılan çalışmada önerilen en uygun maliyetli sisteme göre çok daha düşüktür ve 0,224 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sistem, 1,81 kW kurulu güce sahip FV panel, 1 adet rüzgâr türbini, 10 adet akü ve 4 kW kapasiteli konvertörü içermektedir. İşletme ve başlangıç maliyetleri ise sırasıyla 623,39 \$ ve 7.265 \$ olarak bulunmuştur. Sevk stratejisi CC olarak belirlenmiştir. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve sistem tarafından tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak hesaplanmıştır.

Önerilen ikinci sistem FV panel içermemektedir. Bu sistemin NPC ve COE değerleri sırasıyla 25.535 \$ ve 0,255 \$ olarak hesaplanmıştır.

2.3.4. Diyarbakır ili için simülasyon sonuçları

Güney Doğu Anadolu Bölgesi’nden seçilen Diyarbakır ili için 37.75 enlem ve 40.25 boylamında yer alan sensörlerden alınan veriler kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, Şekil 2.51’de gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
5,79		17	5,00	CC	\$27.628	\$0,279	\$700,33	\$10.650	100	0
6,00	1	13	4,00	CC	\$30.967	\$0,305	\$794,74	\$11.700	100	0
	7	19	5,00	CC	\$51.242	\$0,515	\$1.297	\$19.800	100	0

Şekil 2.51. Diyarbakır ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Diyarbakır ili için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemin NPC ve COE değerlerinin sırasıyla 27.628 \$ ve 0,279 \$ olduğu görülmektedir. Bu sistemde 5,79 kW kurulu güce sahip FV panel, 17 adet akü ve 5 kW kapasiteli konvertör yer almaktadır. İşletme ve başlangıç maliyetleri sırasıyla 700,33 \$ ve 10.650 \$ olarak hesaplanmıştır. Sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve sistem tarafından tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak hesaplanmıştır.

Önerilen ikinci sistemde ise 6 kW kurulucu güce sahip FV panel, 1 adet rüzgâr türbini, 13 adet akü ve 4 kW kapasiteli konvertör yer almaktadır. Bu sistemin NPC ve COE değerleri sırasıyla 30.967 \$ ve 0,305 \$ olarak bulunmuştur.

2.3.5. Ankara ili için simülasyon sonuçları

İç Anadolu Bölgesi'nden seçilen Ankara ili için 39.75 enlem ve 32.75 boylamında yer alan sensörlerden alınan veriler kullanılmıştır. Ankara ili için simülasyon sonuçları Şekil 2.52'de gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
6,27		18	5,00	CC	\$28.522	\$0,288	\$710,93	\$11.287	100	0
4,79	1	15	4,00	CC	\$29.293	\$0,293	\$760,75	\$10.850	100	0
	5	24	5,00	CC	\$45.394	\$0,458	\$1.142	\$17.700	100	0

Şekil 2.52. Ankara ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Ankara ili için önerilen en uygun maliyete sahip sistemin NPC ve COE değerlerinin sırasıyla 28.522 \$ ve 0,288 \$ olduğu görülmektedir. Sistem 6,27 kW kurulu güce sahip FV panel, 18 adet akü ve 5 kW kapasiteli konvertörü içermektedir. İşletme ve başlangıç maliyetleri sırasıyla 710,93 \$ ve 11.287 \$ olarak hesaplanmıştır. Sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak bulunmuştur.

Önerilen ikinci sistemde ise, FV panel ve rüzgar türbini birlikte yer almaktadır. Bu sistemin NPC ve COE değerlerinin sırasıyla 29.293 \$ ve 0,293 \$ görülmektedir.

2.3.6. Sinop ili için simülasyon sonuçları

Karadeniz Bölgesi'nden seçilen Sinop ili için 42.25 enlem ve 35.25 boylamında yer alan sensörlerden alınan kaynak verileri kullanılmıştır ve simülasyon sonuçları Şekil 2.53'te gösterilmektedir.

Optimizasyon Sonuçları										
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	
FV Panel (kW)	Rüzgar Türbini (Adet)	Akü (Adet)	Konv. (kW)	Dispatch Stratejisi	NPC (\$)	COE (\$)	İşl. Mal. (\$/yıl)	Baş. Mal. (\$)	Yen. Frak. (%)	Toplam Yakıt (L/yıl)
2,23	2	12	5,00	CC	\$29.326	\$0,295	\$786,55	\$10.258	100	0
8,56		22	5,00	CC	\$33.195	\$0,335	\$788,10	\$14.090	100	0
	4	22	4,00	CC	\$38.858	\$0,389	\$984,15	\$15.000	100	0

Şekil 2.53. Sinop ili sadece elektrik yükünü içeren senaryo için simülasyon sonuçları

Sinop ili için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemin NPC değerinin 29.326 \$, COE değerinin ise 0,295 \$ olduğu görülmektedir. İlgili sistem 2,23 kW kurulu güce sahip FV panel, 2 adet rüzgâr türbini, 12 adet akü ve 5 kW kapasiteli konvertörü içermektedir. İşletme ve başlangıç maliyetleri sırasıyla 786,55 \$ ve 10.258 \$ olarak hesaplanmaktadır. Sevk stratejisi ise CC olarak belirlenmiştir. Sistemin yenilenilir oranı %100 ve sistem tarafından tüketilen yakıt miktarı ise 0 olarak bulunmuştur. Önerilen ikinci sistemde ise 8,56 kW kurulu güce sahip FV panel, 22 adet akü ve 5 kW kapasiteli bir konverter yer almaktadır. Bu sistemin NPC ve COE değerleri sırasıyla 33.195 \$ ve 0,335 \$ olarak hesaplanmıştır.

2.4. Tüm İller İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, tüm iller için HOMER tarafından önerilen en uygun maliyetli sistemlerin NPC'leri düşük olandan yüksek olana doğru sıralanmış bir halde Tablo 2.20'de gösterilmektedir. Değerler incelendiğinde, en yüksek NPC değerinin 29.813,43 \$ ile Yalova iline ait olduğu görülmektedir. En düşük NPC değeri ise İzmir ili hesaplanmış olup, bu değer 22.378 \$'dır.

Tablo 2.20. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için illere göre NPC değerleri

İller	NPC
	Değerleri (\$)
İzmir	\$22.378
Diyarbakır	\$27.628
Antalya	\$28.394
Ankara	\$28.522
Erzincan	\$28.798
Sinop	\$29.326
Yalova	\$29.813

Tablo 2.21’de ise, tüm iller için sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak yapılan simülasyonlar sonucunda önerilen en uygun maliyetli sistemlerin COE değerleri, düşük olandan yüksek olana doğru sıralanmaktadır. Değerler incelendiğinde, en yüksek COE değerinin 0,298 \$ ile Yalova, en düşük COE değerinin ise 0,224 \$ ile İzmir ili için önerilen sisteme ait olduğu görülmektedir.

Tablo 2.21. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için COE değerleri

İller	COE
	Değerleri (\$)
İzmir	0,224 \$
Diyarbakır	0,279 \$
Antalya	0,286 \$
Ankara	0,288 \$
Erzincan	0,290 \$
Sinop	0,295 \$
Yalova	0,298 \$

Farklı iller için hesaplanan farklı NPC ve COE değerleri, lokasyon değişikliğinin sonuçları doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır. Bu farklılığın temel nedeni, farklı lokasyonlardaki rüzgâr hızı, güneş ışıınımı ve sıcaklık değerlerinin farklı olmasıdır. Çalışma tüm illerde, tamamen aynı bileşenleri içeren sistemler düşünülerek

gerçekleştirilmiş olsa da HOMER tarafından her il için, farklı miktar ve kapasitelere sahip bileşenleri içeren sistemler önerilmiştir.

Tablo 2.22’de ise, tüm iller için sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda önerilen, NPC’si en düşük olan sistemlerde yer alan bileşenlerin maliyetleriyle ilgili bilgiler yer almaktadır. Antalya, Ankara, Erzincan ve Diyarbakır illeri için önerilen sistemlerde rüzgâr türbini yer almamaktadır. İzmir ili için önerilen sistemde yer alan rüzgâr türbininin maliyetinin 5.761,78 \$, Yalova ve Sinop için önerilen sistemlerde yer alan rüzgar türbinlerinin maliyetinin ise 10.067.86 \$ olduğu anlaşılmaktadır. Konverter fiyatlarının ise, bazı iller için 4.900,55 \$, bazı iller için ise 3.920,44 \$ olarak hesaplandığı sonucuna varılmaktadır. Tüm illerin maliyetleri değerlendirildiğinde, NPC maliyetinin artmasına en çok katkı sağlayan bileşenin akü olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 2.22. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için sistem bileşenlerinin maliyetleri

	Akdeniz	Doğu Anadolu	Ege	Güneydoğu Anadolu	İç Anadolu	Marmara	Karadeniz
	Antalya	Erzincan	İzmir	Diyarbakır	Ankara	Yalova	Sinop
Akü (\$)	15.599,85	15.827,93	10.553,82	15.872,02	16.195,61	12.833,11	11.720,09
Rüzgâr Türbini (\$)	0,00	0,00	5.761,78	0,00	0,00	10.067,86	10.067,86
Konverter (\$)	4.900,55	4.900,55	3.920,44	4.900,55	4.900,55	3.920,44	4.900,55
FV Panel (\$)	7.893,84	8.069,94	2.141,68	6.855,05	7.425,35	2.991,92	2.637,77
Toplam	28.394,24	28.798,41	22.377,73	27.627,61	28.521,50	29.813,33	29.326,26

Tablo 2.23’te ise tüm iller için sadece elektrik yükünü içeren senaryoda önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemlerdeki yıllık elektrik üretim ve tüketim miktarları yer almaktadır. Tablo incelendiğinde, Antalya, Ankara, Erzincan ve Diyarbakır illerinde üretimin, sadece FV panel ile sağlandığı görülmektedir. Bu iller için önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemlerde, rüzgâr türbini yer almamaktadır. FV panelden üretimin, yıllık 10.197 kWh/yr üretim ile en yüksek Erzincan ili için önerilen sistemde olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca, yıllık toplam elektrik üretiminin en çok olduğu sistemin de yine aynı sistem olduğu görülmektedir. FV panelden üretimin en düşük olduğu sistemin ise 3.001 kWh/yr üretim ile Sinop ili için önerilen sistemde olduğu anlaşılmaktadır. Rüzgâr türbini ile en çok üretimin ise,

Sinop ve Yalova illerinde gerçekleştirildiği ve üretimlerin sırasıyla 4.747 ve 4.246 kWh/yr olduğu görülmektedir. İzmir ilinde de rüzgâr hızı değerlerinin yüksek olması nedeniyle, rüzgar türbininden üretimin FV panelden üretime göre daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır. Yıllık toplam enerji üretiminin en az olduğu sistem, 7.149 kWh/yr üretim ile İzmir ili için önerilen sistemdir. Bunun nedeni İzmir ilinde güneş ışınımı ve rüzgar hızı değerlerinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan enerji, anlık olarak karşılanabilmekte ve depolanması gereken enerji daha az olmaktadır. Böylece, üretilmesi gereken enerji miktarı, diğer illere göre daha düşük olmaktadır.

Tablo 2.23. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryo için elektrik üretim miktar ve oranları

	Akdeniz	Doğu Anadolu	Ege	Güneydoğu Anadolu	İç Anadolu	Marmara	Karadeniz
	Antalya	Erzincan	İzmir	Diyarbakır	Ankara	Yalova	Sinop
Rüzgâr (%)	0	0	58	0	0	56,3	61,3
Rüzgâr (kWh/yr)	0	0	4.147	0	0	4.246	4.747
Güneş (%)	100	100	42	100	100	43,7	38,7
Güneş (kWh/yr)	9.802	10.197	3.002	9.060	9.187	3.290	3.001
Toplam	9.802	10.197	7.149	9.060	9.187	7.536	7.748

Tablo 2.24'te tüm iller için, sadece elektrik yükünü içeren senaryoda önerilen en uygun maliyetli sistemlerdeki bileşenlere ait bazı bilgiler yer almaktadır. Önerilen sistemler için akü sayısının, 10 ile 18 arasında değiştiği görülmektedir. Kullanılan ortalama akü sayısı ise, 15 olarak hesaplanmaktadır. Inverter ve rectifier kapasite ortalamaları ise, 4,63 kW bulunmaktadır. Tüm illerdeki toplam konverter kaybı, 1.711,20 kW olarak hesaplanmaktadır. Bu değer büyük çoğunluğunu 1.438 kW ile inverter kayıplarının, daha az bir kısmını ise 273,2 kW ile rectifier kayıplarının oluşturduğu sonucuna varılmaktadır. Akünün en çok kullanıldığı illerin, sadece güneş enerjisinden faydalanılan Antalya, Ankara, Erzincan ve Diyarbakır olduğu belirlenmektedir. Akü ömrü değerlerinin 13 ile 18 yıl arasında, throughput

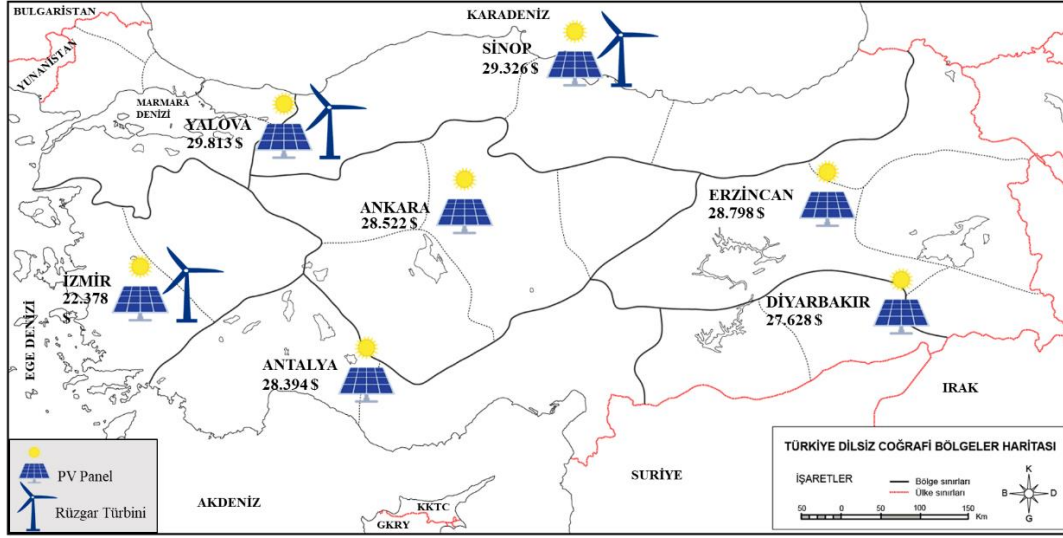
değerlerinin ise 35.000 ile 63.000 kWh arasında değiştiği görülmektedir. FV panellerin çalışma süreleri 4.380 ile 4.391 saat arasında, rüzgâr türbinlerinin çalışma süreleri ise, 7.682 ile 8.088 saat arasında değişmektedir.

Tablo 2.24. Tüm iller sadece elektrik yüklerini içeren senaryoda sistem bileşenlerinin özellikleri

Sistem Bileşenleri	Akdeniz	Doğu Anadolu	Ege	Güneydoğu Anadolu	İç Anadolu	Marmara	Karadeniz
	Antalya	Erzincan	İzmir	Diyarbakır	Ankara	Yalova	Sinop
Akü Sayısı	17	17	10	17	18	14	12
Akü Throughput (kWh)	59.500	59.500	35.000	59.500	63.000	49.000	42.000
Akü Ömrü (Yıl)	17,20	16,70	13,00	16,60	18,00	17,30	15,10
Inverter Kapasitesi (kW)	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Inverter Kayıp (kWh/yr)	215	215	142	215	215	149	143
Rectifier Kapasitesi (kW)	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Rectifier Kayıp (kWh/yr)	0,00	0,00	68,00	0,00	0,00	65,30	69,30
FV Panel Kapasite (kW)	6,66	6,81	1,81	5,79	6,27	2,53	2,23
FV Panel Çalışma Saati (hrs/yr)	4.386	4.386	4.387	4.385	4.374	4.391	4.380
Rüzgâr Adet	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	2,00
Rüzgâr Türbini Çalışma Saati (hrs/yr)	0,00	0,00	8.088	0,00	0,00	7.682	7.760

Sadece elektrik yükünü içeren senaryodaki sistemlerde fosil yakıt kullanımı olmadığı için, bu sistemler tarafından emisyon salınımı olmamaktadır.

Önerilen en uygun maliyete sahip olan sistemler baz alınarak, seçilen tüm iller için oluşturulan yenilenebilir enerji haritası Şekil 2.54'te gösterilmektedir. Harita, incelendiğinde, daha önce de belirtildiği gibi Antalya, Ankara, Erzincan ve Diyarbakır illeri için önerilen sistemlerde rüzgâr türbininin yer almadığı, İzmir, Yalova ve Sinop illeri için önerilen sistemlerde ise FV panel ile rüzgâr türbininin birlikte yer aldığı görülmektedir.



Şekil 2.54. Tüm iller için sadece elektrik yüklerini içeren senaryo baz alınarak oluşturulan yenilenebilir enerji haritası

Lokasyon değiştirilerek gerçekleştirilen çalışma sonucunda, farklı rüzgar hızı ve güneş ışınlamı verilerine sahip farklı lokasyonlarda sistemlerin farklı olduğu sonucuna varılmıştır. Maliyet açısından en avantajlı konum, İzmir olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni, İzmir ilinde ortalama rüzgar hızı ve güneş ışınlamı değerlerinin yüksek olması nedeniyle, ihtiyaç duyulan enerjinin aküde daha az depolanmaya gerek duyulacak şekilde karşılanabilmesi ve dolayısıyla daha az enerji üretiminin gerçekleşmesidir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Yalova ilinde ikamet eden 4 kişilik bir ailenin hem elektrik hem termal yük talebinin sıfır emisyonlu, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sistemiyle karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan uygunluğu araştırılmıştır. Farklı senaryolar ile gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde önemli sonuçlar elde edilmiştir.

İlk olarak sadece elektrik yüklerinin dahil edildiği bir senaryo ele alınmıştır ve bu senaryoda elektrik yükü olarak, ev içindeki enerji tüketimi ve ailenin kullandığı farz edilen bir elektrikli taşıtın şarj edilmesi için gereken enerji miktarı ele alınmıştır. Taşıtın günlük ve haftada bir şarj edildiği farklı senaryolar için yapılan simülasyonlar sonucunda, taşıtın haftada bir şarj edildiği senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistemin NPC'sinin ve COE'sinin günlük şarj durumuna göre sırasıyla % 45 ve % 42 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sistemde önerilen akü miktarının da 33 adet fazla olduğu belirlenmiştir. Taşıtın günlük şarj edilmesinin maliyet ve teknik açıdan daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Daha sonra sisteme ailenin termal yük talebi dahil edilerek, bu talebin farklı şekillerde karşılandığı farklı senaryolar incelenmiştir. Termal yük talebinin sadece kazan sistemiyle karşılandığı bir senaryo ele alınmış ve bu senaryoda kazanın yakıt kaynağı olarak doğal gaz ve dizel kullanıldığı iki farklı durum incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, doğal gaz kullanılması durumunda NPC değerinin %47, emisyon salınımının ise %27 daha az olduğu tespit edilmiştir. Hem doğal gaz hem dizel kullanılan senaryolarda önerilen en uygun maliyetli sistemlerde üretimin %27,9'sinin yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde gerçekleştiği görülmüştür.

Doğal gaz kullanılan sisteme termal yük kontrolör cihazı eklenerek tekrar yapılan simülasyon çalışması sonucunda ise, termal yük kontrolörün elektrik sistemi tarafından üretilen fazlalık enerjiyi, termal yük talebini karşılamak için kullandığı ve bu sayede salınan emisyon miktarını azalttığı sonucuna varılmıştır. Termal yük kontrolör kullanılan sistemin emisyon miktarı, sadece kazan kullanılan sistemlerden yakıt olarak doğal gaz kullanılabileceğine göre %18, dizel kullanılabileceğine göre %41 daha az bulunmuştur. Bu sistemde, yenilenebilir enerjiden üretimin %40,9'a yükseldiği görülmüştür.

Termal yük talebinin 5 kW'lık bir rezistif ısıtıcıyla, tamamen elektrik sisteminden sıfır emisyonlu bir şekilde karşılandığı senaryo baz alınarak yapılan çalışma sonucunda önerilen en uygun maliyetli sistemin NPC'si, sadece elektrik yüklerini içeren senaryoda önerilen en uygun maliyetli sisteme göre %450 daha fazla bulunmuştur. Bu sistemin NPC'si HOMER tarafından 135.832 \$ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu sistemin, ekonomik açıdan mantıklı bir çözüm olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. HOMER tarafından bu senaryo için önerilen en uygun maliyetli sistem, 27,5 kW kapasiteli FV panel, 7 adet rüzgar türbini, 80 adet akü ve 10 kW kapasiteli bir konvertör içermektedir. Önerilen sistem bileşenlerinin kapasite ve miktarları çok fazla bulunmuştur. Bir mesken için tasarlanan şebekeden bağımsız sistemlerde kapasite sınırlaması olmamakla birlikte, 10 kW'ın üstündeki sistem bileşenlerinin, büyük depolama alanlarına ihtiyaç duymasından dolayı, bu sistem, teknik açıdan da mantıklı bir çözüm olarak bulunmamıştır. Bu nedenle, bir ailenin hem elektrik hem termal yük taleplerinin sıfır emisyonlu, şebekeden bağımsız bir sistem ile karşılanmasının hem teknik hem de ekonomik açıdan akılcı bir çözüm olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sadece elektrik yüklerini içeren ve elektrikli taşıtın günlük olarak şarj edildiği senaryoda, lokasyonlar değiştirilerek simülasyon çalışmaları tekrarlandığında, en düşük NPC'ye sahip olan sistemin İzmir ili önerildiği görülmüştür. Bu sistemin NPC'si 22,378 \$, referans alınan ailenin ikamet ettiği Yalova ili için önerilen en uygun maliyetli sistemin NPC'si ise 29.813 olarak bulunmuştur. Lokasyon olarak Yalova yerine İzmir seçilmesi durumunda, NPC değeri yaklaşık %25 daha az olmaktadır. Bu çalışma, lokasyonun enerji sistemlerine olan etkisini vurgulamaktadır ve lokasyon değiştirildiğinde önerilen sistemlerin tamamen farklı olduğu ve buna bağlı olarak da maliyetlerin tamamen değiştiği görülmektedir.

3.2. Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, 4 kişilik bir ailenin elektrik ve termal yük talebinin tamamen sıfır emisyonu sahip bir enerji sistemiyle karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan uygunluğunu araştırmaktır. Termal yük, ısınma ve sıcak su ihtiyaçlarının genellikle termal yük ile karşılanmasından dolayı çalışmaya dahil edilmiştir. Bu çalışmada, TLD'nin de yenilenebilir enerji ile karşılabilmesi önemli bir konu olarak ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, ailenin tüm yük taleplerinin,

rezistif bir ısıtıcı içeren, sıfır emisyonlu, şebekeden bağımsız sahip bir sistemle karşılanmasının, önerilen sistemlerin büyük kapasiteleri ve yüksek maliyetleri nedeniyle çok akılcı bir çözüm olmadığı anlaşılmıştır. Rezistif bir ısıtıcı ısıtıcı yerine, toprak, hava gibi kaynaklardan aldığı ısıyı kullanarak istenilen bölgelerin ısıtılmasını sağlayan ve verimleri rezistif ısıtıcılara göre daha yüksek olan ısı pompaları kullanılarak, bu sistem daha uygun maliyetli ve verimli bir hale getirilebilir.

Diğer yandan, sadece elektrik yük talebinin, sıfır emisyonu sahip bir enerji sistemiyle karşılanmasının, teknik açıdan mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat bu tür sistemlerin dezavantajlarından birinin yüksek kurulum maliyetleri olduğu görülmüştür.

Ayrıca, tüm iller için sadece elektrik yükünü içeren senaryo baz alınarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, hiç bir il için önerilen en uygun maliyetli sistemin COE'sinin şebekeden daha düşük olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durumun temel nedenlerinden biri, sistemin sadece 4 kişilik bir aile için tasarlanmasıdır. Bu tarz yenilenebilir hibrit enerji sistemleri, sadece bir aile yerine, daha büyük bir nüfusun yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlandığında, COE değerleri çok daha düşük olabilmektedir. Bir diğer akılcı çözüm ise, YES'in mevcut sistemlere entegre edilerek şebekeye destek sağlaması olabilir.

Ayrıca, gelişen teknolojiler ile güneş paneli, rüzgâr türbini, akü gibi sistem bileşenlerinin fiyatlarının azalmasıyla birlikte, başlangıç maliyetlerinin her geçen gün düştüğü görülmektedir. Diğer yandan, devlet kuruluşlarının YES konusunda verdikleri teşvikleri artırması, bilim insanları, mühendisler gibi yetkin kişilerin YES konusunda daha fazla çalışma yapması ve halkı bilinçlendirici bilgiler sunması da YES'e olan yatırımları artırabilir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin üretimdeki payının artması, sera gazı salınımlarını azaltarak canlıların daha temiz bir dünyada yaşamasına olanak sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] M. Höök and X. Tang, “Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review,” *Energy Policy*, vol. 52, pp. 797–809, Jan. 2013.
- [2] E. Koç and K. Kaya, “Enerji kaynakları-Yenilenebilir enerji durumu,” *Mühendis ve Makina*, vol. 56, pp. 36–47, 2015.
- [3] M. H. Rashid, “Yenilenebilir Enerjiye Giriş,” in *Güç Elektroniği (Yarıiletkenler, Devreler ve Uygulamaları)*, 4th ed., S. Sünter and M. T. Aydemir, Eds., Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2019, pp. 840–901.
- [4] N. Demir and P. Baş, “Avrupa Birliği’nin enerji sorunsalında yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve geleceği,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 7, pp. 806–831, Nov. 2020.
- [5] N. Van Thanh, “Sustainable energy source selection for industrial complex in Vietnam: A fuzzy MCDM approach,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 50692–50701, 2022.
- [6] The Paris Agreement, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>, (Erişim Tarihi: 9 Haziran 2023).
- [7] Share of Global GHG Emissions, https://www.climatewatchdata.org/ndcs-explore?indicator=pa_status, (Erişim Tarihi: 9 Haziran 2023).
- [8] E. Karakaya, “Paris iklim antlaşması: İçeriği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme,” *Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 3, pp. 1–12, 2016.
- [9] S. Öztürk and S. Saygin, “1973 petrol krizinin ekonomiye etkileri ve stagflasyon olgusu,” *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 6, pp. 1–12, 2017.
- [10] S. Yilmaz and D. K. Kalkan, “Enerji güvenliği kavramı: 1973 petrol krizi ışığında bir tartışma,” *Uluslararası Kriz ve Siyaset Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, pp. 169–199, Dec. 2017.
- [11] Turkey 2021, Energy Policy Review, International Energy Agency (IEA), <https://www.iea.org/reports/turkey-2021>, (Erişim Tarihi: 25 Haziran 2023).
- [12] S. Türkdogan, “Design and optimization of a solely renewable based hybrid energy system for residential electrical load and fuel cell electric vehicle,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 397–404, Apr. 2021.
- [13] Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions, <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2023).
- [14] “Kazan”, <https://bursa.meb.gov.tr/enerjiyonetimi/bilgi-bankasi-detay.php?b=4>, (Erişim Tarihi: 15 Eylül 2023).

- [15] Resistive Heating Elements Information, https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/heating_cooling_equipment/industrial_heaters/heating_elements/resistive_heating_elements , (Erişim Tarihi: 19 Eylül 2023).
- [16] Welcome to HOMER, Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/index.html>, (Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2023).
- [17] G. Bekele and B. Palm, “Feasibility study for a standalone solar-wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia,” *Appl Energy*, vol. 87, no. 2, pp. 487–495, 2010.
- [18] B. E. Türkay and A. Y. Telli, “Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems,” *Renew Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 1931–1943, Jul. 2011.
- [19] A. Ghasemi, A. Asrari, M. Zarif, and S. Abdelwahed, “Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic-diesel-battery systems for rural electrification in eastern part of Iran - A step toward sustainable rural development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 456–462, 2013.
- [20] S. Bentouba and M. Bourouis, “Feasibility study of a wind-photovoltaic hybrid power generation system for a remote area in the extreme south of Algeria,” *Appl Therm Eng*, vol. 99, pp. 713–719, Apr. 2016.
- [21] R. Rajbongshi, D. Borgohain, and S. Mahapatra, “Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER,” *Energy*, vol. 126, pp. 461–474, 2017.
- [22] S. Jaman, “Techno-economic analysis of a solar PV-fuel cell based hybrid energy system for St. Martin Island using HOMER,” *SEU Journal of Science and Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 30–38, 2018.
- [23] S. Türkdoğan, S. Dilber, and B. Çam, “Hibrit enerji sistemlerinin şebekeden bağımsız bir çiftlik evinde uygulanabilirliğinin ekonomik ve teknik açıdan incelenmesi,” *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , vol. 3, no. 2, pp. 52–65, 2018.
- [24] M. R. Elkadeem, S. Wang, S. W. Sharshir, and E. G. Atia, “Feasibility analysis and techno-economic design of grid-isolated hybrid renewable energy system for electrification of agriculture and irrigation area: A case study in Dongola, Sudan,” *Energy Convers Manag*, vol. 196, pp. 1453–1478, Sep. 2019.
- [25] M. A. V. Rad, R. Ghasempour, P. Rahdan, S. Mousavi, and M. Arastounia, “Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran,” *Energy*, vol. 190, Jan. 2020.

- [26] S. Türkdoğan, M. T. Mercan, and T. Çatal, “Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri,” *European Journal of Science and Technology*, pp. 476–485, Apr. 2020.
- [27] F. Dawood, G. M. Shafiullah, and M. Anda, “Stand-alone microgrid with 100% renewable energy: A case study with hybrid solar pv-battery-hydrogen,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, p. 2047, Mar. 2020.
- [28] L. N. Xing, H. L. Xu, A. K. Sani, M. A. Hossain, and S. M. Mueen, “Techno-economic and environmental assessment of the hybrid energy system considering electric and thermal loads,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 10, no. 24, Dec. 2021.
- [29] O. Ekren, H. C. Celal, and Ç. B. Güvel, “Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, Jan. 2021.
- [30] A. S. Aziz *et al.*, “Design and optimization of a grid-connected solar energy system: Study in Iraq,” *Sustainability*, vol. 14, no. 13, Jul. 2022.
- [31] O. Ayan and B. E. Turkay, “Techno-economic comparative analysis of grid-connected and islanded hybrid renewable energy systems in 7 climate regions, Turkey,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 48797–48825, 2023.
- [32] H. O. Guelleh, R. Patel, C. Kara-Zaitri, and I. M. Mujtaba, “Grid connected hybrid renewable energy systems for urban households in Djibouti: An economic evaluation,” *S Afr J Chem Eng*, vol. 43, pp. 215–231, Jan. 2023.
- [33] Key Energy Statistics, 2020, International Energy Agency, <https://www.iea.org/countries/turkiye>, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2023).
- [34] Elektrik, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2023)
- [35] Key Energy Statistics, 2020, International Energy Agency, <https://www.iea.org/world>, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2023)
- [36] Data and Statistic, International Energy Agency, <https://www.iea.org/data-and-statistics>, (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [37] Renewables 2022, International Energy Agency <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>, (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [38] K. B. Varınca and M. T. Gönüllü, “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma,” in *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 2006, pp. 270–275.

- [39] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K. H. Kim, “Solar energy: Potential and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894–900, 2018.
- [40] Güneş, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, (Erişim Tarihi: 16 Haziran 2023)
- [41] E. S. Özcan, “Dünyada ve Türkiye’ de güneş enerjisi,” *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, pp. 55–59, 2013.
- [42] M. A. El-Sharkawi, *Electric Energy: An Introduction*, 3rd ed. Florida: CRC Press, 2012.
- [43] PV Cells 101: A Primer on the Solar Photovoltaic Cell, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell>, (Erişim Tarihi: 16 Ağustos 2023)
- [44] Solar PV, International Energy Agency, <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>, (Erişim Tarihi: 20 Ağustos 2023)
- [45] Rüzgar, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>, (Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2023)
- [46] M. C. Şenel and E. Koç, “Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi durumu-Genel değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, vol. 56, pp. 32–44, 2015.
- [47] How Do Wind Turbines Work?, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work#learn>, (Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2023)
- [48] D. Keleş, V. Ayhan, A. Parlak, İ. Cesur, B. Boru, and T. Koç, “Bir rüzgar türbini tasarımı ve geliştirilmesi,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 17, no. 2, pp. 207–216, 2013.
- [49] A. Özkan, U. Yeter, and E. Gedikli, “Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyelinde rüzgâr gücü ve Danimarka örneği,” *Akdeniz İİBF Dergisi*, vol. 22, pp. 26–35, 2022.
- [50] Wind, International Energy Agency, <https://www.iea.org/energy-system/renewables/wind>, (Erişim Tarihi: 16 Ağustos 2023)
- [51] C. C. Chan, “An overview of electric vehicle technology,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 81, no. 9, pp. 1202–1213, 1993.
- [52] S. Raşiu, “The history of the internal combustion engine,” *Annals of the faculty of engineering Hunedoara*, vol. 3, pp. 145–148, 2003.
- [53] N. Ding, K. Prasad, and T. T. Lie, “The electric vehicle: a review,” *Int. J. Electric and Hybrid Vehicles*, vol. 9, no. 1, pp. 49–66, 2017.

- [54] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1. pp. 372–404, Mar. 2021.
- [55] Y. Y. Jia, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49. pp. 365–385, May 16, 2015.
- [56] Electric Vehicle Benefits and Considerations, https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_benefits.html, (Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2023)
- [57] X. Sun, Z. Li, X. Wang, and C. Li, "Technology development of electric vehicles: A review," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 1, Dec. 2019.
- [58] C. C. ; Chan and K. T. Chau, *Modern Electric Vehicle Technology*, 1st ed. New York: Oxford University Press, 2001.
- [59] A. Ajanovic, "The future of electric vehicles: Prospects and impediments," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 4, no. 6, pp. 521–536, 2015.
- [60] All Electric Vehicles, https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_ev.html, (Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2023)
- [61] Hybrid Electric Vehicles, https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_hev.html, (Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2023)
- [62] C. Mi and M. A. M. Masrur, *Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with Practical Perspectives*, 2nd ed. Chichester: WILEY, 2017.
- [63] S. Verma *et al.*, "A comprehensive review on energy storage in hybrid electric vehicle," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8, no. 5. pp. 621–637, 2021.
- [64] Fuel Cell Electric Vehicles, https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html, (Erişim Tarihi: 23 Ağustos 2023)
- [65] Makroekonomik Değerlendirme Aralık 2022, <https://www.odmd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/3364/Makroekonomik%20De%c4%9ferlendirme%20-%20Aral%c4%b1k%202022.pdf>, (Erişim Tarihi: 7 Eylül 2023)
- [66] Trends in electric light-duty vehicles, International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-electric-light-duty-vehicles>, (Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2023)

- [67] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1513–1522, 2009.
- [68] J. Baker, "New technology and possible advances in energy storage," *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4368–4373, 2008.
- [69] US Inflation Rate, https://ycharts.com/indicators/us_inflation_rate#:~:text=Basic%20Info,month%20and%208.20%25%20last%20year, (Erişim Tarihi: 12 Nisan 2023).
- [70] United States Interest Rate, <https://www.tradingview.com/symbols/ECONOMICS-USINTR/>, (Erişim Tarihi: 12 Nisan 2023).
- [71] A. Karafil, H. Ozbay, and M. Kesler, "Temperature and solar radiation effects on photovoltaic panel power," *Journal of New Results in Science*, vol. 12, pp. 48–58, 2016.
- [72] S. Adak, H. Cangi, and A. S. Yılmaz, "Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağı matematiksel modellemesi ve simülasyonu," *Uluslararası Muhendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*, pp. 316–327, Jan. 2019.
- [73] N. M. Islam, M. R. Ziaur, and S. M. Mominuzzaman, "The effect of irradiation on different parameters of monocrystalline photovoltaic solar cell," in *International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, Bangladesh: 2014 3rd International Conference on. IEEE, 2014, pp. 1–6.
- [74] P. Singh and N. M. Ravindra, "Temperature dependence of solar cell performance - An analysis," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 101, pp. 36–45, Jun. 2012.
- [75] H. H. Öztürk, Ç. Üniversitesi, and Z. Fakültesi, "Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler," https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf, (Erişim Tarihi: 15.11.2023)
- [76] Şarj Süresi Hesaplayıcı, <https://www.togg.com.tr/discovery>, (Erişim Tarihi: 26.09.2023)
- [77] Türkiye’de konutlarda kullanılan doğal gaz ve diğ er yakıtların karşılaştırılması, https://www.gazmer.com.tr/upload/tr/dosya/haberyonetimi/133/Dogal-Gaz-ve-Diger-Yakitlarin-Karsilastirilmesi-Ocak-2022_10012022230951-3.pdf, (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- [78] Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-95-1007/dogal-gazaylik-sektor-raporu>, (Erişim Tarihi: 18.01.2023)

- [79] PV Derating Factor, https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/pv_derating_factor.html, (Erişim Tarihi: 26.06.2023)
- [80] How HOMER Calculates the PV Array Power Output, https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/how_homer_calculates_the_pv_array_power_output.html, (Erişim Tarihi: 26.03.2023)
- [81] Aeolos-1kW Wind Turbine, <https://www.renugen.co.uk/aeolos-aeolos-h-1kw-1kw-wind-turbine/>, (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- [82] Historical Rates for the Great British Pound, www.federalreserve.gov/releases/h10/hist/dat00_uk.htm, (Erişim Tarihi: 19.05.2023)
- [83] Doğal Gaz Fiyatları, <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/dogalgaz/stp/stp-grf.xhtml>, (Erişim Tarihi: 18.02.2023)
- [84] Akaryakıt Fiyatları, <https://www.petrolofisi.com.tr/akaryakit-fiyatlari>, (Erişim Tarihi: 18.02.2023)
- [85] A. Bashar and S. S, “Integrated renewable energy system for stand-alone operations with optimal load dispatch strategy,” *Journal of Electronics and Informatics*, vol. 3, no. 2, pp. 89–98, Jun. 2021.
- [86] Battery Bank Autonomy, https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/battery_bank_autonomy.html, (Erişim Tarihi: 18.02.2023)
- [87] A. Shahul, P. Shiva, D. Jennez, E. KV, T. S, and R. S, “Sand battery technology: a promising solution for renewable energy storage,” *International Journal on Emerging Research Areas*, vol. 3, pp. 250–255, 2023.
- [88] Kapasite faktörü dağılımı, https://repa.enerji.gov.tr/REPA/bolgeler/MARMARA_BOLGESI-REPA.pdf, (Erişim Tarihi: 18.03.2023)



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2010 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. Nisan 2016 ile Eylül 2016 tarihleri arasında Pino Pano, Ocak 2018 ile Ağustos 2020 yılları arasında Karadağ Elektronik firmasında satış ve teklif mühendisi olarak çalıştı.

2021 yılında Yalova Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 yılında “Yüksek Lisans Erasmus Öğrenim Hareketliliği” programına katılarak, Varna Teknik Üniversitesi’nde bir dönem eğitim gördü.

Ekim 2022 ile Mart 2023 tarihleri arasında, Ostim Teknik Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı

Nisan 2023 tarihinden beri Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

S. Türkdoğan and G. B. Özcan.” Bir Ailenin Elektrikli Cihaz ve Elektrikli Araç Yük Talebini Sıfır Emisyonla Karşılacak Hibrit Enerji Sistem Modelinin Oluşturulması ve Bölgesel Bazda Analizi” In 1st International Conference on Pioneer and Innovative Studies, 2023, pp.59