



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU
ENERJİ İHTİYACININ KARŞILANMASI
TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ:
BATMAN ÜNİVERSİTESİ BATI RAMAN
KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Muhammed Said YILMAZ

YÜKSEK LİSANS

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Kasım-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Said YILMAZ tarafından hazırlanan “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşılanması Teknik ve Ekonomik Analizi: Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Örneği” adlı tez çalışması 14/11/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Davut ÖZHAN

Üye

Doç.Dr. Mehmet Recep MİNAZ

İmza

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Said YILMAZ

Tarih:14.11.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU ENERJİ İHTİYACININ KARŞILANMASI TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: BATMAN ÜNİVERSİTESİ BATI RAMAN KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

Muhammed Said YILMAZ

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Davut ÖZHAN**

2023, 103 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Doç. Dr. Mehmet Recep MİNAZ
Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR**

Fosil yakıt kaynaklarının kullanımı dünyamıza ve atmosfere fazlaca zarar vermektedir. Atmosfere yayılan zararlı sera gazları hem atmosfer tabakasını delmekte hem de küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu zararlı gazların yayılmasın da otomobillerinde büyük payı vardır. Geçmişten günümüze kadar içten yanmalı motorlu araçların daha çok kullanıldığı görülmektedir. Hükümetlerin sıfır emisyon projeleri bu araçların üretimini azaltmaya yönelmektedir. Son yıllarda elektrikli araçların gelişimi, batarya gücünün artırılması, uzun mesafelerin kat edilmesi, elektrikli araçlara ilgiyi artırmaktadır. Elektrikli araçlar (EV) çevreci, doğa dostu olduğundan şarj edilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından da faydalanılabilmektedir. Yenilenebilir kaynaklarla çalışan elektrikli araç şarj sistemleri, bu iki önemli yapının bir araya getirilmesiyle enerji sürdürülebilirliğini artırmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı, fosil yakıtların tüketilmelerini ve emisyonları düşürerek iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacını karşılamak için HOMER Pro ve RETScreen Expert programları kullanılarak, şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş ve rüzgâr enerjisi) oluşan hibrit bir sistemin teknik ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Üniversite kampüsümüzün güneş ve rüzgâr enerji potansiyelleri incelenmiş, elektrikli araçlar için yük profili çıkartılmış, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sisteminin optimum boyutlandırması yapılmıştır. 200 kW boyutunda ayrı ayrı FV sistem, RT sistemi ve hibrit (FV+RT) sistem tasarlanmış, ekonomik ve teknik hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, FV sistem: amortisman süresi 7.73 yıl, seviyelendirilmiş enerji maliyeti -0,038 \$/kWsa, net bugünkü maliyet -7,052,315 \$, RT sistemi: amortisman süresi (değer yok), seviyelendirilmiş enerji maliyeti -0,0226 \$/kWsa, net bugünkü maliyet -3,344,467 \$ ve hibrit sistem: amortisman süresi 10.12 yıl, seviyelendirilmiş enerji maliyeti -0.0393 \$/kWsa ve net bugünkü maliyet -6,848,665 \$ olarak hesaplanmıştır. En ekonomik sistemin FV sistem olduğu ve yıllara göre kazanç sağladığı değerlendirilmiştir. En düşük emisyon değerlerine hibrit sistemde ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Batman, Güneş enerjisi, HOMER Pro, RETScreen Expert, Rüzgâr enerjisi, Yenilenebilir enerji kaynakları

ABSTRACT

MS THESIS

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF MEETING THE ENERGY NEEDS OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION: BATMAN UNIVERSITY WEST RAMAN CAMPUS EXAMPLE

Muhammed Said YILMAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Rida TUR

Second Advisor: Dr. Davut OZHAN

2023, 103 Pages

Jury

Prof. Dr. Omer Faruk ERTUGRUL

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Recep MINAZ

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Rida TUR

The use of fossil fuel resources causes great damage to our world and atmosphere. Harmful greenhouse gases spread into the atmosphere not only perforate the atmospheric layer but also trigger global warming. Automobiles play a major role in the spread of these harmful gases. It is seen that internal combustion engine vehicles have been used more from past to present. Governments' zero emission projects lead them to reduce the production of these vehicles. In recent years, the development of electric vehicles, increasing battery power, and traveling long distances have increased the interest in electric vehicles. Since electric vehicles (EV) are environmentally and nature-friendly, renewable energy sources can also be used for charging. Electric vehicle charging systems that work with renewable resources aim to increase energy sustainability by bringing these two important structures together. The use of renewable energy plays an effective role in combating climate change by reducing the consumption of fossil fuels and emissions.

In this study, technical and economic analysis of a hybrid system consisting of grid-connected renewable energy sources (solar and wind energy) was carried out by using HOMER Pro and RETScreen Expert programs to meet the energy needs of the electric vehicle charging station at Batman University West Raman Campus. In the study, the solar and wind energy potentials of our University campus were examined, the load profile for electric vehicles was determined, and the optimum sizing of the photovoltaic (PV) and wind turbine (RT) system was made. 200 kW size PV system, RT system and hybrid (PV+RT) system were designed separately and economic and technical calculations were made. As a result of the analysis, PV system: payback period 7.73 years, levelized energy cost -\$0.038/kWh, net present cost - \$7,052,315, RT system: payback period (no value), levelized energy cost -\$0.0226/kWh, net present cost is -\$3,344,467 and hybrid system: payback period is 10.12 years, levelized energy cost is -\$0.0393/kWh and net present cost is calculated as -\$6,848,665. It has been evaluated that the most economical system is the PV system and that it provides profits over the years. The lowest emission values were achieved in the hybrid system.

Keywords: Batman, HOMER Pro, Renewable energy sources, RETScreen Expert, Solar energy, Wind energy

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'ne elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla hibrit kaynaklar kullanılarak teknik ve ekonomik analiz ele alınmaktadır. Elektrikli araç tarihçesi, türleri ve şarj teknolojileri incelenmektedir. Batman ilinin yenilenebilir enerji potansiyeline göre farklı enerji kaynakları kullanılarak analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde temiz enerji ve düşük emisyon değerleri için yenilenebilir enerjinin önemi vurgulanmıştır.

Tez çalışmamın, başlangıçtan bitişine kadar her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıda TÜR'e ve ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Davut ÖZHAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenim sürecinde beni her zaman destekleyen ve motive eden değerli aileme, dostlarım Abdurrahman TOSUN ve Ali POYRAZ'a şükranlarımı sunarım.

Muhammed Said YILMAZ
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi	11
2.2. Elektrikli Araçların Sınıflandırılması	13
2.2.1. Bataryalı elektrikli araç (BEV).....	13
2.2.2. Hibrit elektrikli araç (HEV).....	14
2.2.3. Plug-In hibrit elektrikli araç (PHEV).....	14
2.2.4. Yakıt hücresi elektrikli araç (FCEV).....	15
2.3. Elektrikli Araç Şarj Teknolojisi.....	16
2.3.1. İletken (Kablolu) şarj	16
2.3.2. CHAdeMO	18
2.3.3. CCS combo 1.....	19
2.3.4. SAE J1772.....	19
2.3.5. IEC 62196.....	19
2.3.6. Tesla konnektörü.....	19
2.3.7. Endüktif (Kablosuz) şarj	20
2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	21
2.4.1. Güneş enerjisi	21
2.4.2. Rüzgâr enerjisi	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Konumu	25
3.2. Batman İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	26
3.3. Batman İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli.....	30
3.4. Elektrik Yük Profili	33
3.5. HOMER Pro Programı.....	35
3.6. RETScreen Expert Programı.....	38
3.7. Ekonomik Kriterler	40
3.7.1. Faiz oranı.....	40
3.7.2. Net bugünkü maliyet	41
3.7.3. Başlangıç maliyeti.....	41

3.7.4. İşletme ve bakım maliyeti	42
3.7.5. Enerji maliyeti	42
3.7.6. İç getiri oranı	43
3.7.7. Yatırım getirisi.....	43
3.7.8. Basit geri ödeme	43
3.8. Fotovoltaik Güç Hesabı	44
3.9. Rüzgâr Türbin Güç Hesabı.....	45
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	47
4.1. Fotovoltaik Sistem Kullanılması Durumu	47
4.1.1. HOMER Pro fotovoltaik sistem analizi	48
4.1.2. RETScreen Expert fotovoltaik sistem analizi.....	52
4.2. Rüzgâr Türbin Sistemi Kullanılması Durumu	55
4.2.1 HOMER Pro rüzgâr türbin sistem analizi	55
4.2.2 RETScreen Expert rüzgâr türbin sistem analizi	59
4.3. Hibrit Sistem Kullanılması Durumu	62
4.3.1. HOMER Pro hibrit sistem analizi	62
4.3.2. RETScreen Expert hibrit sistem analizi	68
4.4. Maliyet Özeti.....	71
4.5. Emisyon Değerleri	72
4.6 Tartışma	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
5.1 Sonuçlar	74
5.2 Öneriler	75
KAYNAKLAR	76
EKLER	85
EK-1 Güneş Paneli Teknik Özellikleri (Jinko Solar JKM540M -72HL4-TV).....	85
EK-2 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri (Norvento nED 100).....	86
EK-3 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri (Eocycle EOX S-16).....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	Error! Bookmark not defined.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektrikli araçların sınıflandırılması (Laukkonen, 2021)	16
Şekil 2.2. Elektrikli araç şarj modları (Velatia, 2022)	18
Şekil 2.3. Şarj soket türleri (Mastoi vd., 2022).....	20
Şekil 2.4. Elektrikli araç şarjı için endüktif güç aktarım sistem yapısı (Hwang ve Jang, 2020).....	20
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyel haritası (GEPA, 2023)	22
Şekil 2.6. Güneş enerjisine dayalı kurulu güç (YTBS, 2023)	23
Şekil 2.7. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA, 2023).....	24
Şekil 2.8. Rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (YTBS, 2023)	24
Şekil 3.1. Batman üniversitesi batı raman kampüsü harita konumu	26
Şekil 3.2. Batman ili güneş enerjisi potansiyel haritası (GEPA, 2023)	26
Şekil 3.3. Güneş enerjisi sıcaklık değerleri aylık ortalamaları	29
Şekil 3.4. Güneş enerjisi ışıınım değerleri aylık ortalamaları	30
Şekil 3.5. (a) Batman ili rüzgâr hızı dağılımı (m/s) (b) Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı (W/m ²) (REPA, 2023).....	31
Şekil 3.6. Ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu (GWA, 2023)	32
Şekil 3.7. Ortalama rüzgâr hızı grafiği (m/s).....	32
Şekil 3.8. Simülasyon, optimizasyon, duyarlılık analizi arasındaki ilişki (HOMER, 2020).....	37
Şekil 3.9. RETScreen karar motoru iş akış diyagramı (RETScreen, 2023)	39
Şekil 4.1. Fotovoltaik sistem modeli.....	48
Şekil 4.2. Rüzgâr türbin sistem modeli	55
Şekil 4.3. Hibrit sistem modeli	62
Şekil 4.4. Örnek bir hibrit mikro şebeke sistem tasarımı	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bataryalı elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Ehsani vd., 2018)	14
Çizelge 2.2. Hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Khalid vd., 2021)	14
Çizelge 2.3. Plug-in hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Nour vd., 2020)	15
Çizelge 2.4. Elektrikli araç şarj seviyeleri (Khalid vd., 2021)	18
Çizelge 3.1. (a) Batman ili günlük ısıtım değerleri (kWsa/m ² /gün) (b) Batman ili güneşlenme süreleri (saat) (GEPA, 2023)	27
Çizelge 3.2. Batman ili fotovoltaik panel tipleri üretilebilecek enerji (kWsa-yıl) (GEPA, 2023)	28
Çizelge 3.3. Güneş enerjisi aylık ortalama sıcaklık verileri (HOMER, 2020)	29
Çizelge 3.4. Güneş enerjisi aylık ortalama ısıtım verileri (HOMER, 2020)	30
Çizelge 3.5. Ortalama rüzgâr hızı değerleri (m/s) (HOMER, 2020)	33
Çizelge 3.6. Günlük elektrik yük profili	33
Çizelge 3.7. Aylık elektrik yük profili	34
Çizelge 3.8. Yıllık elektrik yük profili	34
Çizelge 3.9. Elektrik yük verileri	34
Çizelge 4.1. Fotovoltaik sistem maliyet analizi	48
Çizelge 4.2. FV ekonomik değerler	49
Çizelge 4.3. Fotovoltaik sistem aylık elektrik üretimi	49
Çizelge 4.4. Fotovoltaik güç çıkışı	50
Çizelge 4.5. Fotovoltaik güç çıkış değerleri	50
Çizelge 4.6. Fotovoltaik sistem enerji alış-satış	50
Çizelge 4.7. Fotovoltaik sistem enerji değerleri	51
Çizelge 4.8. Konvertör çıkış gücü	51
Çizelge 4.9 Konvertör çıkış değerleri	52
Çizelge 4.10. Fotovoltaik sistem emisyon değerleri	52
Çizelge 4.11. Maliyet analizi	53
Çizelge 4.12. Nakit akışı	54
Çizelge 4.13. Emisyon değeri	54
Çizelge 4.14. Rüzgâr türbin sistemi maliyet analizi	56
Çizelge 4.15. RT ekonomik değerler	56
Çizelge 4.16. Rüzgâr türbin sistemi aylık elektrik üretimi	57
Çizelge 4.17. Rüzgâr türbini güç çıkışı	57
Çizelge 4.18. Rüzgâr türbini güç çıkış değerleri	57
Çizelge 4.19. Rüzgâr türbin sistemi enerji alış-satış	58
Çizelge 4.20. Rüzgâr türbin sistemi enerji değerleri	58
Çizelge 4.21. Rüzgâr türbin sistemi emisyon değerleri	59
Çizelge 4.22. Maliyet analizi	60
Çizelge 4.23. Nakit akışı	61
Çizelge 4.24. Emisyon değeri	61
Çizelge 4.25. Hibrit sistem maliyet analizi	63
Çizelge 4.26. Hibrit sistem ekonomik değerler	63
Çizelge 4.27. Hibrit sistem aylık elektrik üretimi	64
Çizelge 4.28. (a) Fotovoltaik güç çıkışı (b) Rüzgâr türbin güç çıkışı	64
Çizelge 4.29. Hibrit sistem güç çıkışı	65
Çizelge 4.30. Hibrit sistem şebekeden elektrik alış-satış	65
Çizelge 4.31. Hibrit sistem enerji değerleri	66

Çizelge 4.32. Hibrit sistem konvertör çıkış gücü.....	66
Çizelge 4.33. Hibrit sistem konvertör çıkış değerleri	67
Çizelge 4.34. Hibrit sistem emisyon değerleri.....	67
Çizelge 4.35. Maliyet analizi	68
Çizelge 4.36. Nakit akışı	69
Çizelge 4.37. Emisyon değeri.....	69
Çizelge 4.38. Karşılaştırmalı maliyet özeti	71
Çizelge 4.39. Karşılaştırmalı emisyon değerleri.....	72



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
Asa	: Amper-saat
cm	: Santimetre
CO ₂	: Karbondioksit
km	: Kilometre
km ²	:Kilometrekare
kW	: Kilowatt
kWsa	: Kilowatt-saat
MW	: Megawatt
MWsa	: Megawatt-saat
m	: Metre
m ²	: Metrekare
NO ₂	: Azot dioksit
°C	: Santigrat
s	: Saniye
sa	: Saat
SO ₂	: Kükürt dioksit
V	: Volt
W	: Watt
Wp	: Watt-peak
\$	: Dolar

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç (Battery Electric Vehicle)
CCS	: Kombine Şarj Sistemi (Combined Charging System)
COE	: Enerji Maliyeti (Cost of Energy)
CSP	: Konsantre Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
ESS	: Enerji Depolama Sistemi (Energy Storage System)
EV	: Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
FCEV	: Yakıt Hücresi Elektrikli Araç (Fuel Cell Electric Vehicle)
FV	: Fotovoltaik
GWA	: Küresel Rüzgâr Atlası (Global Wind Atlas)
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç (Hybrid Electric Vehicle)
HF	: Yüksek Frekans (High Frequency)
HOMER	: Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu
IC	: Başlangıç Maliyeti (Initial Cost)
ICE	: İçten Yanmalı Motor (Internal Combustion Engine)
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IPT	: Endüktif Güç Aktarımı (Inductive Power Transfer)
IRR	: İç Getiri Oranı (Internal Rate of Return)
LCOE	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized Cost of Energy)
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NPC	: Net Bugünkü Maliyet (Net Present Cost)
NZE	: Net Sıfır Emisyon (Net Zero Emissions)

Kısaltmalar (Devamı)

O&M	: İşletme ve Bakım Maliyeti (Operation and Maintenance)
RT	: Rüzgâr Türbini
SAE	: Otomotiv Mühendisleri Derneği



1. GİRİŞ

Son yıllarda, karbon emisyonlarının, sera gazının ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın etkili bir şekilde azaltılması, daha düşük işletme maliyeti, daha düşük gürültü seviyeleri ve araç işletiminde daha yüksek verimlilik sebebiyle içten yanmalı motorlu (ICE) araçlara göre ayırt edici avantajları nedeniyle elektrikli araçlara (EV'ler) yeniden ilgi duyulmuştur (Ioakimidis vd., 2018). İçten yanmalı motorlu araçların kademeli olarak elektrikli araçlarla değiştirilmesi ulaşım sektöründe oldukça teşvik edilmektedir. 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu (NZE), 2030'da 300 milyonun üzerinde bir elektrikli otomobil filosu ve yeni otomobil satışlarının %60'nı elektrikli otomobillerin oluşturduğunu öngörüyor (IEA, 2023). EV'lerin temel avantajı, yakıt tasarrufu ile birlikte şehir kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltma potansiyelleridir. EV'lerin ekonomik ve çevresel performansı, sürdürülebilir enerji üretimi ile birleştğinde özellikle yüksektir ve akıllı şarj stratejileri uygulandığında daha da iyileştirilir (Zengin vd., 2016).

Şarj altyapısının mevcudiyeti, EV'lerin benimsenmesini artırmada çok önemli bir faktördür. Normalde EV'lerin evde her gece yeniden şarj edilmesi beklenir, ancak EV'lerin sınırlı menzili, uzun mesafeli yolculuklar için halka açık yerlerde şarj edilmesini bir gereklilik haline getirir. Bu nedenle evde şarjı tamamlayıcı olarak bir kamusal şarj hizmetinin sağlanması temel ihtiyaç olacaktır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının, şarj altyapısının uygulanmasına yönelik yanlış planlamalar, EV'lerin benimsenmesini engelleyecektir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının yerleşimi doğru bir şekilde yapılmalıdır (Alhazmi vd., 2017).

Enerji sektörü, elektrikli araç şarjı için güvenli bir elektrik kaynağı sağlamada kilit bir rol oynar. EV şarj ihtiyaçlarının esnek doğası, sorunsuz entegrasyon sağlamak için kullanılabilir. Ancak diğer tüm elektrik yükleri gibi EV'ler de güç sistemini etkiler. Yeterli donanımına sahip olmayan alanlar, tedarik veya kalite sorunları yaşayabilir (IEA, 2022). Bu nedenle artan maliyetler ve sera gazı emisyonları yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ilgi gösterilmesine neden olmuştur. Güneş ve rüzgâr enerjileri, tek kaynaklardan daha yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip bir hibrit enerji sistemi oluşturmak için birlikte entegre edilebilecek en erişilebilir ve önemli yenilenebilir kaynaklardır (Ghorbani vd., 2018). Yenilenebilir enerjiye dayalı şarj istasyonları (güneş ve rüzgâr), fosil yakıt tüketimini azaltan, yatırım maliyetini optimize eden ve yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen güçteki dalgalanmaları dengeleyen dost EV

şarjlarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları son zamanlarda EV şarj istasyonlarına bağlanan mikro şebekelere entegre edilmiştir (Lehtonen vd., 2022).

Bu tezde, simüle olarak şebeke ile bağlantılı yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Hibrit kaynaklı şarj istasyonu ile Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde elektrikli araçların şarj işlemleri gerçekleştirilecektir. Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanımı ile hem kendi elektrik enerjisini üretecek, elektrik maliyetinden tasarruf edecek hem de karbon emisyonunu ve sera gazını azaltarak yeşil enerjiye katkı sağlanacaktır. Teknik ve ekonomik analizi en verimli şekilde yapmak için HOMER Pro (Çoklu enerji kaynaklarının hibrit optimizasyonu) ve RETScreen Expert programları kullanılmıştır.

İkinci kısımda yenilenebilir enerji kaynaklarıyla oluşturulan mikro şebeke fizibilite çalışmaları, maliyet analizleri ve teknik analizler ile yapılan çalışmaların literatür taraması yapılmış ve elektrikli araçların tarihçesi, elektrikli araçların sınıflandırılması, elektrikli araç şarj teknolojisi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsedilmiştir.

Üçüncü kısımda Batman ili güneş ve rüzgâr enerji potansiyelleri, elektrik yük profili, HOMER Pro ve RETScreen Expert programları hakkında bilgi verilmiştir. Ekonomik kriter hesaplamaları ve FV-RT sistem güç çıkış hesaplamaları incelenmiştir.

Dördüncü kısımda güneş, rüzgâr ve hibrit sistem senaryolarının teknik ve ekonomik analiz grafikleri gösterilmiş, araştırma sonuçları çizelgeler halinde incelenmiş ve tartışma yapılmıştır.

Beşinci kısımda yapılan çalışma ile ilgili sonuçlar ele alınmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür taraması yapıldığında, yenilenebilir kaynaklarla oluşturulan birçok hibrit mikro şebeke sisteminin tasarım çalışmasının, teknik ve ekonomik analizlerin yapıldığı görülmektedir.

Sinha ve Chandel (2014), Yenilenebilir hibrit sistemlerin analizinde kullanılan 19 adet yazılımın özelliklerini ve güncel durum bilgilerini incelemişlerdir. Bir araştırmacının hibrit sistemlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları için uygun aracı belirlemesi ve kullanması için temel bilgileri sağlamasını amaçlamışlardır. Çalıştıkları yazılımlar HOMER, RETScreen, Hybrid2, iHOGA, INSEL, TRSYS, iGRHYSO, HYBRIDS, RAPSIM, SOMES, SOLSTOR, Hysim, Hybsim, IPSYS, HySys, Dymola/Modelica, ARES, SOLSIM ve HYBRID DESIGNER olmuştur. HOMER yazılımının en gelişmiş yazılım olduğu, farklı kombinasyonlarda hibrit sistem tasarlayabildiği ve hassasiyet analizinin yapıldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Adalı (2022), Bursa'nın Yıldırım ilçesinde bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeden bağımsız fotovoltaik (FV) + batarya ve şebekeye bağlı FV sistemlerden oluşan güneş enerjisi temelli hibrit enerji sistemlerinin HOMER Pro yazılımı kullanarak tasarımını gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda; şebekeden bağımsız sistemin toplam net bugünkü maliyetini 71.386,04 TL, işletme maliyetini 85,06 TL, kWsa başına elektrik birim maliyetini 0,094 TL hesaplamıştır. Şebekeye bağlı sistemin toplam net bugünkü maliyetini 13.357,51 TL, işletme maliyetini -26,88 TL, kWsa başına birim maliyetini 0,0075 TL olarak hesaplamıştır. Konutlarda şebekeye bağlı sistemin enerji maliyetlerinin düşürülmesi hususunda büyük avantajlarının olduğu belirlemiştir.

Dawoud (2021), Mısır'ın Hurgada şehrine hibrit yenilenebilir kaynaklarla enerji sağlamak için, konutlara fotovoltaik, rüzgâr türbinleri, dizel motorlar ve akümülatörlerden oluşan dört farklı hibrit yenilenebilir kaynağın bir kombinasyonunu tasarlamıştır. Simülasyon sonuçları, optimizasyon ve modelleme işlemleri HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Teknik ve ekonomik değerlendirme sonucunda; fotovoltaik-rüzgâr-dizel-batarya kaynağının yıllık enerji maliyetinin minimum değeri 0,275 \$/kWsa ve fotovoltaik-dizel kaynağının enerji maliyetinin 0,36 \$/kWsa ile daha yüksek bir maliyeti olduğunu hesaplamıştır. Ayrıca çevresel değerlendirmeye göre, fotovoltaik-rüzgâr kaynağının sıfır emisyon değerine sahip olduğunu belirlemiştir. Elde

edilen sonuçlara göre, yenilenebilir kaynakların uzun vadede bu şehir için uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kumar vd. (2021) Chennai bölgesinde bir kurumun elektrik yükü talebini karşılamak ve minimum net bugünkü maliyeti (NPC) elde etmek için HOMER Pro yazılımını kullanarak iki optimum sistem modellemiştir. Önerilen sistem modellemelerine göre optimum-1 sistemi için fotovoltaik, rüzgâr türbini ve biyogeneratörün kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %79,41, %0,98, %19,61 ve %92,83, %0,43, %6,75 olarak bulmuşlardır. Optimum-2 sistem modeli için kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %85,86, %2,02, %12,12 ve %93,31, %0,82, %5,87 olarak bulmuşlardır. NPC ve enerji maliyeti (COE) üzerindeki değişimleri bulmak için fotovoltaik, rüzgâr türbini, pil, dönüştürücü, biyogeneratör ve yakıt maliyetini mevcut maliyetinin 0,8 ile 1,2 katı arasında ayarlanarak duyarlılık analizi yapılmıştır. HOMER Pro simülasyon sonucuna göre elde edilen en uygun sistem, 81 kW fotovoltaik, 1 kW rüzgâr türbini, 20 kW biyogaz jeneratörü, 47,3 kW dönüştürücü ve kurşun asit bataryadan (nominal 101 Asa/12V) oluşan optimum-1 sistemi olmuştur. 1,36 kWsa/yıl enerji üretmek için 1,85 \$ net bugünkü maliyet hesaplamışlardır.

Türkdoğan vd. (2020) Manisa'nın Gördes bölgesinde 40 haneli bir topluluğun simüle olarak şebekeden bağımsız bir şekilde elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması için hibrit enerji sistemlerinin ekonomik ve teknik analizlerini HOMER Pro programı kullanarak yapmışlardır. Ortalama 320 kWsa/gün elektrik ve 142,47 kWsa/gün termal yük ihtiyaçlarının olduğu belirlenmiştir. Sonraki aşamalarda ise en uygun sistemin belirlenebilmesi için çeşitli parametreler (dizel fiyatı, jeneratör çalışma yükü, rüzgâr türbini kule yüksekliği vb.) değiştirilerek duyarlılık analizleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda şebekeden bağımsız tasarlanacak sistemin enerji birim maliyet fiyatının değişiklik gösterdiği ve 0,151 kWsa ile 0,198 kWsa arasında olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca enerji nakil hatlarının uzatılarak şebekeye bağlı sistem durumu incelenmiş, Gördes bölgesindeki topluluğun enerji ihtiyacının karşılanması ve termal yük ihtiyacının elektrik enerjisi ile sağlanması durumlarını da incelemişlerdir.

Kırbaş ve Kocakulak (2021) Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu yerleşkesine rüzgâr türbinleri ve güneş panellerinden oluşan HOMER Pro yazılımı ile hibrit bir sistem tasarlamışlardır. Yerleşkenin aylık enerji tüketimleri girilerek 60 kW, 80 kW ve 100 kW kapasitelerinde yalnız rüzgâr, yalnız güneş ve farklı kombinasyonlar ile hibrit santrallerin kurulması varsayımlarını değerlendirmişlerdir. Hibrit santrallerin kurulum maliyeti, bakım maliyeti, 10-25 yıl

sonunda elde edilen kâr miktarı ve sistem amortisman süresi hesaplanmıştır. 60-80-100 kW gücündeki hibrit sistemler arasında amortisman süresi en avantajlı sistem 60 kW'lık sistem, şebekeden alınan enerji bakımından en avantajlı sistemin 100 kW'lık sistem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mohamud vd. (2023) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) kampüsüne HOMER yazılımı kullanılarak yenilenebilir kaynaklarla ve şebekeye bağlı bir mikro şebeke sistemi tasarlamış ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan mikro şebeke sistemi, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbini (RT) üniteleri ile batarya enerji depolama sistemine (BEDS) sahip ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Mikro şebeke sistemi tasarımının amacı, ESOĞÜ kampüsünün elektrik ihtiyacını karşılamak ve elektrikli araç (EV) şarj istasyonlarına enerji sağlamaktır. Yapılan çalışma da hibrit sistemin iki farklı senaryosu oluşturulmuş, enerji maliyeti (COE) hesabı yapılmış, ertelenebilir ve isteğe bağlı EV şarj modları modellenmiştir. Birinci senaryo şebekeye bağlı bir FV ve RT sisteminden oluşmaktadır. Sistemin başlangıç maliyeti 6.667.377 \$, net bugünkü maliyeti 18.225.360 \$ ve kWsa başına enerji birim maliyeti 0,070 \$ olarak hesaplanmış ve basit geri ödeme süresinin 7,1 yıl olduğu belirlenmiştir. İkinci senaryo ise şebekeye bağlı bir FV, RT ve BEDS sisteminden oluşmaktadır. Sistemin başlangıç maliyeti 7.354.081 \$, net bugünkü maliyeti 19.445.850 \$ ve kWsa başına enerji birim maliyeti 0,075 \$ ve basit geri ödeme süresinin 9 yıl olarak hesaplamışlardır. Ertelenebilir ve isteğe bağlı EV şarj modları karşılaştırıldığında, isteğe bağlı şarj modunun hem kullanıcılar hem de mikro şebeke için daha etkili şarj sistemi olduğunu belirlemişlerdir.

Kebede ve Beyede (2018) Etiyopya'nın Nifasso adlı tahmini 1059 nüfusu olan kırsal köyü için elektrik talebini sürdürülebilir şekilde karşılayabilen güneş, rüzgâr, yakıt pili ve güç kaynağı ünitesinden oluşan, sıfır emisyonlu bir hibrit güç sisteminin tekno-ekonomik fizibilite çalışmasını HOMER programı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Hibrit sistem için ana güç güneş ve rüzgâr enerjisinden sağlanırken, şarj edilebilir piller birincil ve yakıt hücresi ikincil depolama birimleri olarak kullanılmaktadır. Elektrik üretimi olmadığı zaman, yük talebini karşılamak için öncelikle şarj edilebilir piller devreye girecek ve izin verilen minimum kapasiteye ulaştığı zaman pil boşalmayı durduracak ve devreye depolanan hidrojeni elektrik enerjisine dönüştüren yakıt hücresi girecektir. Yapılan çalışma sonucunda, yenilenebilir kaynakların %100 katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Bu topluluğun elektrik talebini karşılamak için; 110 kW FV, bir adet PGE 20/25 rüzgâr türbini, 40 kW dönüştürücü, 120 Surrette S6CS25P pil, 5 kW yakıt hücresi, 25 kW elektrolizör ve 15 kg'lık hidrojen tankı gerekmektedir. Hibrit sistemin

başlangıç maliyeti 465.100 \$, işletme ve bakım maliyeti 6.215 \$ ve kWsa başına enerji birim maliyeti 0,313 \$ olarak hesaplamışlardır.

Kahraman (2018), Kütahya ilinin yenilenebilir enerji potansiyellerinin teknik ve ekonomik analizi HOMER ve RETScreen yazılımı kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada güneş enerji santrali ve rüzgâr enerji santrali için ayrı ayrı fizibilite çalışması ve maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi, iç kârlılık oranı ve net bugünkü değeri hesaplamıştır. Ayrıca iki ayrı senaryo oluşturarak sistemlerin sürdürülebilirliklerini incelemiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulu gücü 1 MW seçilmiştir. Yapılan teknik ve ekonomik analiz sonucunda rüzgâr enerjisi santralinin; geri ödeme süresi 15 yıl, net bugünkü değer -375.859 \$ ve iç kârlılık oranı %5,9, güneş enerjisi santralinin; geri ödeme süresi 11 yıl, net bugünkü değer -13.642 \$ ve iç kârlılık oranı % 9,8 olarak hesaplamıştır. Bu bölge için güneş enerjisi santrali kurulumunun iklim şartları altında uygulanabilir ve daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Rahmat vd. (2022) Malezya’da farklı senaryolar için en iyi yenilenebilir enerji teknolojisi kombinasyonlarını bulmayı amaçlamaktadırlar. HOMER Pro yazılımı kullanılarak Malezya’nın çeşitli kentlerinde yenilenebilir enerji sistemlerine yapılan yatırımlar incelenerek analiz edilmektedir. Yapılan analiz sonucunda fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) hibrit sistemin, en iyi net şimdiki maliyet değeri, düşük amortisman süresi ve düşük emisyon değeri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Oulis Rousis vd. (2018) şebeke bağlantısı olmayan bir adada, topluluk için otonom hibrit AC ve DC mikro şebeke tasarımı yapmışlardır. Güneş ışığının az olduğu yerlerde uzun süreli kesintisiz güç kaynağı sağlamak için fotovoltaik sistem, dizel jeneratör ve batarya enerji depolama cihazlarından oluşan bir sistem tasarlamışlardır. Temel amaçları sistem maliyetini minimum düzeye çekip, çekilen yükün aynı kalmasıdır. Bunun için türevsiz bir optimizasyon yöntemi ve HOMER Pro yazılımı kullanarak en düşük sistem maliyet hesabı yapmaktır. Yakıt fiyatları ve FV üretimine ilişkin belirsizliğe karşı duyarlılık analizi yapmışlardır.

Ahamed vd. (2021) artan enerji talebiyle ilişkili olarak, gelecekte enerji santrali olarak kullanılacak yenilenebilir enerji verimliliğine sahip yerin, gerçek zamanlı güneş ve rüzgâr verileri kullanılarak, HOMER yazılımı ile hibrit mikro şebeke optimizasyon modellemesini yapmışlardır. Hibrit mikro şebeke sistem bileşenlerinin boyutu, sistem maliyeti, nakit akışı ve devamlılık gibi faktörlerin tümünü optimize etmişlerdir.

Çakmak vd. (2020), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacını, hibrit sistemlerle karşılamak için ekonomik analiz temelli

optimizasyon çalışması yapmışlardır. Simüle olarak yapılan çalışmada en optimum ve gerçeğe yakın bir çalışma yapmak için HOMER programını kullanmışlardır. Amortisman süreleri dikkate alınarak kurulum planlaması maliyet analizi sonuçları karşılaştırılarak tüm farklı senaryoları hesaplamışlardır.

Yılmaz vd. (2023) İzmir ili endüstriyel bölgesinde, elektrik ihtiyacının karşılanması için şebeke bağlantılı hibrit enerji sistem tasarımı yapmışlardır. Yapılan tasarımda, ilgili bölgenin enerji ihtiyacının karşılanması, birim elektrik maliyetini minimize etmek ve karbon emisyon değerinin azaltılması amaçlanmıştır. Beş farklı senaryo tasarlanmış, ekonomik ve çevresel analiz yapılmıştır. Kullanılan bileşenler güneş paneli, rüzgâr türbini, dönüştürücü ve bataryadır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda; birim enerji maliyeti, net şimdiki maliyet, başlangıç maliyeti ve yıllık emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. En verimli sistemin, bataryalı hibrit enerji sistemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Güven ve Poyraz (2021) Muğla'nın Köyceğiz ilçesinin elektrik ihtiyacını karşılamak için, şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemlerinin tekno-ekonomik analizleri ve çevresel karşılaştırmalarını yapmışlardır. Günlük ortalama 150.000 kWsa olan ilçe için güneş paneli, rüzgâr türbini ve bataryadan oluşan hibrit enerji sistemi tasarlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, birim enerji maliyetinin 0,182 \$/kWsa olarak hesaplanmış ve yakıt maliyeti, indirim, enflasyon oranları gibi parametrelerin değiştiği durumlarda maliyetin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Tabak (2020), Konya'daki bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için, şebekeye bağlı fotovoltaik (FV) sistem, akü ve dizel jeneratörlerden oluşan hibrit bir sistemi HOMER yazılımı kullanarak, analiz etmiş ve tasarlamıştır. Konya'nın enerji potansiyelini incelemiş, fabrikanın fiziksel ve ekonomik kısıtlarını göz önünde bulundurmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre fabrikanın ortalama elektrik ihtiyacının, 1 MWh/gün olduğu hesaplanmış ve bunun için 3500 kW FV sistem, 2400 kW dizel jeneratör, 55 kWsa kapasiteli batarya ve 2885 kW gücünde konvertör hibrit sistemi tasarlamıştır. Hibrit enerji üretim sistemi ile fabrikanın elektrik ihtiyacının güvenilir şekilde karşılandığı sonucuna ulaşmıştır.

Mamur vd. (2020), Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin (Kozlu EML) elektrik ihtiyacının karşılanması için güneş ve rüzgâr enerji kaynakları kullanılarak bir fizibilite çalışması yapmışlardır. Kozlu EML'nin, günlük, aylık ve yıllık tüketilen enerji miktarı hesaplanmış, şebekeye bağlı fotovoltaik ve rüzgâr türbin sisteminden oluşan hibrit bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem; rüzgâr türbini 36 kW boyutunda,

fotovoltaik sistem 23 kW boyutunda ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Yapılan analiz sonucunda hibrit sistemin Kozlu EML'nin enerji ihtiyacını karşılayabildiğini gözlemlemişlerdir.

Aykut (2019), Marmara Üniversitesi Göztepe Yerleşkesinin enerji ihtiyacının, konvansiyonel enerji kaynakları ile karşılanması yerine, yenilenebilir enerji kaynakları temelli hibrit bir güç üretim sistemi önermiştir. Bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelini detaylı olarak incelemiş ve HOMER yazılımı ile tüm hibrit güç üretim senaryolarını analiz etmiştir. Güneş, rüzgâr ve biokütle enerji kaynakları ile yerleşkenin enerji ihtiyacının karşılanabileceğini, yaptığı analizler ile hesaplamıştır. Ayrıca başlangıç maliyeti, bugünkü toplam net maliyet, bakım onarım maliyetini ve karbon emisyon oranını içeren çevresel parametreleri de incelemiştir.

Ulutaş (2015), kırsal tesisler için güneş ve rüzgârdan elektrik üretebilen hibrit enerji sistemi tasarlamış ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Hibrit sistemin tasarımını Matlab/Simulink programında gerçekleştirmiş ve farklı senaryolara göre analiz etmiştir. Hibrit sistemde fotovoltaik ve rüzgâr türbin sistemi ayrıca depolama sistemi olarak ta aküler kullanmıştır. Aküler de enerji olmadığı durumda, yüklere enerji şebekeden karşılanmaktadır. Üretilen enerji miktarı, akım ve güç değerleri anlık, günlük, haftalık ve aylık olarak, akü grubunun da anlık olarak doluluk oranı ve şarj olma durumu verilerini incelemiştir.

Sawle vd. (2018) Hindistan'ın Barwani bölgesine fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sistemlerinden oluşan hibrit bir sistemin yapılandırması, kontrol stratejisi ve tekno-ekonomik analizini, HOMER yazılımı ve parçacık sürücü optimizasyonu (PSO) yöntemi kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda, HOMER'e kıyasla PSO yöntemini kullanan, çeşitli hibrit sistem konfigürasyonları arasında enerji maliyeti, birim enerji maliyeti, işletme maliyeti, ortalama elektrik verimliliği ve emisyon açısından en tekno-ekonomik uygulanabilir çözüm olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Muh ve Tabet (2019) Kamerun'un Wum bölgesinde, hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Yapılan analizler HOMER programı ile gerçekleştirilmiştir. Hibrit sistem bileşenleri; fotovoltaik modül, rüzgâr türbini, mikro hidro türbin, dizel jeneratör, akü, şarj kontrolörleri ve invertörlerdir. Dokuz farklı senaryo gerçekleştirilmiştir. Her bir senaryoda iki enerji kaynağı ve akü kullanılmıştır. Optimum sistem olarak FV-dizel jeneratör-mikro hidro türbin-akü sistemi belirlenmiştir. Wum bölgesi için en ekonomik sistem birim enerji maliyetini, 0,0443 \$/kWsa olarak hesaplamışlardır.

Qi vd. (2022) Çin'in Qingdao kentindeki bir adanın, hibrit yenilenebilir enerji sistemi (HYES) uygulamasının ekonomik analizini yapmışlardır. Hibrit sistem fotovoltaik sistemler (FV), rüzgâr türbinleri (RT), dizel jeneratörler (DJ) ve batarya enerji depolama sisteminden (BEDS) oluşmaktadır. Yapılan analiz sonucunda, uygun bir HYES için FV (110 kW)/DJ (210 kW)/BEDS (355 kW) boyutlarında hibrit sistemin kullanılması gerektiği, birim enerji maliyetinin 0,153 \$/kWsa olduğu ve CO₂ emisyon oranını yılda 235,495 kg azaltabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca BEDS içeren HYES'ler, BEDS içermeyen HYES'lere göre yakıt kullanımı ve sera gazı açısından önemli avantajlara sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Murugaperumal ve Raj (2019) kırsal alan elektrikleştirme uygulamaları için hibrit yenilenebilir enerji sisteminin (HYES), optimal tasarımı ve tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Bölge olarak Hindistan'ın Pondicherry bölgesinde, uzak bir köy olan Korkadu köyü seçilmiştir. Köyün günlük elektrik yükü 179,32 kWsa ve pik yük 19,56 kWsa'tır. Hibrit sistem bileşenleri fotovoltaikler, rüzgâr türbinleri, biokütle güç jeneratörü ve pil'dir. Köyün yük artışı yapay sinir ağı geri bildirim yayılımı ve Levenberg-Marguart veri eğitimi optimum tekniği ile tahmin etmişlerdir. Farklı HYES konfigürasyonları için HOMER yazılımı kullanmışlardır. Sistemin toplam net maliyetinin 1,21 milyon Hindistan rupisi (INR), birim enerji maliyetinin 13,71 INR ve yıllık pil veriminin 36,648 kWsa olduğunu hesaplamışlardır.

Awan (2019) Suudi Arabistan'da, yeni önerilen büyük şehir NEOM için hibrit yenilenebilir enerji sisteminin (HYES) performans analizini yapmayı ve değerlendirmeyi amaçlamıştır. Fotovoltaik sistemlerin, rüzgâr türbinlerinin, konvertörlerin, dizel jeneratörlerin ve pillerin olduğu hibrit bir sistem tasarlamıştır. Tasarlanan sistem boyutu, 1353 kW pik yükü karşılayacak şekilde seçilmiştir. Önerilen HYES'in, net şimdiki maliyetini hesaplamış, optimize edilmiş elektrik gücü, ekonomik ve karbon emisyon analizlerini yapmıştır. Optimum sistem, 500 kW ve 1 MW boyutunda iki jeneratör, bir adet 1,65 MW boyutunda V82 rüzgâr türbini, 100 kW'lık fotovoltaik, 200 kW boyutunda konvertör ve 100 bataryadan oluşmaktadır. Optimum sistem net şimdiki maliyeti 8,13 milyon \$ ve birim enerji maliyeti 0,164 \$/kWsa olarak hesaplamıştır. Karbon emisyon analizinde, %46,5'lik bir azalma olduğunu gözlemlemiştir.

Singh vd. (2017) Hindistan'da 23° 12' K enlem ve 77° 24' E boylamında bulunan akademik araştırma binasının, elektrik yükünü karşılayabilmek için hidrojen yakıt hücresi ve fotovoltaik sistem ile hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tekno-ekonomik fizibilite analizini yapmışlardır. Bulanık mantık yöntemi ile bileşenlerin optimum sermaye ve

değiştirme maliyetini, HOMER Pro yazılımı ile hibrit sistemin optimum performansını analiz etmişlerdir. Yapılan analiz sonucunda, hidrojen yakıt hücresi ve akü'lerin gece geç saatlerde ve sabahın erken saatlerinde yük talebini karşılamak için hibrit sistemin en önemli bileşenleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Garcia-Vazquez vd. (2022) Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı, araçtan eve (Vehicle to Home-V2H) uygulamalarında bir ev için, hibrit yenilenebilir enerji sisteminin fizibilite analizini HOMER yazılımı kullanarak yapmışlardır. Sistem bileşenleri rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve bataryadır. Araçtan eve uygulamasını, enerji yönetimini iyileştirmek için ve HOMER yazılımını ise hibrit sistem optimum boyutlandırması için kullanmışlardır. Üç senaryo ele alınmış ve araçtan eve uygulamasının hibrit sistem boyutlandırmasını etkilemediğini gözlemlemişlerdir.

Shezan vd. (2017) Avusturalya Brisbane kentinde, akıllı şebeke hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tekno-ekonomik analizini HOMER yazılımı kullanarak yapmışlardır. Akıllı şebeke hibrit enerji sistemini, ortalama 34 kWsa/gün ve 4,6 kW pik yük dikkate alarak küçük bir topluluğun elektrik ihtiyacını destelemek için tasarlamış ve simüle etmişlerdir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde net bugünkü maliyet ve karbondioksit değerinin geleneksel enerji santrallerine göre yılda yaklaşık %29,65 oranında azalttığı ve önerilen sistemin ekonomik ve çevresel açıdan uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Krishan ve Suhag (2019) Hindistan'ın Haryana Eyaletindeki Yamunanagar bölgesindeki enerji açısından fakir bir topluluğun, konut ve tarımsal elektrik ihtiyacını karşılamak için şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tekno-ekonomik analizini ve optimum tasarımını HOMER yazılımı ve MATLAB uygulamasını kullanarak yapmışlardır. Üç farklı senaryo vardır; rüzgâr türbini-batarya, fotovoltaik-batarya ve rüzgâr türbini-fotovoltaik-batarya'dır. Simülasyon sonuçlarında, rüzgâr-fotovoltaik-batarya seçiminin en uygun maliyetli konfigürasyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Riayatsyah vd. (2022) Syiah Kuala Üniversitesi için şebekeye bağlı fotovoltaik (FV), rüzgâr türbinleri (RT) ve akülerden oluşan hibrit bir sistemin tekno-ekonomik performans ve optimizasyon analizini HOMER programı kullanarak yapmışlardır. Optimizasyon sonuçlarına göre Üniversitenin elektrik yükünü %62 oranında FV, %20 oranında RT karşılamış, yenilenebilir enerji kullanım oranı tüm sistemin %82'sini oluşturmuştur. Birim enerji maliyeti 0,060 \$/kWsa'ten, 0,0446 \$/kWsa'e düşmüştür. Endonezya'da yenilenebilir enerji kullanım oranının düşük olmasının sebebinin, ülkede

bol miktarda bulunan kömür kullanılarak üretilen elektriğin ucuz olması sonucuna ulaşmışlardır.

Rahman vd. (2016) Kanada Ontario'daki uzak topluluk için şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin uygulanmasını değerlendirmeyi ve elektrik talebini güvenilir bir şekilde karşılamak için en iyi hibrit enerji kombinasyonunu önermeyi amaçlamışlardır. Yedi adet senaryo geliştirmişlerdir: 1-) %100 yenilenebilir kaynak, 2-) %80 yenilenebilir kaynak, 3-) %65 yenilenebilir kaynak 4-) %50 yenilenebilir kaynak, 5-) %35 yenilenebilir kaynak, 6-) %20 yenilenebilir kaynak, 7-) akülü dizel jeneratörler (%0 yenilenebilir kaynak). Hibrit sistem boyutlarını, 772 kW pik yük ve 4,4 MWsa/gün birincil yük ihtiyacını karşılayacak şekilde seçmişlerdir. Güneş ışınımının, rüzgâr hızının, dizel fiyatının ve CO₂ etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizi yapmışlardır.

Doshi ve Harish (2021) DC mikro şebeke için hibrit yenilenebilir enerji sisteminin analizini yapmışlardır. Simülasyon tabanlı entegre yenilenebilir enerji sistem modelini MATLAB/Simulink uygulamasını kullanarak geliştirmişlerdir. Sistem bileşenleri fotovoltaik, rüzgâr türbini, lityum-iyon bataryadan oluşmaktadır. Geliştirilen sistem sıfır karbon emisyonlu bir mikro şebeke olarak çalışmaktadır.

Bu çalışmada ise Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü için elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacını karşılamak ve yenilenebilir kaynaklarla kendi elektrik enerjisini üreterek düşük emisyon değerli hibrit bir sistem tasarlamak amacıyla; yalnız fotovoltaik sistem, yalnız rüzgâr türbin sistemi ve hibrit sistem senaryoları ayrı ayrı ele alınmış, fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Sermaye maliyeti, seviyelendirilmiş enerji maliyeti, amortisman süresi gibi değerler hesaplanmıştır. Aylık enerji alış-satış değerleri ve emisyon değerleri incelenmiştir. Maliyet analizi ve teknik analiz yapılırken HOMER Pro programından yararlanılmış ayrıca RETScreen programı ile teyit edilmiştir.

2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi

19. yüzyılın ikinci çeyreği elektrikli araçların doğuşu olarak kabul edilir. 1828 yılında Macar asıllı Anyos Jedlik, küçük ölçekli elektrik motorlu bir araç icat etmiştir. Aracın elektrik motorunu kendisi tasarlamıştır. Ardından Hollandalı Profesör Stratingh 1835 yılında başka bir elektrikli araç tasarlamıştır. Fransız mucit Gustave Trouvê, Kasım 1881'de Paris'te düzenlenen Uluslararası Elektrik Sergisi'nde 3 tekerlekli elektrikle çalışan araç tanıtımı yapmıştır (Chan, 2012). İngiltere ve Fransa elektrikli araçların ilk tanıtımını yapan ülkelerdir. Elektrikli araçlara olan ilgi 19. yüzyılın son dönemleri ve 20.

yüzyılın başlarında olmuştur. Electrobat, ilk elektrikli araçlardan biridir ve 1894 yılında Morris ve Salom tarafından üretilmiştir (Ünlü vd., 2003; Kerem, 2014). İlk elektrikli araçlar genellikle şehirlerde taksi olarak kullanılmıştır (Putnieks, 2012). 1897’de İngiltere’deki “Londra Elektrikli Taksi Şirketi” 15 adet taksiyi ticari olarak faaliyete geçirmiştir.

20. yüzyılın başlarında, 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları icat etmişlerdir. İlk defa hibrit konfigürasyon denenmiş ve geliştirilmiştir. Aynı dönemlerde deneysel olarak ilk hibrit elektrikli aracın tasarımını Ferdinand Porsche yapmıştır ve araca Mixt Wagen adını vermiştir ve elektrik motoru ile benzinli motor birlikte kullanılmıştır (Ünlü vd., 2003; Kerem, 2014). Elektrikli araçlara olan ilgi 1920’lerden 1960’lara kadar azalmıştır. Bunların başlıca sebepleri, Amerika Birleşik Devletleri’nin şehirlerarası gelişmiş yol sistemine sahip olmasından dolayı uzun menzilli araçlara ihtiyaç duyulması, içten yanmalı motorlu araçların seri üretime geçmiş, uygun maliyetli ve kullanılabilir olması, Teksas ham petrolünün keşfi ile benzin fiyatlarının uygun hale gelmesidir. Elektrikli araçlar 1935 yılından 1970’lerin başlarına kadar ortadan kaybolmuştur. 1970’lerde Orta Doğu’daki petrol krizi nedeniyle EV’ler tekrar canlanmıştır. Amerika, Avrupa ve Japonya’da 4 EV geliştirme dalgası olmuştur. Birinci dalga 1960’larda, ikinci dalga 1973’ten sonra, üçüncü dalga 1979’dan sonra ve dördüncü dalga 1990’larda gelmiştir (Leitman ve Brant, 2008; Kraft, 2009).

1980’lerde sera etkisi ve hava kalitesinin olası sonuçları konusunda artan endişe sebebiyle EV’ler hükümetlerin ilgisini çekmiş ve elektrikli araç programlarına maddi destekler verilmeye başlanmıştır. 1988 yılında ABD Enerji Bakanlığı sponsorluğunda Ford-General Electric firmaları tarafından ETX-1 aracı üretilmiştir. Bu araçta AC elektrikli motor geliştirilmiş ve sodyum-sülfür batarya kullanılmıştır. Aynı yıl geliştirilen ETX-2 modeli 160 km menzili sahip ve saatte 96 km hıza ulaşabilmektedir. Fransa ve Almanya’da 1988’de çeşitli elektrikli araçlar deneysel olarak kullanılmıştır. 1990’dan sonra yakıt tasarrufu sağlanması, yeşil enerjiyi desteklemesi noktasında ve batarya teknolojisinin gelişmesiyle çok sayıda araç üreticisi elektrikli araç geliştirmiştir (Ustabaş, 2014). Peugeot 106 Electric, Ford Think City, GM EV1, Nissan Hipermini, Toyota RAV4 gibi örnekleri vermekle birlikte, prototip ve deneysel amaçlarla üretilmiş birçok elektrikli araç bulunmaktadır. Bu elektrikli araçlar, AC indüksiyon motor veya sürekli mıknatıs senkron motor kullanmışlardır. Toyota Prius, 1997’de piyasaya sürüldüğünden beri modern hibrit araçların ilki kabul edilmektedir. 1999’da Honda Insight ve Civic HEV de piyasaya sunulmuştur.

2010 yılında General Motors Chevy Volt'u çevre dostu motor teknolojisiyle 111 kW'lık sürekli mıknatıs senkron motor kullanılmış ve saatte 161 km hıza sahiptir. Günümüze kadar 125 kW motor gücüne sahip ve 240 km menzili olan BMW i3 ve 160 km menzilli Mitsubishi i-MiEV araçları da sürekli mıknatıs senkron motor kullanılarak üretilmiştir (Özbey, 2020). Tesla Roadstar, 2006'da tanıtılan ve 2008-2012 yılları arasında üretilmiş bir araç olup; lityum-iyon batarya ile beslenen 3 fazlı, 4 kutuplu, 185 kW gücünde bir AC motor ile 393 km menzil sağlamakta ve maksimum hızı saatte 201 km'dir. Tesla tarafından 2017 yılında piyasaya çıkan Model 3, performans modunda saatte 261 km hıza çıkabilmekte ve uzun menzil batarya seçenekleriyle 560 km mesafe gidebilmektedir. 2023'te satışa çıkan Tesla Model S Plaid elektrikli aracı, 560 km menzile sahip ve saatte 282 km hıza ulaşabilmektedir (Anonymous, 2023). Ayrıca ülkemizde üretilen Togg marka %100 elektrikli otomobilin T10X modeli, 88,5 kWsa batarya kapasitesine sahip uzun menzil batarya seçeneğiyle 523 km mesafe gidebilmekte ve saatte 185 km hıza ulaşabilmektedir.

2.2. Elektrikli Araçların Sınıflandırılması

Elektrikli araçlar, onları çalıştıran elektrik ve yakıt enerjisinin kombinasyonuna bağlı olarak dört ana kategoriye ayrılmaktadır.

2.2.1. Bataryalı elektrikli araç (BEV)

Bataryalı elektrikli araç (BEV), yalnızca bir elektrik motoruna ve enerji depolama sistemine (ESS) bağlıdır ve geleneksel içten yanmalı motora (ICE) ihtiyaç duymaz. Bittiklerinde pillerini yeniden şarj etmek için bir elektrik kaynağına takılırlar (Arif vd., 2021). BEV'ler ayrıca aracın yavaşlamasına yardımcı olmak ve genellikle frenler tarafından ısı enerjisine dönüştürülen enerjiyi geri kazanmak için aracın elektrik motorunu kullanan rejeneratif frenleme işlemi yoluyla pillerini şarj ederler. Aracın menzili batarya kapasitesine bağlıdır. BEV'ler sıfır emisyon, düşük işletme maliyeti, hızlı ve yumuşak hızlanma, gaz veya benzin ikmaline gerek duymayan avantajlara sahiptir. Dezavantajları ise ICE tabanlı araçlara göre kısa sürüş menzili ve ICE tabanlı araçlardan daha pahalıdır (Ehsani vd., 2018). Çizelge 2.1'de Bataryalı elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bataryalı elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Ehsani vd., 2018)

Avantaj	Dezavantaj
Sıfır emisyon	ICE tabanlı araçlara göre kısa sürüş menzili
Düşük işletme maliyeti	ICE tabanlı araçlardan daha pahalıdır
Hızlı ve yumuşak hızlanma	
Gaz veya benzin ikmaline gerek yok	

2.2.2. Hibrit elektrikli araç (HEV)

Hibrit elektrikli araçlar (HEV'ler), yakıt depolu ICE ve ESS'li elektrik motoru olmak üzere iki sürüş sistemine sahiptir. Hem ICE hem de elektrik motoru aracı aynı anda hareket ettirmektedir. HEV'ler elektrik şebekesinden şarj olma özelliği yoktur, tüm sürüş enerjisi yakıttan ve araçtaki rejeneratif frenleme işleminden gelmektedir (Lowry ve Larminie, 2012; Khalid vd., 2021). HEV'lerin avantajları, BEV'lerden daha uzun sürüş menziline, ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimine ve ICE tabanlı araçlardan daha düşük emisyon değerine sahiptir. Dezavantajları ise çevre kirliliği ortadan kalkmamakta, BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalı ve çalışma mekanizması karmaşıktır. Çizelge 2.2'de hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları verilmiştir (Khalid vd., 2021).

Çizelge 2.2. Hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Khalid vd., 2021)

Avantaj	Dezavantaj
BEV'lerden daha uzun sürüş menzili	Çevre kirliliği ortadan kalkmaz
ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimi	BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalıdır
ICE tabanlı araçlardan daha düşük emisyon değeri	Çalışma mekanizması karmaşıktır

2.2.3. Plug-In hibrit elektrikli araç (PHEV)

Plug-in hibrit elektrikli araç içten yanmalı motor ile birlikte ESS kullanmaktadır. PHEV'de içten yanmalı motora sahip olma özelliği, onu uzun mesafeli yolculuklar için daha uygun bir seçenek haline getirmektedir. EV şarj cihazı ile şarj edilebilmektedir. Elektrik aralığını genişletmek için HEV'e kıyasla daha büyük elektrik motor gücü, daha

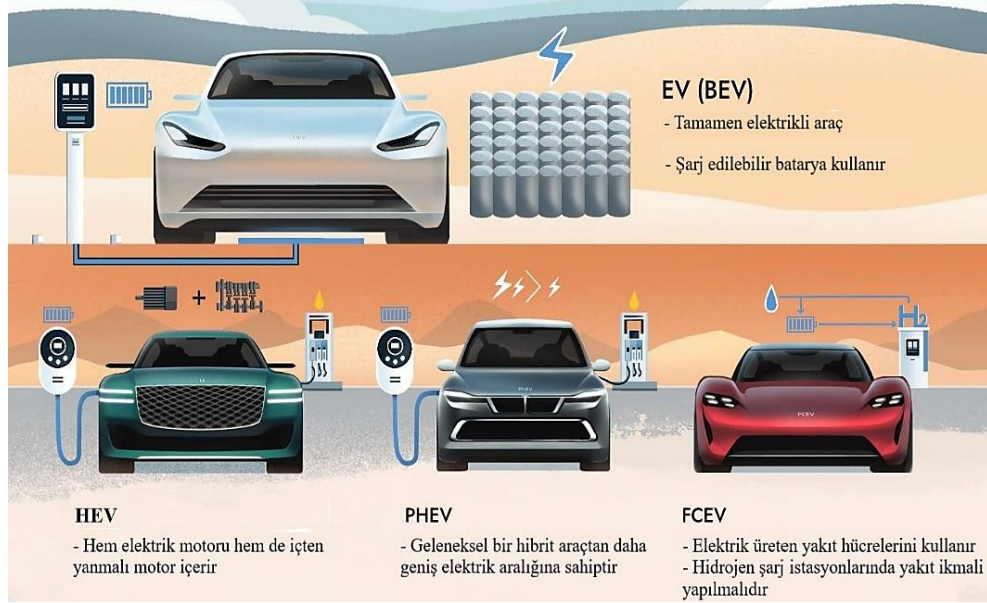
küçük ICE ve daha büyük pil kapasitesi vardır (Nour vd., 2020). PHEV avantajları uzun sürüş menzili, geleneksel ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimi ve düşük emisyon değeridir. Dezavantajları ise çevre kirliliği ortadan kalkmaz ayrıca BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalıdır. Çizelge 2.3'te plug-in hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları görülmektedir (Nour vd., 2020).

Çizelge 2.3. Plug-in hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları (Nour vd., 2020).

Avantaj	Dezavantaj
Uzun sürüş menzili	Çevre kirliliği ortadan kalkmaz
Geleneksel ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimi	BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalıdır
Düşük emisyon değeri	

2.2.4. Yakıt hücresli elektrikli araç (FCEV)

Yakıt hücresli elektrikli araç (FCEV), BEV gibi elektrik motorundan desteklenmektedir, ancak batarya yerine bir yakıt hücresi kullanılmaktadır. Araca hidrojenle yakıt ikmali yapılmakta ve yakıt hücresi, hidrojen gazı kimyasal enerjisini EV motoruna güç veren elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Egzoz borusundan sadece su buharı çıkmaktadır (Bayram, 2020). Dört farklı elektrikli araç sınıflandırmasında BEV'ler tamamen elektrikli araçtır, şarj edilebilir batarya kullanır. HEV'ler hem elektrikli motoru hem de içten yanmalı motor içermektedir. PHEV'ler geleneksel bir hibrit araçtan daha geniş elektrik aralığına sahiptir. FCEV'ler elektrik üreten yakıt hücrelerini kullanmakta ve hidrojen şarj istasyonlarında yakıt ikmali yapılmalıdır. Şekil 2.1'de elektrikli araçların sınıflandırılması görülmektedir (Laukkonen, 2021) .



Şekil 2.1. Elektrikli araçların sınıflandırılması (Laukkonen, 2021)

2.3. Elektrikli Araç Şarj Teknolojisi

Elektrikli araçların şarj ihtiyaçları, farklı sürüş modellerinden araç marka ve teknik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle, ihtiyaçları karşılamak için farklı tipte şarj istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şarj istasyonları, elektrikli aracı şarj etmek için her türlü cihazı ifade etmektedir (Zhang vd., 2019). EV'nin şarj edilmesi, tek yönlü veya çift yönlü güç akışı özelliklerine sahip tek fazlı veya üç fazlı şarj cihazları ile gerçekleştirilmektedir (Chen vd., 2021). EV şarj cihazları iletken ve endüktif şarj cihazları olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.1. İletken (Kablolu) şarj

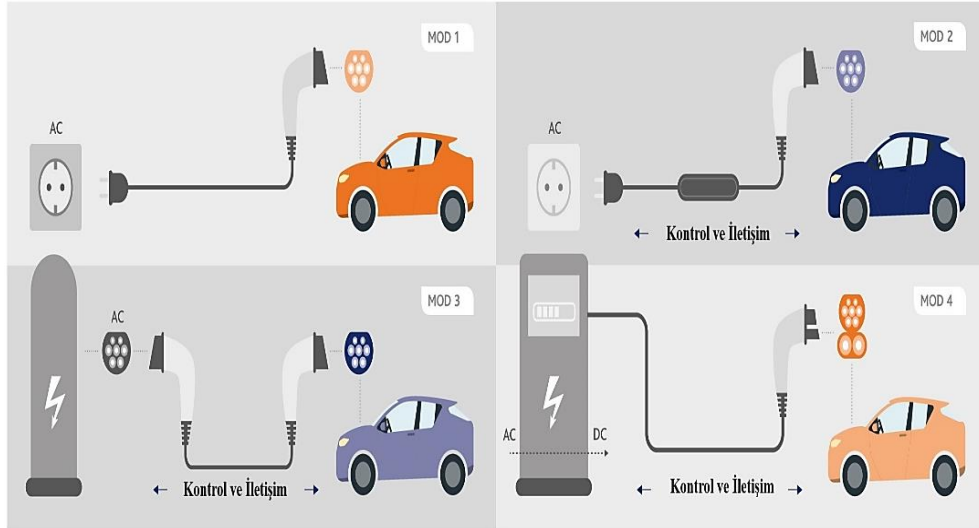
İletken şarj, gücü aktarmak için elektrik şebekesi ile EV arasında doğrudan kablolu temas içermektedir. Bu şarj yöntemi oldukça verimli ve sağlamdır. İletken şarj cihazları, yerleşik ve araç dışı şarj altyapıları olarak sınıflandırılmaktadır. Yerleşik şarj cihazları, ağırlık, alan ve boyut üzerindeki kısıtlamalar nedeniyle EV ile entegre edilmiştir ve bu tür şarj cihazlarının maliyet güç seviyesi sınırlıdır. Araç dışı EV şarj cihazları ise boyutları, ağırlıkları ve alanları konusunda herhangi bir kısıtlama yoktur çünkü bu şarj cihazları EV'nin ayrılmaz bir parçası değildir (Khaligh ve Düşmez, 2012). Hastaneler, alışveriş merkezleri ve üniversiteler gibi halka açık park yerlerine kurulurlar.

Elektrikli araç şarj modları IEC 62196 uluslararası bir standardında şarj modları üzerine çalışmalar yapmaktadır. Elektrikli araç bataryaları doğru akım (DC) ile şarj edilmektedir. Mod 1, 2 ve 3 şarj işlemleri süresince, şebekeden gelen alternatif akım (AC), doğru akıma (DC) araç üzerinde dönüştürülürken, mod 4 şarj işleminde, bu dönüşüm istasyon üzerinde yapılmaktadır (Karapınar ve Daldaban, 2022).

Mod 1, elektrikli aracın güvenlik protokolü olmadan doğrudan AC bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Akım 16 ampere (A) kadar, gerilim ise 120 veya 240 volt (V) ile sınırlandırılmıştır. Topraklama gereklidir ancak çoğu prizde topraklama olmamasından ya da eksik olmasından dolayı mod 2 geliştirilmiştir (Brenna vd., 2020). Mod 2 topraklama tespiti, aşırı akım koruması, sıcaklık limitleri dâhil olmak üzere güvenlik protokolleri ile standart bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Akım 32A'ye kadar, gerilim ise 120V veya 240V ile sınırlandırılmıştır (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

Mod 3 şarj AC priz yerine Mennekes tipi bir konnektörle bağlantı yapılmaktadır ve şarj istasyonuna bağlanmalıdır. Konnektörün yedi pini bulunmaktadır. Bu pinler üç ayrı fazı (L1, L2, L3), nötr bağlantısını (Neutral), topraklama bağlantısını, kontrol ve haberleşme pinlerini (Proximity & Control Pilot) oluşturmaktadır. Bu şarj modunda araç istasyona bağlandığında bir haberleşme başlar ve aracın batarya durumuna ve gücüne göre istasyondan kendi içinde akımı ayarlayarak araca aktarmaktadır (Özbey, 2020). Ayrıca enerji kaynağı tarafından da sistem korumaları (kaçak akım, aşırı akım, parafudr, vb.) bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı mod 2 şarj tipine göre daha güvenli ve daha hızlı şarj imkânı sunar. 16A veya 32A, 240V şarja izin vermektedir (Eşarj, 2023).

Mod 4 şarj ise 400V, 400A'ye kadar DC hızlı şarj olarak tanımlanmaktadır ancak hem güvenlik sebebiyle hem de maliyet açısından 75A'ye kadar izin verilmektedir. Avrupa ve Asya ülkelerinde farklı standartlar da şarj soketleri bulunmaktadır (Hall ve Lutsey, 2017). Mod 1, Mod 2, Mod 3 ve Mod 4 elektrikli araç şarj uygulamaları Şekil 2.2'de görülmektedir (Velatia, 2022).



Şekil 2.2. Elektrikli araç şarj modları (Velatia, 2022)

Mod 1 AC şarjında 120-240 V gerilim ve 1.4-1.9 kW güç değerine sahiptir. Ev veya ofis kullanım alanlarıdır. Şarj süresi 4-11 saat arasındadır. Mod 2 AC şarjında 240 V gerilim ve 4-19.2 kW güç değerine sahiptir. Ev, işyeri ve kamu kullanım yerleridir. Şarj süresi 1-6 saat arasındadır. Mod 3 DC şarjında 400 V gerilim ve 50-100 kW güç değerine sahiptir. Kullanım yerleri kamu ve şehirlerarasıdır. Şarj süresi 0.4-1 saat arasındadır. Çizelge 2.4'te elektrikli araç şarj seviyeleri görülmektedir (Khalid vd., 2021).

Çizelge 2.4. Elektrikli araç şarj seviyeleri (Khalid vd., 2021)

Şarj Seviyesi	Gerilim (V)	Güç (kW)	Kullanım Yeri	Şarj Süresi
Mod 1 (AC)	120-240	1.4-1.9	Ev veya ofis	4-11 saat
Mod 2 (AC)	240	4-19.2	Ev, işyeri ve kamu	1-6 saat
Mod 3 (DC)	400	50-100	Kamu, şehirlerarası	0.4-1 saat

2.3.2. CHAdeMO

2010 yılında Toyota Motor Corporation ile Nissan Motor Co. Ltd., iş birliği yapmak için Fuji Heavy Industries Ltd. ve Tokyo Electric Power Company ile CHAdeMO derneğini kurdu. CHAdeMO, IEEE standartlarının (IEEE standardı 2030.1.1 TM-2015), IEC standartlarının (61851-23-6) ve endüstri standartlarının (61851-23,-24 ve 62196-3) bir parçasıdır. 200 kW ile 400 kW arasında güç işleme kapasitesine sahip ilk DC standarttır. Adını, “CHARge de MOve’nin” kısaltmasından almıştır (Kettles, 2015).

2.3.3. CCS combo 1

Elektrikli araç arabirimi girişimi, Audi, BMW, Daimler, Mennekes, Opel, Phoenix Contact, Porsche, Volkswagen tarafından oluşturulan ve CharIN EV olarak adlandırılan tescilli bir kuruluştur. ChargeIN, Combotype konnektörlerini denetleyen kuruluştur. Kombine şarj sistemi konnektörü (CCS), aynı anda AC ve DC şarjı gerçekleştirme avantajına sahiptir. IEC 62196-1, IEC 62196-2, IEC 62196-3 standartlarına sahiptir (Mastoi vd., 2022).

2.3.4. SAE J1772

SAE (Society of Automotive Engineers), Otomotiv Mühendisleri Derneği adını İngilizce baş harflerin kısaltmasından almıştır. İlk olarak 1905 yılında kurulmuştur. SAE J1772 geliştirilmesi için ilk teşvik Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu'ndan (CARB) gelmiştir. 5 pinli yapıya sahip ve AC şarjı desteklemektedir (Kuşdoğan, 2017).

2.3.5. IEC 62196

IEC (International Electrotechnical Commission), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu 1906 yılında kurulmuş, elektrik ve elektronik ile ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standartları hazırlayan ve yayımlayan uluslararası bir organizasyondur. IEC 62196 elektrikli araç şarjı için prizler, fişler, araç konnektörleri ve araç girişleri için gereklilikleri ve testleri tanımlayan uluslararası bir standarttır (Kettles, 2015).

2.3.6. Tesla konnektörü

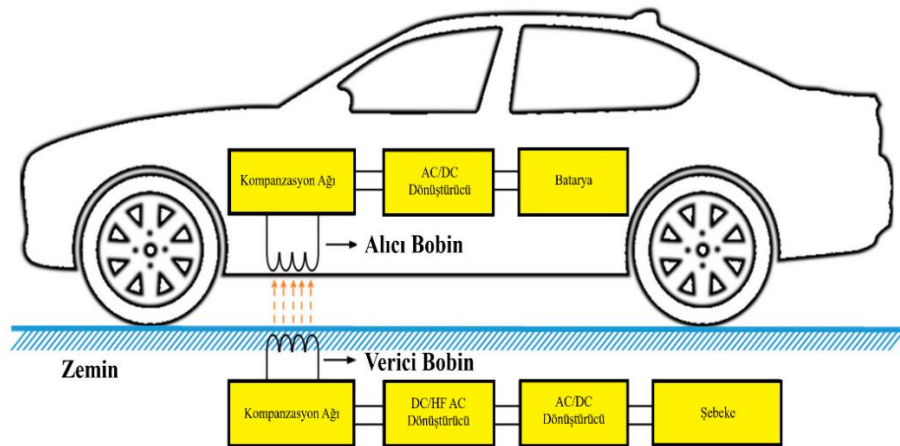
Tesla şarj konnektörü, özellikle ABD'de kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu konnektörün özelliği AC ve DC şarjı aynı konnektör üzerinden yapabilmesidir. AC 240 V'de maksimum 17,2 kW şarj edilebilmektedir (Mastoi vd., 2022). En yaygın şarj soket türleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

	CHAdEMO	CCS Combo 1	SAE J1772 Tip 1	IEC 62196-2	Tesla Supercharger
					
<i>Şarj Tipi</i>	AC Şarj	DC Hızlı Şarj	AC Şarj	AC Şarj	DC Hızlı Şarj
<i>Pin Sayısı</i>	4	7	5	7	6
<i>Kapasite</i>	200-400 kW	50-100 kW	7,68 kW	12,8 kW	140 kW
<i>Gerilim</i>	500 V	600 V	120-240 V	400 V	480 V

Şekil 2.3. Şarj soket türleri (Mastoi vd., 2022)

2.3.7. Endüktif (Kablosuz) şarj

Endüktif veya kablosuz şarj cihazları Endüktif Güç Aktarım (IPT) prensibine göre çalışır, yani gücü şebekeden EV'ye aktarmak için iki bobinli bir sistem kullanılmaktadır (Terzi vd., 2020). Şarj bobini yüzeye yerleştirilir, alıcı bobini ise araca takılmaktadır. Şebeke ile EV arasında herhangi bir temas gerektirmez (Sanguesa vd., 2021). IPT teknolojisindeki son gelişmeler, aracı güvenli ve rahat bir şekilde şarj etmeyi mümkün kıldıkları için EV uygulamalarında ilgi çekmiştir. Ayrıca standart bir konektör gerektirmez ve araç hareket halindeyken bile şarj edilebilir. Bununla birlikte endüktif güç aktarımı genellikle zayıftır ve verimli güç aktarımı için verici ve alıcı bobinleri arasındaki hava boşluğunun 20-100 cm arasında olması gerekmektedir (Chowdhury, 2021). Şekil 2.4'te Elektrikli araç şarjı için Endüktif Güç Aktarım sistem yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Elektrikli araç şarjı için endüktif güç aktarım sistem yapısı (Hwang ve Jang, 2020)

2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları veya alternatif enerji kaynakları yenilenebilen, tekrar tekrar enerji üreten ve tükenmez olan tüm enerji kaynakları olarak ele alınmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyoenerji, jeotermal, hidroelektrik ve okyanus (gelgit ve dalga) enerjisini içermekte ve enerji üretimi, ulaşım, evsel kullanım, kentsel ısınma vb. alanlarda kullanılmaktadır (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016).

Yenilenebilir enerji kaynakları önemli sayıda avantaja sahiptir. Çok az sera gazı emisyonu ürettikleri veya hiç üretmedikleri için çevresel kaliteyi artırmaktadır. Fosil yakıtlara kıyasla güvenilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilirken yeryüzünün çoğu yerinde bulunabilmeleri nedeniyle enerjiyi eşit olarak dağıtarak enerji güvenliği ve enerji yoksulluğu sorunlarını çözmektedir. Düşük işletme maliyeti ve ekonomik faydaları vardır. Makroekonomik düzeyde istihdamı destekler ve enerji fiyatlarını dengelemektedir. Bir hanedeki yaşam koşullarını iyileştirebilmekte ve çoğu enerji ihtiyacını tükenmeden karşılayabilmektedir (Siksnyte vd., 2020).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ana dezavantajları ise kullanıcılar arasında aşırı ve caydırıcı olabilen yüksek başlangıç maliyetleri ve yine oldukça yüksek olan depolama sistemleri maliyeti olabilmektedir. Yenilenebilir enerji hava koşullarına bağlıdır ve uzun süre öngörülemeyen hava koşulları enerji eksikliğine yol açabilmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojisinin kurulabilmesi için geniş arazilere ihtiyaç vardır (Brook ve Bradshaw, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın enerji talebini karşılamak, aşırı fosil yakıt kullanımının yerini almak ve 7. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ni karşılamak için en iyi seçenek olarak kabul edilmektedir (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016).

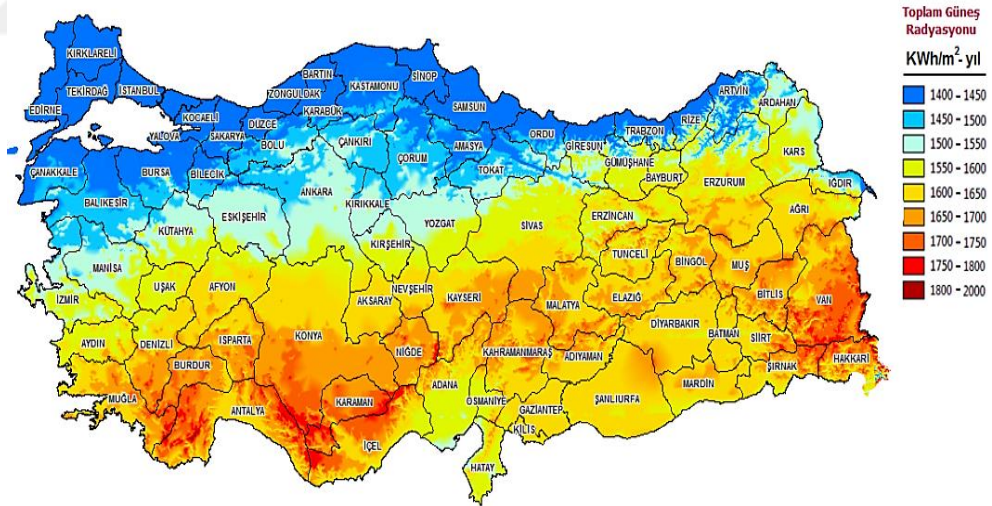
Bu bölümde hibrit tasarımda kullandığımız kaynaklardan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi ele alınmıştır.

2.4.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışığından veya ısısından gelen enerjiyi ifade etmektedir (Timilsina vd., 2012). Fotovoltaik (FV) veya Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) sistemlerinde enerji üretilmektedir. FV'ler güneş ışığını hızlı bir şekilde elektriğe çevirebilen, kişisel kullanım için ve daha büyük ölçekte kullanılabilen panellerdir. Son

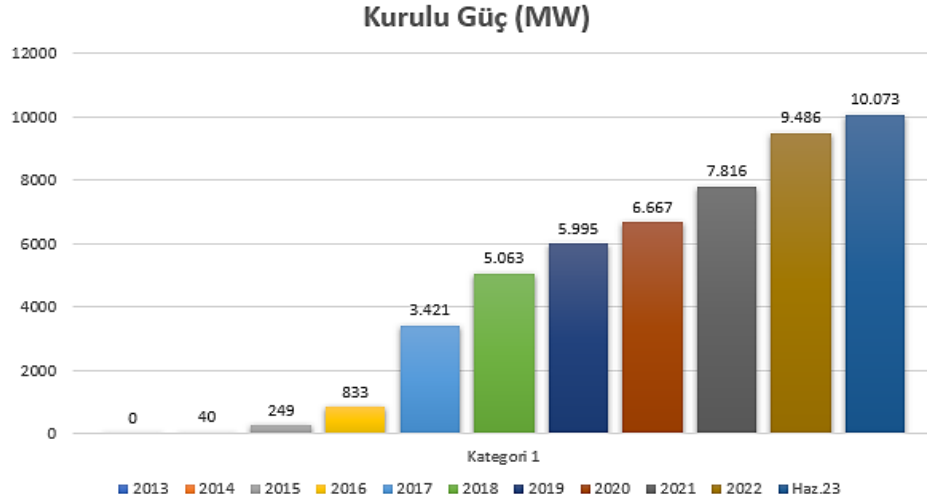
derece modülerdir ve boyutları, küçük güneş ev kitleri ve 3-20 kW kapasiteli çatı kurulumundan yüzlerce megavat kapasiteli sistemlere kadar değişmektedir. Üretim maliyetleri son on yılda önemli ölçüde düşmüştür. CSP'ler sıvıyı ısıtan güneş ışınlarını toplamak için aynalar kullanır ve ortaya çıkan buhar elektrik üretmek için türbini hareket ettirmektedir (IRENA, 2022a).

Güneşten üretilebilecek enerji potansiyeli 380 milyon MWsa olarak tahmin edilmektedir. Bu büyüklüğe göre ülkemizin brüt güneş enerjisi teknik potansiyeli 87,5 Milyon Ton Petrol Eşdeğeri (TEP) olduğu söylenebilir. Bu değer 26,5'i termal kullanıma, 8,75'i ise elektrik üretimine uygundur. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) verilerine göre ülkemizin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2741 saat, ortalama günlük güneşlenme süresi 7,58 saat ve ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1527,1 kWsa/m², ortalama günlük toplam ışıınım değeri 4,18 kWsa/m² olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli en yüksek bölgesi Güneydoğu Anadolu bölgesidir, yıllık toplam ışıınım değeri 1460 kWsa/m² ve yıllık güneşlenme süresi 2993 saat'tir (ETKB, 2022). Şekil 2.5'te Türkiye güneş enerjisi potansiyel haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyel haritası (GEPA, 2023)

Son on yıllık veriler göz önüne alındığında ülkemizde güneş enerjisi kurulu gücü 2013 yılında 0 MW iken 2023 yılı haziran ayında 10.000 MW'ın üzerinde güneş enerjisi kurulu güce sahiptir. Toplam elektrik kurulu gücüne oranı ise %8,4'tür (YTBS, 2023). Ülkemizin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



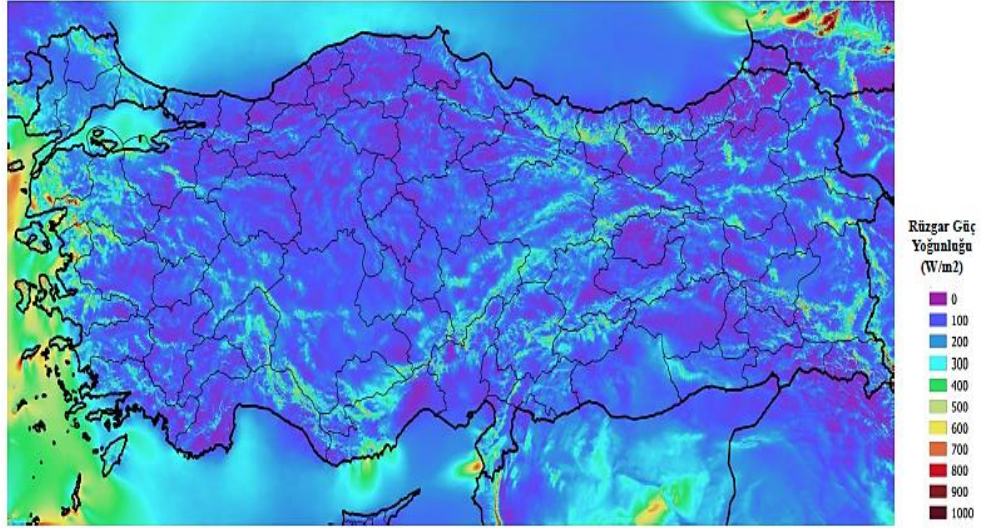
Şekil 2.6. Güneş enerjisine dayalı kurulu güç (YTBS, 2023)

2.4.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi, havanın kinetik enerjisini rüzgâr türbinleri veya rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemleri aracılığıyla mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üretmektedir (Ellabban vd., 2014). Türbinlerin kanatları rüzgâr tarafından itilerek döner ve ardından bağlı bir türbini döndürerek türbinin boyutuna ve kanatlarının uzunluğuna bağlı olarak enerji üretir (IRENA, 2022b).

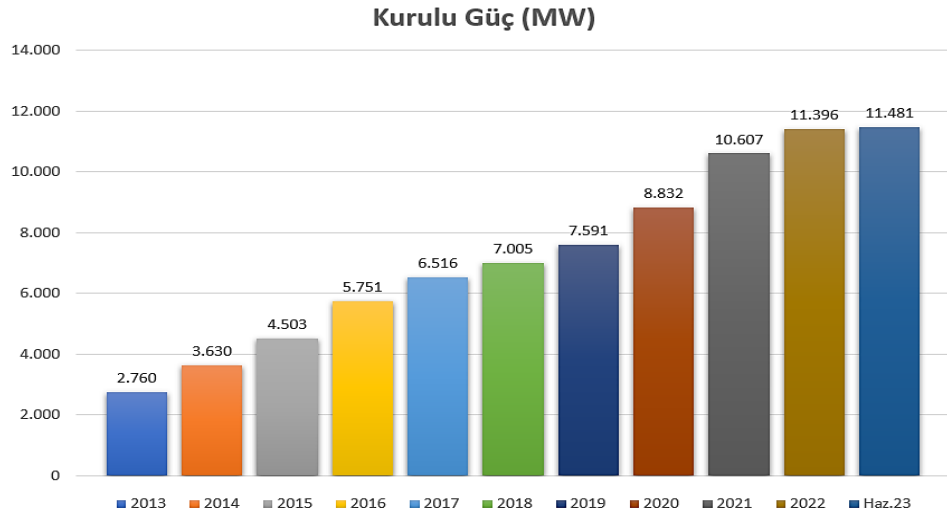
Rüzgâr dünyanın her yerinde vardır bu da rüzgâr enerjisini birçok yerde kullanılabilir hale getirerek enerji güvenliği sağlamaktadır. Ayrıca rüzgâr sera gazı üretmediği ve çevreyi kirletmediği için çevreye zarar vermemektedir. Diğer enerji türlerine göre en düşük karbon ayak izine sahip enerji kaynaklarından birisidir (Saidur vd., 2011).

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) verilerine göre yerden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzerinde yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip alanlarda 5 MW/km² gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyeli 47.849,44 MW olarak hesaplanmıştır. Bu enerji potansiyeline sahip alan Türkiye'nin toplam yüzölçümünün %1,30'una karşılık gelmektedir (REPA, 2023). Şekil 2.7'de Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası görülmektedir.



Şekil 2.7. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA, 2023)

Son on yıllık veriler göz önüne alındığında ülkemizde rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2013 yılında 2.760 MW iken 2023 yılı haziran ayında 11.481 MW rüzgâr enerjisi kurulu güce sahiptir. Toplam elektrik kurulu gücüne oranı ise %15,9'dur (YTBS, 2023). Ülkemizin rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç (YTBS, 2023)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde elektrikli araçların şarj ihtiyacını karşılamak için simüle olarak HOMER Pro programı ve RETScreen programı ile hibrit mikro şebeke tasarımı gerçekleştirilmiş, teknik ve ekonomik analiz yapılmıştır. Hibrit sistem modeli tasarlanırken anlık üretilebilecek elektrik miktarının meteorolojik ve teknik şartlara bağlı değişkenlik gösterebileceği ayrıca elektrikli araçların gün geçtikçe yaygınlaşmasından dolayı gelecek yıllarda talebin artacağı değerlendirilmektedir. Bu sebeple şarj istasyonu kapasitesinin gelecek yıllarda artacağı düşünülerek, hibrit sistem boyutu 200 kW olarak seçilmiştir. Hibrit sistem modelinin tasarımında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok kullanılan, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sistemleri kullanılmıştır. Güneş ve rüzgâr enerji potansiyel değerleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde Batman ilinin güneş enerji potansiyeli, rüzgâr enerji potansiyelinden daha büyük olduğu görülmektedir. Şebekeye bağlı bir sistem seçilmesinin nedeni olumsuz hava koşullarında ve yeterli enerji üretilmediği durumlarda şebekeden beslenmek içindir. Hibrit mikro şebeke sistem bileşenlerinin boyutu ve sistem maliyeti, nakit akışı ve verimlilik gibi faktörlerin tümü optimize edilmiştir. Tasarlanan sistemde üç senaryo ele alınmıştır.

Senaryo 1: Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem kullanılması durumu.

Senaryo 2: Şebekeye bağlı rüzgâr türbin sistemi kullanılması durumu.

Senaryo 3: Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbin sistemi (hibrit sistem) kullanılması durumu.

3.1. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Konumu

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü, haritada $37^{\circ} 47' 22''$ K enleminde ve $41^{\circ} 03' 53''$ D boylamında bulunmaktadır, Şekil 3.1'de yer almaktadır.

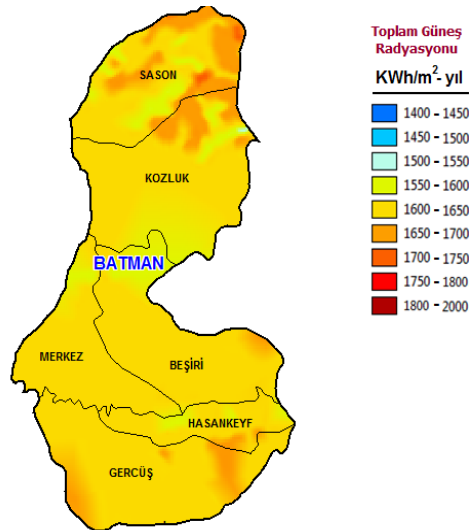


Şekil 3.1. Batman üniversitesi batı raman kampüsü harita konumu

Batman Üniversitesi toplam nüfusu 16 bin 975'tir, Batı Raman Kampüsü'nde Fen Edebiyat Fakültesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İslami İlimler Fakültesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu ve Yabancı Diller Yüksekokulu yer almaktadır (Anonim, 2022).

3.2. Batman İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

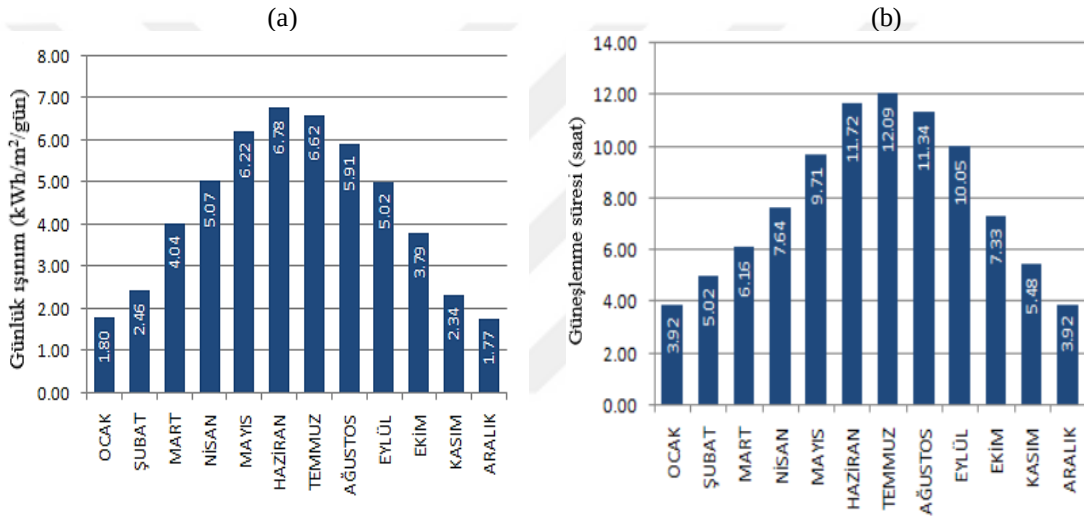
Şekil 3.2'de yer alan Batman ili güneş enerjisi potansiyel haritası verilerini incelediğimizde yılda 1600-1650 kWh/m² güneş radyasyon değeri olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Batman ili güneş enerjisi potansiyel haritası (GEPA, 2023)

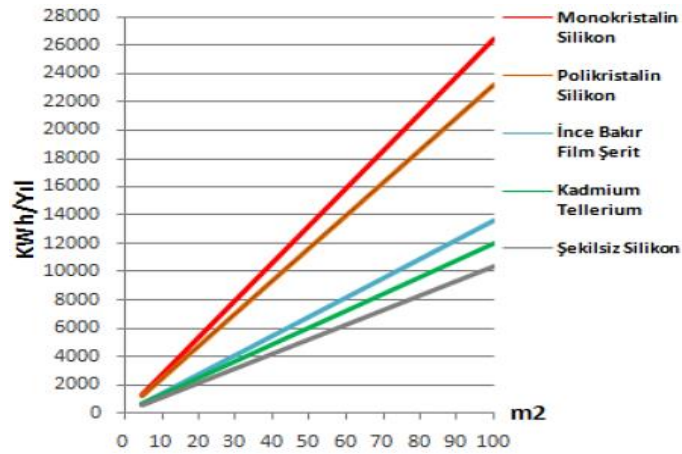
Batman ilinin minimum ışıınım değeri 1.77 kWsa/m²/gün ile aralık ayında, maksimum ışıınım değeri 6.78 kWsa/m²/gün ile temmuz ayında ve yıllık ortalama ışıınım değeri 4.318 kWsa/m²/gün olmuştur. Minimum güneşlenme süresi 3.92 saat ile aralık-ocak aylarında, maksimum güneşlenme süresi 12.09 saat ile temmuz ayında ve yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7.906 saat olarak hesaplanmıştır (GEPA, 2023). Batman ilinin aylara göre güneş enerjisi ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri Çizelge 3.1a'da Batman ili günlük ışıınım değerleri Çizelge 3.1b'de ise Batman ili güneşlenme süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. (a) Batman ili günlük ışıınım değerleri (kWsa/m²/gün) (b) Batman ili güneşlenme süreleri (saat) (GEPA, 2023)



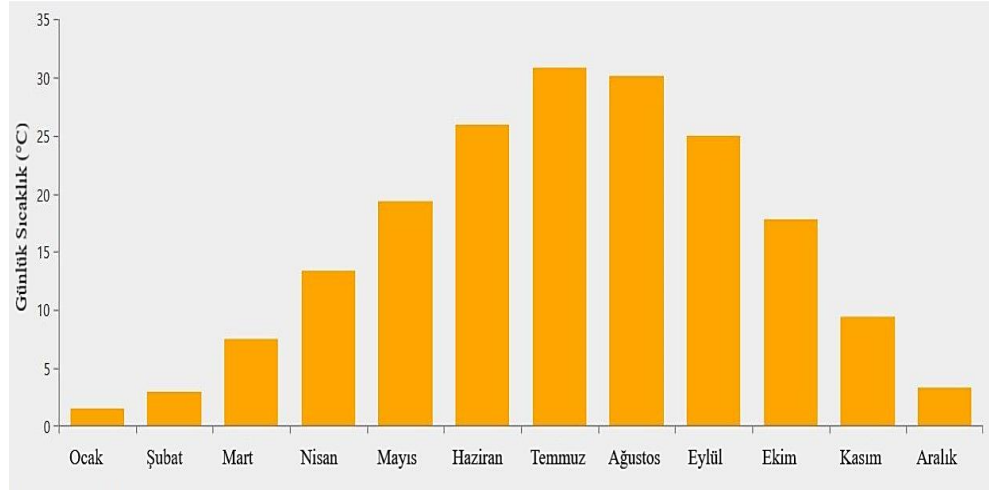
Batman ili FV panel tipleri üretilebilecek enerji miktarları Çizelge 3.2'de incelendiğinde monokristal panellerden üretilen enerji miktarı yılda 100 m² alanda 26,000 kWsa olduğu görülmektedir. Polikristal panel ise yılda 100 m² alanda 22,000-24,000 kWsa arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca diğer panel çeşitlerine baktığımızda değerlerin monokristal ve polikristal panellere göre çok düşük olduğu görülmektedir (GEPA, 2023).

Çizelge 3.2. Batman ili fotovoltaik panel tipleri üretilebilecek enerji (kWsa-yıl) (GEPA, 2023)



NASA'nın Yer bilimindeki hedefi, Dünya sistemini gözlemlemek, anlamak ve modellemek nasıl değiştiğini keşfetmek, değişimi daha iyi tahmin etmek ve Dünya'daki yaşam için sonuçlarını anlamaktır. Bilim Misyon Müdürlüğü bünyesindeki Uygulamalı Bilimler Programı'nın amacı, Yer bilimi için bilgi ve teknoloji Ar-Ge çalışması yapmak, toplumsal ve ekonomik faydaların gerçekleştirilmesini sağlamak, NASA ve topluma hizmet etmektir. Mevcut yenilenebilir enerji veri setinin iyileştirilmesi ve yeni uydu sistemlerinden yeni veri setlerinin oluşturulması amacıyla Dünya Geneline Enerji Kaynağı Tahmini (Prediction of worldwide energy resource-POWER) projesi başlatılmıştır. Bu projenin amaçlarından biri, yenilenebilir enerji arşivi özel olarak parametrelere erişim sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Güneş ve rüzgâr enerjisiyle çalışan yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımına yardımcı olmak için özel olarak tasarlanmıştır (Deshmane vd., 2020).

HOMER Pro ve RETScreen programında, NASA POWER veri tabanından alınan verilere göre, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nün (37° 47' 22'' K ve 41° 03' 53'' D) güneş enerjisi sıcaklık değerleri aylık ortalamaları grafiği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



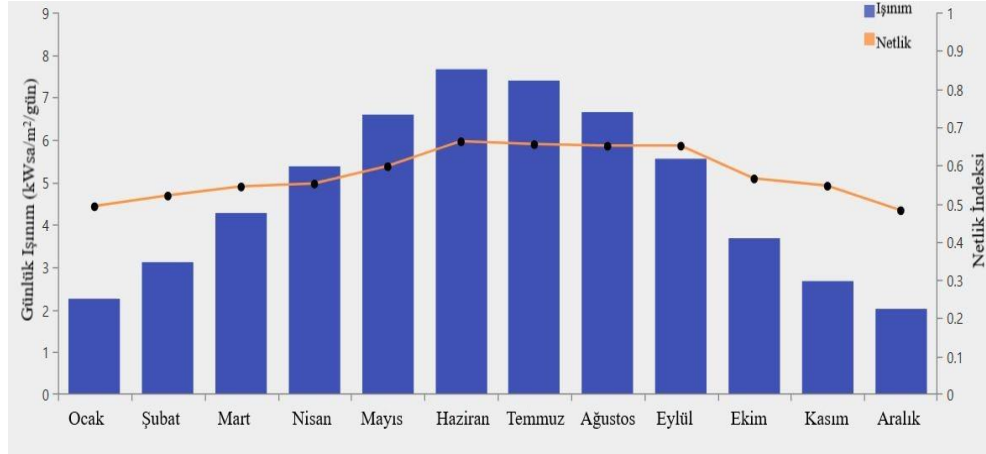
Şekil 3.3. Güneş enerjisi sıcaklık değerleri aylık ortalamaları

Çizelge 3.3'te güneş enerjisi aylık ortalama sıcaklık verileri görülmektedir. Batman ilinin en yüksek aylık ortalama sıcaklık değeri temmuz ayında 30.78 °C, en düşük aylık ortalama sıcaklık değeri ocak ayında 1.57 °C olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 15.59 °C'dir (HOMER, 2020).

Çizelge 3.3. Güneş enerjisi aylık ortalama sıcaklık verileri (HOMER, 2020)

Aylar	Sıcaklık (°C)
Ocak	1.57
Şubat	2.95
Mart	7.52
Nisan	13.38
Mayıs	19.31
Haziran	25.95
Temmuz	30.78
Ağustos	30.14
Eylül	24.92
Ekim	17.83
Kasım	9.38
Aralık	3.35
Ortalama	15.59

NASA POWER veri tabanından alınan verilere göre, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nün (37° 47' 22'' K ve 41° 03' 53'' D) güneş enerjisi ısıtım değerleri aylık ortalamaları grafiği Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Güneş enerjisi ışıınım değerleri aylık ortalamaları

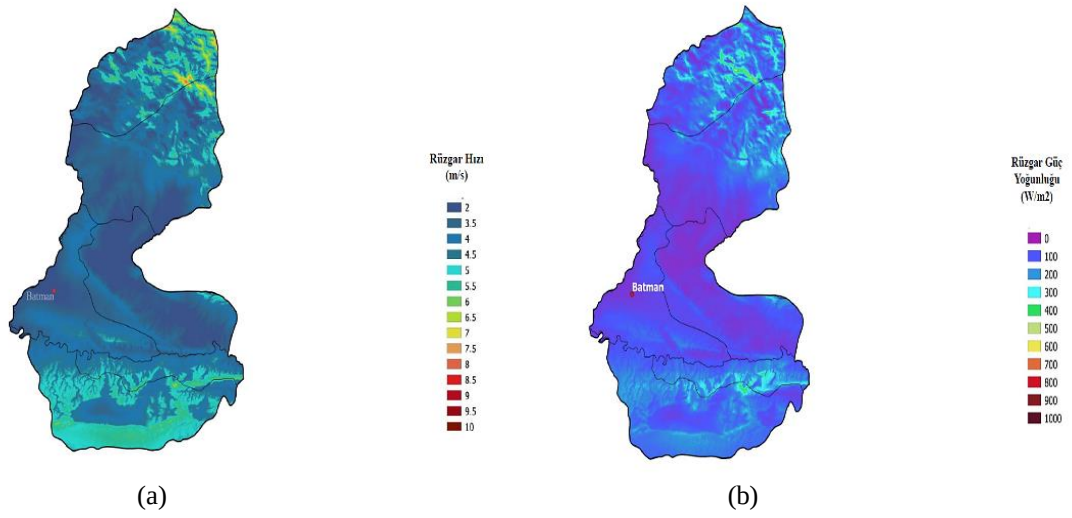
Çizelge 3.4'te güneş enerjisi aylık ortalama ışıınım verileri görülmektedir. Batman ilinin en yüksek aylık ortalama ışıınım değeri haziran ayında $7.66 \text{ kWsa/m}^2/\text{gün}$, en düşük aylık ortalama ışıınım değeri aralık ayında $2.02 \text{ kWsa/m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama ışıınım değeri $4.77 \text{ kWsa/m}^2/\text{gün}$ olmuştur (HOMER, 2020).

Çizelge 3.4. Güneş enerjisi aylık ortalama ışıınım verileri (HOMER, 2020)

Aylar	Netlik İndeksi	Günlük Işınım (kWsa/m ² /gün)
Ocak	0.492	2.27
Şubat	0.520	3.11
Mart	0.543	4.29
Nisan	0.551	5.39
Mayıs	0.596	6.60
Haziran	0.662	7.66
Temmuz	0.654	7.39
Ağustos	0.650	6.65
Eylül	0.650	5.54
Ekim	0.565	3.69
Kasım	0.546	2.68
Aralık	0.481	2.02
Ortalama	-	4.77

3.3. Batman İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

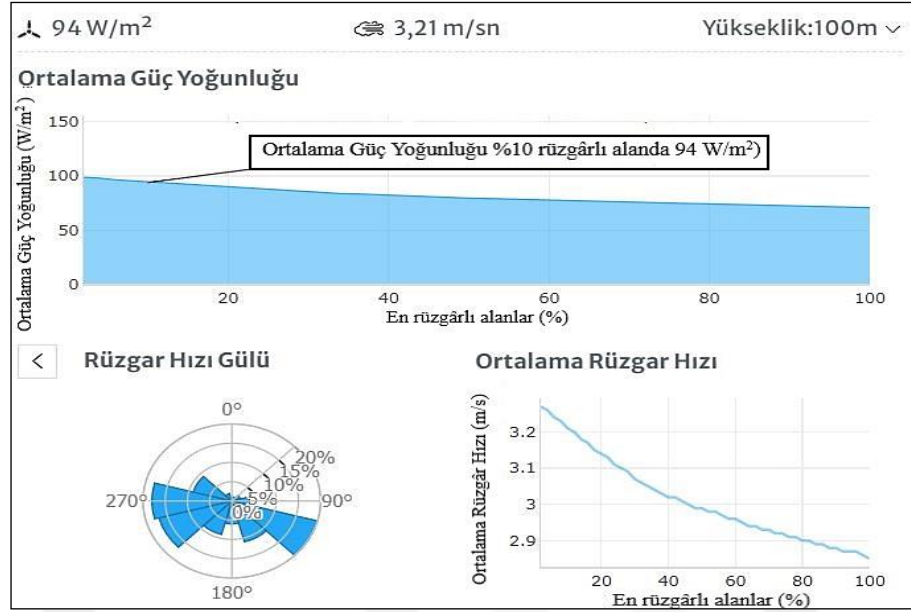
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayımlanan verilere göre Batman ilinin 100 metrede yıllık ortalama rüzgâr hızı 4.002 m/s olarak hesaplanmıştır, Şekil 3.5 (a)'da gösterilmiştir. 100 metrede yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu 122.45 W/m^2 olarak hesaplanmıştır, Şekil 3.5 (b)'de gösterilmiştir (REPA, 2023).



Şekil 3.5. (a) Batman ili rüzgâr hızı dağılımı (m/s) (b) Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı (W/m²) (REPA, 2023)

Küresel Rüzgâr Atlası (GWA), Antarktika hariç, kıyı şeridinin 200 km içindeki tüm kara noktaları ve su noktaları için yüksek çözünürlüklü veri tabanları ve rüzgâr kaynağı haritaları sağlamaktadır. GWA, rüzgâr enerjisinin küresel, ulusal, bölgesel ve yerel potansiyellerini belirlemek, anlamak ve sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişte enerji uzmanlarına ve planlamacılara rehberlik etmek için kullanılmaktadır. GWA, doğrusallaştırılmış akış modellemesi ve yüksek çözünürlüklü topoğrafik verileri kullanarak kaba çözünürlüklü rüzgâr verilerini, mikro ölçeğe küçültmek için yerleşik sayısal rüzgâr atlası metodolojisini kullanmaktadır. Dünya çapında bulunan yüksek direklerden alınan ölçümleri kullanan doğrulama verileri ve analizleri de web uygulaması aracılığıyla sağlamaktadır (Davis vd., 2023).

Küresel Rüzgâr Atlası'ndan alınan verilere göre, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü (37° 47' 22'' K ve 41° 03' 53'' D) konumunun ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. 100 m yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 3.21 m/s ve ortalama rüzgâr güç yoğunluğu 94 W/m² olarak hesaplanmıştır (GWA, 2023).



Şekil 3.6. Ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu (GWA, 2023)

NASA POWER veri tabanından, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nün ($37^{\circ} 47' 22''$ K ve $41^{\circ} 03' 53''$ D) konumu seçilerek alınan ortalama rüzgâr hızı verileri, 30 yıllık süre boyunca 50 m yükseklikteki aylık ortalama rüzgâr hızı verileridir. Şekil 3.7'de ortalama rüzgâr hızı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ortalama rüzgâr hızı grafiği (m/s)

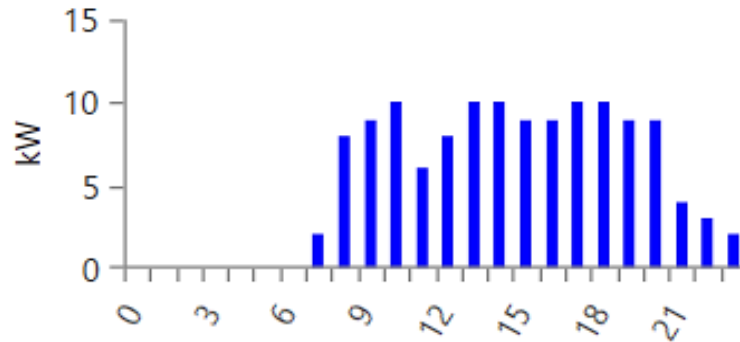
Çizelge 3.5'te ortalama rüzgâr hızı değerleri gösterilmiştir. 50 m yükseklikteki en yüksek rüzgâr hızı haziran ayında 4.1 m/s , en düşük rüzgâr hızı kasım ayında 3.45 m/s olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 3.73 m/s 'dir (HOMER, 2020).

Çizelge 3.5. Ortalama rüzgâr hızı değerleri (m/s) (HOMER, 2020)

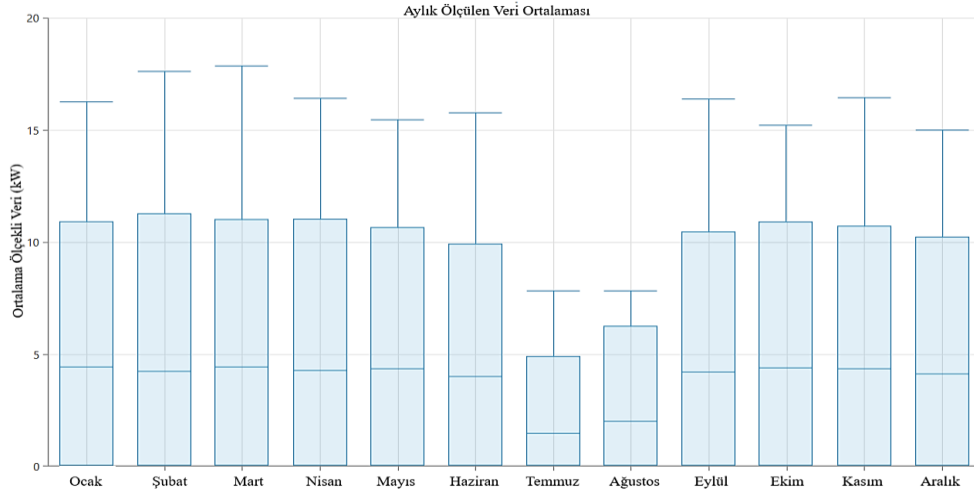
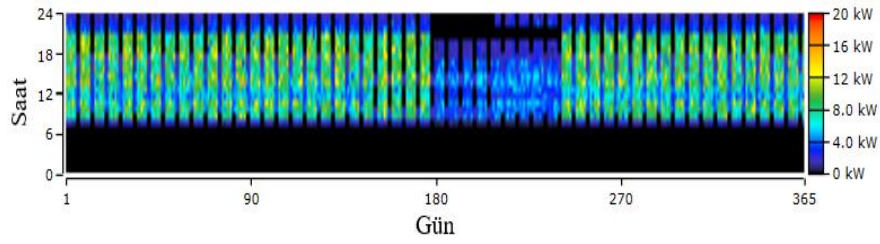
Aylar	Ortalama (m/s)
Ocak	3.85
Şubat	3.96
Mart	3.83
Nisan	3.71
Mayıs	3.70
Haziran	4.10
Temmuz	3.84
Ağustos	3.60
Eylül	3.54
Ekim	3.46
Kasım	3.45
Aralık	3.67
Ortalama	3.73

3.4 Elektrik Yük Profili

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün günlük, aylık ve yıllık yük profilleri Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.8’de, elektrik yük verileri Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. Elektrikli araç şarjı için tahmini yükler belirlenip, hafta içi elektriğin mesai saatlerinde yoğun kullanılacağı tahmin edilmekte, hafta sonu tatil olduğu için yarı zamanlı kullanılacağı tahmin edilmekte ve temmuz-ağustos aylarında eğitim-öğretim döneminin bittiği ve tatil olduğu için elektrik yükünün yarı zamanlı kullanılacağı düşünülmektedir. Ortalama bir yük profili oluşturulmuştur.

Çizelge 3.6. Günlük elektrik yük profili

Çizelge 3.6 incelendiğinde saat 00.00-07.00 arasında elektrik yükünün olmadığı, 07.00’dan sonra arttığı görülmektedir. Maksimum yükün 10.00, 13.00-14.00 ve 17.00-18.00 saatlerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7. Aylık elektrik yük profili**Çizelge 3.8.** Yıllık elektrik yük profili**Çizelge 3.9.** Elektrik yük verileri

Metrik	Temel	Ölçülen
Ortalama (kWsa/gün)	89.07	92.32
Ortalama (kW)	3.71	3.85
Pik yük (kW)	17.24	17.87
Yük faktörü	0.22	0.22

Çizelge 3.7 incelendiğinde temmuz-ağustos aylarında ortalama elektrik yükünün 10 kW altında olduğu görülmektedir. Eğitim-öğretim döneminde 10 kW ve üstüne çıkmaktadır. Çizelge 3.9’da elektrik yük verileri incelendiğinde ölçülen günlük ortalama yük 92.32 kWsa, ortalama yük 3,85 kW, pik yük 17,87 kW ve yük faktörünün 0.22 olduğu görülmektedir.

3.5. HOMER Pro Programı

Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Pro programı, hibrit kaynakları araştırmak için genel bir yazılımdır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki NREL (National Renewable Energy Laboratory) Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı HOMER Pro programını oluşturmuştur. HOMER Pro, güneş ve rüzgâr verileri gibi girdi değişkenlerinin saatlik analizine dayanarak, gerekli yükü karşılayan bileşenlerin en düşük maliyetli kombinasyonunu bulmaya yardımcı olmaktadır. Yıllık yükü karşılayan sistemler için yaşam döngüsü maliyeti yazılım tarafından tahmin edilmektedir. HOMER Pro, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız, geleneksel veya yenilenebilir teknolojiler ve dağıtılmış üretim gibi farklı sistemlere uygulanabilmektedir. Yenilenebilir teknolojiler güç kaynakları, depolama ve yükler olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır (Ahamed vd., 2021).

Güç kaynakları kategorisinde fotovoltaik (FV), rüzgâr türbini (RT), hidroelektrik, dizel, biyogaz veya kömür yakıtlı jeneratörler, elektrik şebekesi, mikro türbin ve yakıt hücresi en yaygın türleridir. Depolama sınıfında ise piller ve hidrojen bankası bulunmaktadır. Yüklerle ilgili olarak iki tür vardır, birincil ve ertelenebilir yükler. Birincil yük, belirli bir zamanda karşılanması gereken elektrik yüküdür (aydınlatma vb.), ertelenebilir yük, belirli bir süre içinde karşılanması gerekmeyen ancak belirli bir zaman periyodunda karşılanması gereken yüküdür (su pompalama vb.) (Kebede ve Beyene, 2018).

HOMER Pro, sisteme bağlı bileşenlere sağlanan uygun enerji zamanlamasını belirleyecek kadar akıllıdır. Akü ve jeneratör içeren sistemlerde, akülerin ne zaman şarj edileceğini ve jeneratörün ne zaman çalıştırılacağına yazılım karar vermektedir. Ayrıca ertelenebilir yüke birincil yükten daha düşük ancak pilleri şarj etmekten daha yüksek bir öncelik vermektedir. Bunun için HOMER Pro'nun izlediği iki dağıtım stratejisi vardır. Dağıtım stratejisi, yenilenebilir kaynaklardan gelen enerji kıtlığı olduğunda jeneratörün ve pillerin çalışmasının kontrol edildiği bir dizi kuraldır. İki tür dağıtım stratejisi vardır: yük takibi ve döngü şarjı. Yük takibi stratejisi, HOMER Pro'nun ertelenebilir yükü iki koşul altında sunmasına olanak tanımaktadır. Bunlar depolama tankı boş olduğunda ve sistem fazla elektrik ürettiğinde. Döngüsel şarj stratejisi kapsamında, jeneratör birincil yükün ihtiyaç duyduğundan daha fazla elektrik üretebildiği zaman ertelenebilir yüke hizmet etmektedir. Depolama tankı boş ise, ertelenebilir yük birincil yük olarak kabul

edilir ve tüm güç kaynakları ertelenebilir yüke mümkün olduğu kadar hizmet etmektedir (Kebede ve Beyene, 2018).

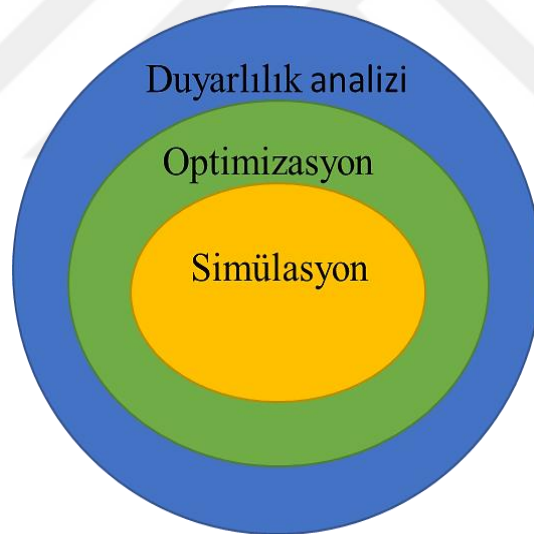
HOMER Pro aynı zamanda, çeşitli teknolojik seçeneklerin ekonomik ve teknik fizibilitesinin değerlendirilmesini sağlayan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için bir özellik sağlamaktadır. Bu özellik, yıllık ortalama rüzgâr hızı, yıllık ortalama güneş radyasyonu, dizel fiyatı veya FV hücrelerinin fiyatı gibi belirli bir girdinin tam değerinden şüphe duyulduğu zaman da kullanılabilir. Duyarlılık analizi, bir yıl boyunca (8.760 saat) saatlik olarak enerji dengesi hesaplamaları yapmaktadır. Her saat için elektrik yükünü sistemin o saat boyunca sağlayabileceği enerji ile karşılaştırmaktadır. Duyarlılık analizi yapılırken değerdeki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için aralıktaki her bir giriş değeri için optimizasyon işlemi tekrarlanmalıdır (Bekele, 2009; Kebede ve Beyene, 2018).

Ancak bu görüldüğü kadar basit değildir. Duyarlılık değişkenlerinin sayısı arttıkça, yazılımın hesaplama süresi de artmaktadır, bu da yazılımı kullanmak için bir sınırlama veya zorluk olarak kabul edilmektedir. Yazılımın duyarlılık analizi özelliğini kullanırken, yükü karşılamak için her bir bileşenin birkaç boyutunun dikkate alınması gerekir ve hesaplama süresi bunların kaçının kullanıldığına bağlıdır. Hesaplama süresini en aza indirmek için yinelemeli bir süreç izlenmelidir. Bu, ilk çalışma süresini azaltmak için nispeten geniş bir aralıkta sadece az sayıda boyutun ve/veya değişkenin dikkate alınmasıyla yapılmaktadır. Art arda gelen her çalıştırmadan sonra, çözünürlüğü artırmak için aralık içine daha fazla sayıda seçenek ve değişken eklenir. Aslında bu oldukça uzun zaman almaktadır ve yazılımın bir kısıtlılığı olarak değerlendirilmektedir (Kebede ve Beyene, 2018).

Ayrıca, hassasiyet tablosuna girilebilecek çeşitli hassasiyet değişkenlerine benzer şekilde, FV dizisinin boyutu, pillerin ve rüzgâr türbinlerinin miktarları, jeneratör, invertör gibi farklı sistem bileşenlerinin farklı boyut ve miktarlarının uygulanabileceği başka bir arama alanı tablosu vardır. Yine, yazılım her bileşen boyutunu ve miktarını denediği için yazılımın hesaplama süresini daha da uzatmaktadır. Önceki durumda olduğu gibi, simülasyon önce aralık içindeki değişken sayısını en aza indirerek kabaca çalıştırmaktadır. Sonuçlar daha sonra aralık içinde daha fazla sayıda değişken eklenerek geliştirilebilmektedir. Ayrıca, HOMER Pro'ya sağlanan belirli bir aralıktaki değişken sayısı ne kadar fazla olursa, sonuç o kadar iyi olmaktadır. Ancak hesaplama süresine dikkat edilmesi gerekmektedir (Dawoud, 2021).

Simülasyonu çalıştırdıktan sonra sonuçlar, kullanım ömrü maliyetine göre sıralanmış uygun sistem konfigürasyonlarının bir listesi olarak verilmektedir. Sonuçlardan, listenin ilk birkaç satırında gösterilen en düşük maliyetli sistemler uygulama için seçilmektedir. Tasarımcı ayrıca listedeki diğer uygulanabilir sistemleri tarayabilmekte ve kurulumun artılarını ve eksilerini maliyet, yenilenebilir kaynak katkısı, bileşenlerin gelecekteki fiyat eğilimi vb. açısından değerlendirerek herhangi bir kurulumu almaya karar verebilmektedir. Sonrasında teknoloji seçenekleri, bileşen maliyetleri ve mevcut kaynaklar yazılıma girilmektedir. HOMER Pro, girdileri net bugünkü maliyetlerine göre sıralanan farklı uygun sistem konfigürasyonları sağlamak için kullanılmaktadır (Bekele, 2009; Kebede ve Beyene, 2018).

HOMER Pro, enerji sistemlerini simüle eder, maliyete göre optimize edilmiş sistem yapılandırmalarını gösterir ve duyarlılık analizi yapar (Yılmaz vd., 2010). HOMER Pro'nun optimizasyon, duyarlılık analizi ve simülasyon arasındaki ilişki Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Simülasyon, optimizasyon, duyarlılık analizi arasındaki ilişki (HOMER, 2020)

HOMER Pro programının temeli simülasyondur. Tasarlanan bulunmasını istediğimiz bütün ekipmanların olasılıkları için uygun bir sistemi simüle etmeye çalışmaktadır. Optimizasyon adımı tüm simülasyon seçeneklerini bulup, tanımlanan kriterlere göre sıralar ve filtreler, böylece mümkün olan en iyi seçenekler gösterilmektedir. Duyarlılık analizi, rüzgâr hızı ve yakıt maliyetleri gibi kontrol edilemeyen değişkenlerin belirsizliklerinin etkisini modellemekte ve en uygun sistem değişimini göstermektedir (HOMER, 2020).

3.6. RETScreen Expert Programı

RETScreen Temiz Enerji Yönetimi Programı, ilk olarak 1998 yılında Kanada hükümeti tarafından geliştirilmiştir. Enerji mühendisleri, tesis yöneticileri, araştırmacılar, eğitmenler, mimarlar, finansal planlamacılar ve politika analistleri dâhil olmak üzere dünya çapında 800.000'den fazla enerji uzmanı ve karar verici tarafından kullanılmaktadır. Ücretsiz olarak sağlanan program, çeşitli yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği sağlayan teknolojiler (Energy-Efficient Technologies-RET's) için enerji üretimini ve tasarruflarını, maliyetleri, emisyon azaltımlarını, finansal uygulanabilirliği ve riski değerlendirmek için dünya çapında kullanılmaktadır. Çeşitli binaların, fabrikaların ve enerji üretim tesislerinin gerçek ve devam eden enerji performansını ölçmeyi ve doğrulamayı kolaylaştırmaktadır. Dünyanın en yaygın 36 dilinde yazılım kullanılabilir. RETScreen programının güncel versiyonu “RETScreen Expert” programıdır ve 2016 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Energypedia, 2022).

RETScreen Expert programının temeli, geleneksel teknoloji “temel durum” ile temiz enerji teknolojisi gibi “önerilen durum” arasındaki karşılaştırmadır. RETScreen Expert programı, bireysel projelerden küresel uygulamalara kadar herhangi bir enerji sistemine uygulanabilmektedir. Ayrıca model, ulaştırma sektörü dışındaki enerji sisteminin, tüm sektörlerini dikkate almaktadır.

RETScreen Expert programı, profesyonellere ve karar vericilere, potansiyel temiz enerji projelerinin teknik ve finansal uygulanabilirliğini hızlı bir şekilde belirleme, değerlendirme ve optimize etme yetkisi vermektedir. Bu karar zekâsı yazılım platformu aynı zamanda yöneticilerin tesislerinin gerçek performansını kolayca ölçmesine ve doğrulamasına olanak tanır ve ek enerji tasarrufu veya üretim fırsatları bulmasına yardımcı olmaktadır (Energypedia, 2022) . RETScreen karar motoru iş akış diyagramı, Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. RETScreen karar motoru iş akış diyagramı (RETScreen, 2023)

RETScreen Expert programı her model için beş adımlı bir analiz kullanmaktadır:

1-) Enerji Modeli: Kullanıcı, enerji projesinin konumunu, temel durumda kullanılan sistem tipini, önerilen durum için yenilenebilir enerji kaynağını, yükleri (varsa) girer. RETScreen Expert programı daha sonra yıllık enerji üretimini veya enerji tasarrufunu hesaplar. RETScreen Expert programı kullanılarak tüm termal üretim ve yenilenebilir teknolojiler hesaba katılabilir. Ancak dikkate alınan tek depolama cihazı, bataryadır ve herhangi bir hidrojen veya taşıma teknolojisini modelleyemez.

2-) Maliyet Analizi: Kullanıcı, önerilen vaka sistemi için başlangıç, yıllık ve periyodik maliyetlerin yanı sıra, önerilen vakada kaçınılan temel durum maliyetlerine ilişkin kredileri girer (alternatif olarak, kullanıcı doğrudan artan maliyetleri girebilir).

3-) Sera Gazı Analizi (isteğe bağlı): Temel durum teknolojisi yerine önerilen teknolojinin kullanılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki yıllık azalmayı belirler.

(4) Finansal Özet: Kullanıcı, kaçınılan enerji maliyeti, üretim kredileri, sera gazı emisyon azaltım kredileri, teşvikler, enflasyon, indirim oranı, borç ve vergilerle ilgili finansal parametreleri belirtir. RETScreen Expert programı, bundan yola çıkarak projenin uygulanabilirliğini değerlendirmek için çeşitli mali göstergeleri (örneğin net bugünkü değer vb.) hesaplar.

(5) Duyarlılık ve Risk Analizi (isteğe bağlı): Çeşitli temel parametrelerin tahminlerindeki belirsizliğin, projenin finansal uygulanabilirliğini nasıl etkileyebileceğini tanımlamaktadır.

RETScreen iklim veri tabanı, modelde gerekli olan meteorolojik verileri içermektedir. Kullanıcı, yazılımı çalıştırırken yer izleme istasyonlarından (6700 yer istasyonu) veya NASA'nın küresel uydu/analiz verilerinden iklim verilerini alabilir. Belirli bir yer izleme istasyonundan iklim verileri alınamıyorsa, veriler NASA'nın uydu/analiz verilerinden sağlanmaktadır (RETScreen, 2023).

3.7. Ekonomik Kriterler

Bir sistem tasarlanırken her bir elemanın maliyeti düşünülmesi gerekmektedir (Öztürk ve Tosun, 2019). Tasarlanan hibrit sistem modelinin maliyet analizi, HOMER Pro ve RETScreen Expert hesaplama araçları ile yapılmıştır. Maliyet özeti; net bugünkü maliyet (Net Present Cost-NPC), başlangıç maliyeti (Initial Cost-IC), işletme ve bakım maliyeti (Operation and Maintenance-O&M), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized Cost of Energy-LCOE), İç getiri oranı (Internal Rate of Return-IRR), yatırım getirisi (Return of Investment-ROI) ve geri ödemedir oluşmaktadır.

3.7.1. Faiz oranı

Gerçek iskonto (faiz) oranı, tek seferlik maliyetler ile yıllık maliyetler arasında dönüştürme yapmak için kullanılmaktadır. Nominal iskonto oranı ve beklenen enflasyon oranı girdilerinden yıllık reel iskonto oranı (faiz oranı) hesaplanmaktadır. İndirim faktörlerini ve net bugünkü maliyetlerden yıllık maliyetleri hesaplamak için gerçek faiz oranı kullanılmaktadır. Gerçek faiz oranı Denklem (3.1) ile hesaplanmaktadır (Palej vd., 2019).

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (3.1)$$

Burada;

i : gerçek faiz oranı

i' : nominal faiz oranı

f : beklenen enflasyon oranıdır.

3.7.2. Net bugünkü maliyet

Bir bileşenin bugünkü net maliyeti (NPC), tüm proje ömrü boyunca bileşenin kurulması ve çalıştırılmasından, tüm bileşenlerin bugünkü değeri ve proje ömrü boyunca elde ettiği gelirlerin çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Bugünkü net maliyet değerlerinin eksi değer alması üreticinin kazanç elde ettiği manasına gelmektedir. (Mirdalı, 2018; Adalı, 2022). NPC Denklem (3.2) ile hesaplanmaktadır (Riayatsyah vd., 2022).

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (3.2)$$

Burada;

C_{NPC} : sistemin bugünkü net maliyeti (\$)

$C_{ann,tot}$: sistemin toplam yıllık maliyeti (\$/yıl)

$CRF()$: sermaye kurtarma faktörünü döndüren bir fonksiyon

i : yıllık gerçek iskonto oranı (%)

R_{proj} : proje ömrüdür.

Bu çalışmada sistem ömrü 25 yıldır ve sermaye kurtarma faktörü $CRF()$, yıllık bugünkü değeri (bir dizi eşit yıllık nakit akışı) değerlendirmek için kullanılan orandır. $CRF()$ Denklem (3.3) ile hesaplanmaktadır (Riayatsyah vd., 2022).

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.3)$$

Burada;

i : gerçek iskonto oranı (%)

N : yıl sayısıdır.

3.7.3. Başlangıç maliyeti

Bir bileşenin başlangıç sermaye maliyeti (IC), projenin başlangıcında o bileşenin kurulu toplam maliyetidir.

3.7.4. İşletme ve bakım maliyeti

İşletme ve bakım maliyeti (O&M), bileşenin çalıştırılması ve sürdürülmesi maliyetidir. Genellikle yıllık tutar olarak hesaplanmaktadır. Diğer işletme ve bakım maliyeti ise sistemin işletme ve bakım maliyetinin, kapasite eksikliği cezasının ve kirletici madde emisyon cezalarının toplamıdır, Denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır (Palej vd., 2019).

$$C_{om,other} = C_{om,fixed} + C_{cs} + C_{emissions} \quad (3.4)$$

Burada;

$C_{om,other}$: diğer işletme ve bakım maliyeti (\$/yıl)

$C_{om,fixed}$: sistem işletme ve bakım maliyeti (\$/yıl)

C_{cs} : kapasite yetersizliği cezası (\$/yıl)

$C_{emissions}$: emisyon cezasıdır. (\$/yıl)

3.7.5. Enerji maliyeti

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (COE), sistem tarafından üretilen elektrik enerjisinin kilovatsaat başına ortalama maliyeti olarak tanımlanmaktadır. COE Denklem (3.5) ile hesaplanmaktadır (Tabak, 2021).

$$COE = C_{ann,tot} - \frac{c_{boiler}H_{served}}{E_{served}} \quad (3.5)$$

Burada;

COE : seviyelendirilmiş enerji maliyeti (\$/kWsa)

$C_{ann,tot}$: sistemin toplam yıllık maliyeti (\$/yıl)

c_{boiler} : kazan marjinal maliyeti (\$/kWsa)

H_{served} : toplam termal yük (kWsa/yıl)

E_{served} : toplam elektrik yüküdür. (kWsa/yıl)

Paydaki ikinci terim, yıllık maliyetin termal yükten kaynaklanan kısmıdır. Rüzgâr veya FV gibi termal yük taşımayan sistemlerde ($H_{served}=0$) bu terim sıfırdır.

3.7.6. İç getiri oranı

İç getiri oranı (IRR), referans durum ile optimize edilmiş sistemin, aynı net bugünkü maliyete sahip olduğu iskonto oranıdır. HOMER Pro, iki nakit akışı dizisi arasındaki farkın bugünkü değerini iskonto oranına bölerek IRR'yi hesaplamaktadır.

3.7.7. Yatırım getirisi

Yatırım Getirisi (ROI), ilk yatırıma göre yıllık maliyet tasarrufudur. ROI, sermaye maliyetindeki farkın, projenin ömrü boyunca nominal nakit akışlarındaki ortalama yıllık farka bölünmesiyle elde edilmektedir. ROI, Denklem (3.6) ile hesaplanmaktadır.

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^{R_{proj}} C_{i,ref} - C_i}{R_{proj}(C_{cap} - C_{cap,ref})} \quad (3.6)$$

Burada;

ROI : yatırım getirisi (%)

$C_{i,ref}$: temel (referans) sistem için nominal yıllık nakit akışı

C_i : mevcut sistem için nominal yıllık nakit akışı

R_{proj} : proje ömrü (yıl)

C_{cap} : mevcut sistem sermaye maliyeti

$C_{cap,ref}$: temel (referans) sistemin sermaye maliyetidir.

3.7.8. Basit geri ödeme

Basit geri ödeme, tasarlanan optimize edilmiş sistem (mevcut sistem) ile temel durum sistemi arasındaki farkın kümülatif nakit akışının negatiften pozitifte geçtiği yıl sayısıdır. Geri ödeme, mevcut sistem ile temel durum sistemi arasındaki yatırım maliyetleri farkının ne kadar sürede telafi edileceğinin bir göstergesidir.

3.8. Fotovoltaik Güç Hesabı

FV güç çıkış hesabı Denklem (3.7)'deki gibi elde edilmektedir (Graham ve Hollands, 1990; Duffie ve Beckman, 2013).

$$P_{FV} = Y_{FV} f_{FV} \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STK}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STK})] \quad (3.7)$$

Burada;

Y_{FV} : FV sistemin nominal gücü (kW)

f_{FV} : FV sistemin değer kaybı faktörü (Panellerin kirlenmesi, kablo kayıpları, gölgeleme vb.)

$\bar{G}_T$: anlık zamanda FV panel üzerine düşen güneş ışıını (kW/m²)

$\bar{G}_{T,STK}$: standart test koşullarında güneş ışıını (25°C hücre sıcaklığı ve rüzgârsız standart test koşulları) (1 kW/m²)

α_p : güç sıcaklık katsayısı (%/°C)

T_c : anlık zamanda FV hücre sıcaklığı (°C)

$T_{c,STK}$: standart test koşullarında FV hücre sıcaklığıdır. (25°C)

Fotovoltaik (FV) hücre sıcaklığı, FV panel yüzeyinin sıcaklığıdır. Gece boyunca ortam sıcaklığı ile aynıdır ancak tam güneş altında hücre sıcaklığı ortam sıcaklığını 30°C veya daha fazla aşabilmektedir. Ortam sıcaklığından ve diziye çarpan ışıınımdan hücre sıcaklığını Denklem (3.8)'deki gibi elde edilmektedir (Graham ve Hollands, 1990; Duffie ve Beckman, 2013).

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau_a} \right) \quad (3.8)$$

Burada;

T_a : ortam sıcaklığı (°C)

$T_{c,NOCT}$: FV hücre nominal çalışma sıcaklığı (FV sistemin 0,8 kW/m² güneş ışıınına, 20°C ortam sıcaklığına ve 1 m/s rüzgâr hızına maruz kalması durumunda ulaştığı yüzey sıcaklığıdır.) (°C)

$T_{a,NOCT}$: nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı ortam sıcaklığı (°C)

$G_{T,NOCT}$: nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı güneş ışıınımı (kW/m²)

η_c : FV panel verimliliği (%)

τ : FV güneş geçirgenliği (%)

α : FV sisteminin soğurma oranıdır. (%)

3.9. Rüzgâr Türbin Güç Hesabı

HOMER Pro programında, üç aşamalı bir süreç kullanılarak her zaman adımında rüzgâr türbininin güç çıkışını hesaplamaktadır. İlk olarak rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını hesaplamakta, daha sonra standart hava yoğunluğunda rüzgâr türbininin bu rüzgâr hızında ne kadar güç ürettiğini hesaplamakta ve son olarak bu güç çıkış değerini gerçek hava yoğunluğuna göre ayarlamaktadır. Göbek yüksekliği rüzgâr hızı hesabı Denklem (3.9)'daki gibi elde edilmektedir (Tegner Anker vd., 2009; Manwell vd., 2010).

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (3.9)$$

Burada;

U_{hub} : rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

U_{anem} : anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)

z_{hub} : rüzgâr türbininin göbek yüksekliği (m)

z_{anem} : anemometre yüksekliği (m)

z_0 : yüzey pürüzlülük uzunluğu (m)

$\ln$: doğal logaritmadır.

Göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı belirlendikten sonra, standart sıcaklık ve basınç koşulları altında, rüzgâr türbininden o rüzgâr hızında beklenen güç çıkışını hesaplamak için Denklem (3.10) kullanılmaktadır (Tegner Anker vd., 2009; Manwell vd., 2010).

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot P_{WTG,STP} \quad (3.10)$$

Burada;

P_{WTG} : rüzgâr türbini çıkış gücü (kW)

$P_{WTG,STP}$: standart sıcaklık ve basınçta rüzgâr türbin çıkış gücü (kW)

ρ : mevcut hava yoğunluğu (kg/m³)

ρ_0 : standart sıcaklıkta ve basınçta hava yoğunluğudur. (1,225 kg/m³)

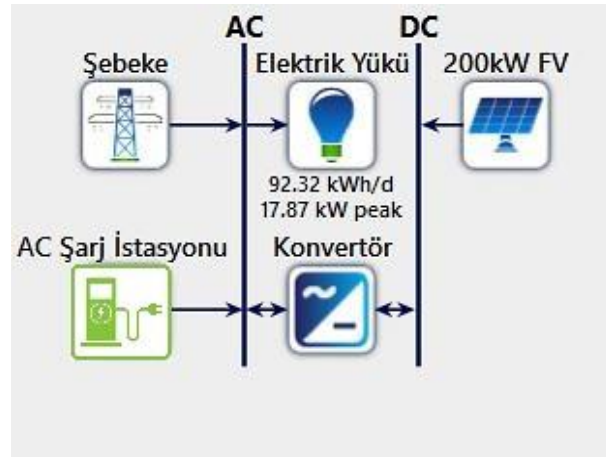


4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Güneş ve rüzgâr kaynaklarının kesintisini aşmak amacıyla kentsel, kırsal ve uzak bölgelerde elektrik enerjisi temininde hibrit enerji sistemleri kullanılmaktadır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemi, yenilenebilir enerjiye veya fosil yakıt ünitesine dayalı iki veya daha fazla elektrik üretim seçeneğini içermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı için hibrit sistemin tekno-ekonomik analizi büyük önem taşımaktadır. Çoklu üretim sistemleri nedeniyle hibrit sistem analizi oldukça karmaşıktır ve iyice analiz edilmesi gerekmektedir (Sinha ve Chandel, 2014). Fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sistemlerini entegre etme olasılığı, bireysel sistemden daha yüksek enerji üretimine olanak tanır; FV ve RT sistemleri ekonomik etkisi düşük olan ve enerji kullanılabilirliği açısından birbirlerini telafi eden teknolojilerdir. Hızla artan enerji talebini karşılayabilmek için tüm enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir (Ammari vd., 2022). Bu çalışmada kurgulanan senaryoların, teknik ve ekonomik analiz sonuçları HOMER Pro programı kullanılarak verilmiştir. RETScreen Expert programıyla elde edilen sonuçlar doğrulanmış ve iki programın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sistemlerin net bugünkü değeri, işletme ve bakım maliyeti, amortisman süreleri, aylık üretilen enerji miktarları, enerji alış-satış değerleri, emisyon değerleri ve FV-RT güç çıkış değerleri hesaplanmıştır. Örnek bir hibrit mikro şebeke tasarlanmıştır.

4.1. Fotovoltaik Sistem Kullanılması Durumu

Bu analizde yalnız şebekeye bağlı fotovoltaik sistem incelenmiştir. Fotovoltaik panellerden güvenilir bir güç elde etmek için yıllık güneş ışıınımlarının $4 \text{ kWs/m}^2/\text{gün}$ 'ün üzerinde olması gerekmektedir (Ahamed vd., 2021). FV sisteminin adı Jinko Solar JKM540M -72HL4-TV 540 W'tır. Nominal kapasite 540 Wp değerine sahiptir. Sıcaklık katsayısı 45°C ve verimlilik %20,94'tür. Ek-2'de detayları verilmiştir. Şekil 4.1'de fotovoltaik sistem modeli gösterilmiştir.

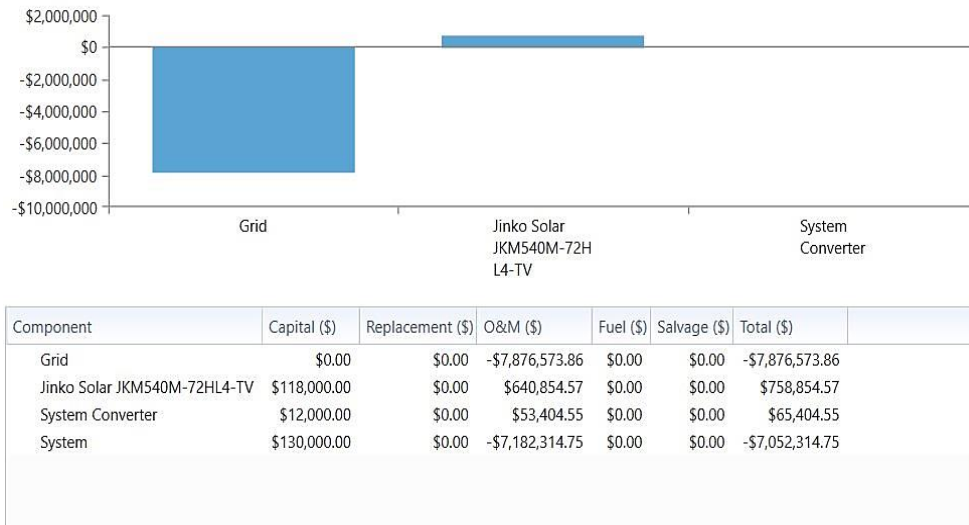


Şekil 4.1. Fotovoltaik sistem modeli

4.1.1. HOMER Pro fotovoltaik sistem analizi

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.10'da HOMER Pro fotovoltaik sistem modeline ait simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Fotovoltaik sistem maliyet analizi



Yapılan analiz sunucunda şebeke ile bağlantılı fotovoltaik sistem maliyeti: 200 kW gücünde güneş tarlası kurulumu 118,000.00 \$, 200 kW boyutunda konvertör 12,000.00 \$ ve AC şarj istasyonu kurulum maliyeti 3,000.00 \$ olarak hesaplanmıştır. Bugünkü sistem maliyeti 133,000.00 \$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde IRR %12.2, ROI %8.9, NPC -7,052,315 \$, birim enerji fiyatı -0.038 \$ ve sistem amortisman süresi 7.73 yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. FV ekonomik değerler

	Değer	Birimler
IRR	12.2	%
ROI	8.9	%
NPC	-7,052,315	\$
LCOE	-0.038	\$
Amortisman Süresi	7.73	Yıl

IRR: İç getiri oranı, ROI: Yatırım getirisi,

NPC: Net bugünkü değer, LCOE: Birim enerji fiyatı

Çizelge 4.3 incelendiğinde fotovoltaik sistem elektrik üretim değerleri 355,976 kWsa/yıl, şebekeden elektrik alımı 9,365 kWsa/yıl'dır. Toplamda 365,341 kWsa/yıl elektrik kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımını %97.4'tür.

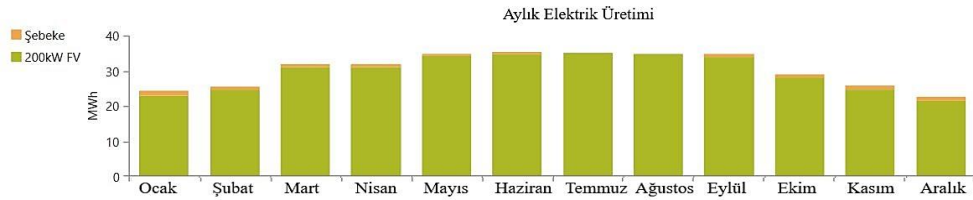
Çizelge 4.3. Fotovoltaik sistem aylık elektrik üretimi

Production	kWh/yr	%
Jinko Solar JKM540M-72HL4-TV	355,976	97.4
Grid Purchases	9,365	2.56
Total	365,341	100

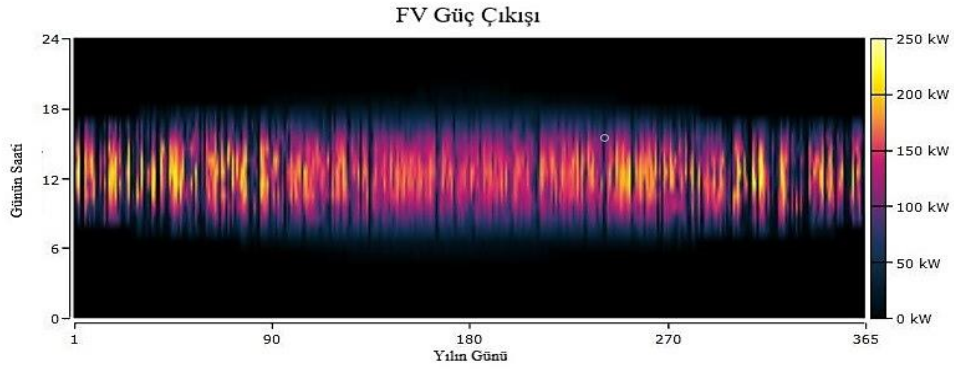
Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	33,697	9.70
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	313,708	90.3
Total	347,405	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	145	0.0396
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	97.3	%
Max. Renew. Penetration	114	%

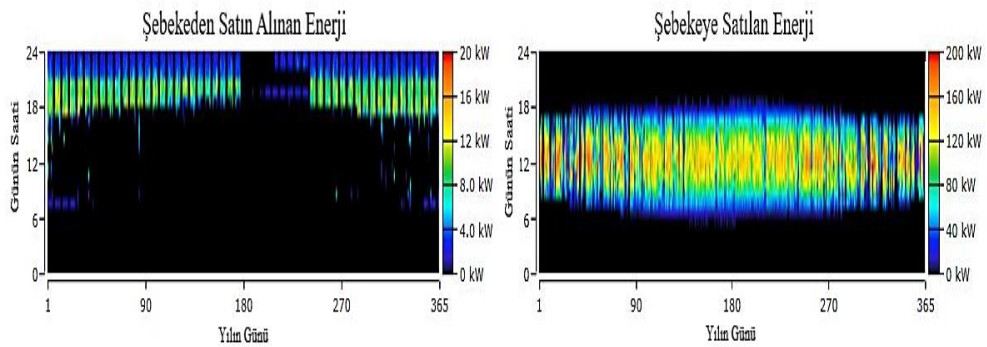


Çizelge 4.4'te, 200kW boyutunda fotovoltaik güç çıkış grafiği ve Çizelge 4.5'te fotovoltaik güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 229 kW ve ortalama güç çıkışı 975 kW olmuştur. Güneş panelleri yılda 4,386 saat çalışmaktadır. Toplam elektrik üretimi 355,976 kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Fotovoltaik güç çıkışı**Çizelge 4.5.** Fotovoltaik güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	229	kW
Ortalama Çıkış	975	kW
Çalışma Saati	4,386	sa/yıl
Kapasite Faktörü	20.3	%
Toplam Üretim	355,976	kWsa/yıl

Çizelge 4.6’da fotovoltaik sistem enerji alış-satış grafiğini göstermektedir. Şebekeden satın alınan enerji değerleri 19-1,314 kWsa arasındadır. Şebekeye satılan enerji değerleri ise 18,345-32,129 kWsa arasındadır.

Çizelge 4.6. Fotovoltaik sistem enerji alış-satış

Çizelge 4.7’de değerler incelendiğinde şebekeden elektrik alış değerinin en düşük temmuz ayında 19 kWsa, en yüksek ocak ayında 1.314 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeye elektrik satış değerinin en düşük aralık ayında 18,345 kWsa, en yüksek haziran ayında 32,129 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeden satın alınan yıllık enerji 9,365

kWsa ve şebekeye satılan yıllık enerji 313,708 kWsa'tır. Böylelikle yıllık toplam 14,748.8 \$ kazanç elde edilmektedir.

Çizelge 4.7. Fotovoltaik sistem enerji değerleri

Aylar	Alınan Enerji (kWsa)	Satılan Enerji (kWsa)	Satın Alınan Net Enerji (kWsa)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti
Ocak	1,314	19,796	-18,481	16.3	-\$858.35
Şubat	813	21,265	-20,453	14.2	-\$982.01
Mart	898	27,017	-26,119	14.7	-\$1,261.04
Nisan	758	27,165	-26,407	13.9	-\$1,282.46
Mayıs	736	29,848	-29,112	15.0	-\$1,418.80
Haziran	613	30,472	-29,859	15.1	-\$1,462.31
Temmuz	19.0	32,129	-32,110	2.65	-\$1,604.55
Ağustos	173	31,831	-31,658	4.82	-\$1,574.27
Eylül	772	29,948	-29,176	13.9	-\$1,420.17
Ekim	980	24,401	-23,421	15.0	-\$1,122.02
Kasım	1,147	21,490	-20,344	16.5	-\$959.83
Aralık	1,142	18,345	-17,203	14.7	-\$803.07
Yıllık	9,365	313,708	-304,343	16.5	-\$14,748.8

Çizelge 4.8'de konvertör çıkış gücü grafiği ve Çizelge 4.9'da konvertör çıkış değerleri görülmektedir. Minimum çıkış gücü 0 kW, maksimum çıkış gücü 200 kW, ortalama çıkış gücü 38.6 kW, yıllık çalışma saati 4,386 ve kapasite faktörü % 19.3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Konvertör çıkış gücü



Çizelge 4.9 Konvertör çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	200	kW
Ortalama Çıkış	38.6	kW
Çalışma Saati	4,386	sa/yıl
Kapasite Faktörü	19.3	%

Çizelge 4.10’da fotovoltaik sistem emisyon değerleri görülmektedir. Burada CO₂: Sera gazlarını, SO₂: Kükürt içeren yakıtların (kömür, petrol ve dizel vb.) yanmasıyla açığa çıkan aşındırıcı bir gazı, NO₂: Herhangi bir yakıtın yüksek sıcaklıkta yakılmasıyla oluşan bileşiği ifade etmektedir (HOMER, 2020). Karbondioksit değeri 5,919 kg/yıl, kükürt dioksit değeri 25.7 kg/yıl, azot dioksit değeri 12.5 kg/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. Fotovoltaik sistem emisyon değerleri

Miktar	Değer	Birimler
CO ₂	5,919	kg/yıl
SO ₂	25.7	kg/yıl
NO ₂	12.5	kg/yıl
CO ₂ : Karbondioksit, SO ₂ :Kükürt dioksit, NO ₂ : Azot dioksit		

4.1.2. RETScreen Expert fotovoltaik sistem analizi

Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.13’de RETScreen Expert fotovoltaik sistem modeline ait simülasyon sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.11’de finansal değerler tablosu görülmektedir. Enflasyon oranının % 61.53 ve proje ömrü 25 yıl olan 200 kW boyutunda fotovoltaik sistem başlangıç maliyeti 130,021 \$, işletme ve bakım maliyetleri 1.202 \$, elektrik enerjisi üretim gelirleri 14,498 \$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. Maliyet analizi

Finansal sürdürülebilirlik

Finansal parametreler

Enflasyon oranı	%	61,5%
Proje ömrü	yıl	25

Maliyetler | Tasarruflar | Hasılat

İlk maliyetler			
İlk maliyet	100%	\$	130.021
Toplam ilk maliyetler	100%	\$	130.021
Yıllık nakit akışı - Yıl 1			
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)		\$	1.202
Borç ödemeleri		\$	0
Toplam yıllık maliyetler		\$	1.202
Yıllık tasarruflar ve gelir			
Elektrik ihraç geliri		\$	14.498
SG azaltım geliri		\$	0
Diğer gelir (maliyet)		\$	0
TE üretim geliri		\$	0
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir		\$	14.498
Net yıllık nakit akışı - Yıl 1		\$	13.296

Finansal sürdürülebilirlik

Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	76,2%
Basit geri ödeme	yıl	9,8
Özsermaye geri ödeme	yıl	3,2

Çizelge 4.12’de yıllık şebekeye satılan enerji miktarı 290 MWsa’tir. Net bugünkü değer -5,653,912.085 \$, olarak hesaplanmıştır.

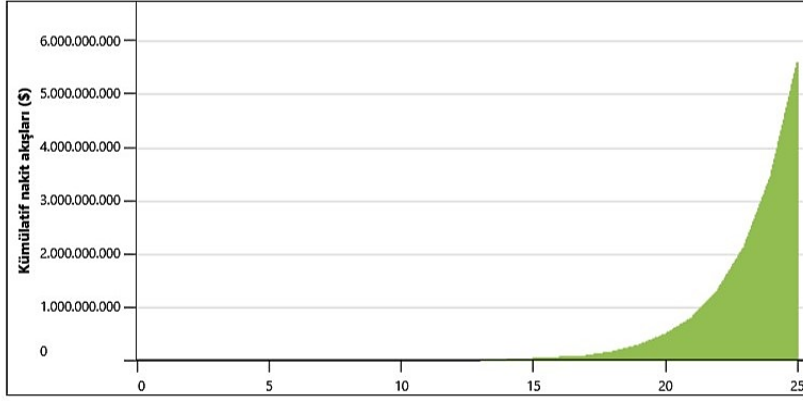
Çizelge 4.12. Nakit akışı

Hedef

	Şebekeye verilen elektrik MWh	Elektrik ihraç geliri \$	Seragazı emisyonunu azaltma tCO ₂
Önerilen durum	290	14.498	135

Temel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

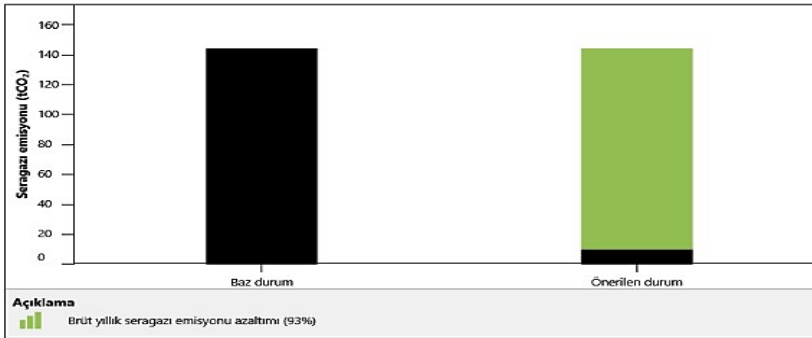
Nakit akışı - Kümülatif



Çizelge 4.13'te sera gazı emisyon değerleri görülmektedir. Yıllık olarak 134.6 ton CO₂ emisyon azaltımı gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçta yaklaşık olarak 25 adet aracın ürettiği CO₂ demektir.

Çizelge 4.13. Emisyon değeri

Seragazı emisyonu



Seragazı eşdeğeri

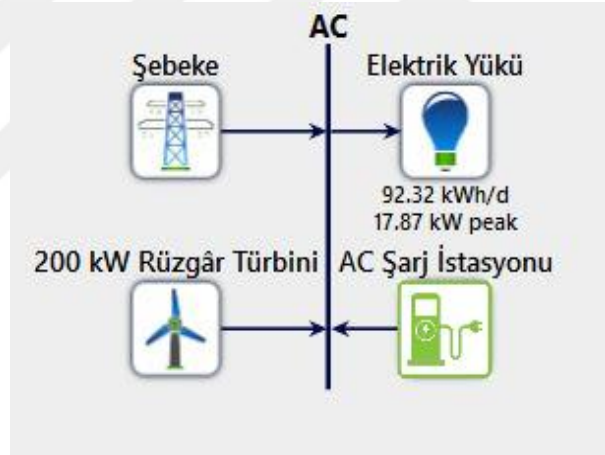


Seragazı emisyonu		
Baz durum	144,8	tCO ₂
Önerilen durum	10,1	tCO ₂
Brüt yıllık seragazı emisyonu azaltımı	134,6	tCO₂

HOMER Pro ve RETScreen Expert programlarında şebekeye verilen yıllık enerji miktarları sırasıyla; 313,708 kWsa ve 290,000 kWsa'tır. Yaklaşık olarak % 7.56 gibi fark vardır. Yıllık şebekeye satılan enerji fiyatı HOMER Pro programında 14,748.8 \$ ve RETScreen Expert programında 14,498 \$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçta yıllık olarak üretilen enerji kazancının % 1.7 gibi çok küçük bir fark olduğunu göstermektedir.

4.2. Rüzgâr Türbin Sistemi Kullanılması Durumu

Bu analizde yalnız rüzgâr türbini kullanılarak şebekeye bağlı sistem incelenmiştir. Rüzgâr türbini kurulumu için yıllık rüzgâr hızı ortalaması, iyi bir gösterge olmaktadır. Rüzgâr türbinin adı Norvento nED100 100kW boyutunda, 3 fazlı ve 2 adettir toplam güç 200 kW boyutundadır. Elektrik üretmek için başlangıç rüzgâr hızı 3 m/s'dir, Ek-2'de detayları verilmiştir. Şekil 4.2'de rüzgâr türbin modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Rüzgâr türbin sistem modeli

4.2.1 HOMER Pro rüzgâr türbin sistem analizi

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.21'de HOMER Pro rüzgâr türbin modeline ait simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Çizelge 4.14. Rüzgâr türbin sistemi maliyet analizi

Yapılan analiz sonucunda şebeke ile entegreli rüzgâr türbin sistem maliyeti: 200 kW gücünde rüzgâr türbini 275,000 \$, yük takip cihazı 1,000 \$ ve elektrikli araç şarj işlemi için gerekli olan AC şarj istasyonu 3,000 \$, kurulum maliyetleri eklendiğinde bugünkü sistem maliyeti 279.000 \$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15 incelendiğinde IRR değeri hesaplanamamıştır, ROI %-0.3, NPC - 3,344,467 \$, birim enerji fiyatı -0.0262 \$ ve sistem amortisman süresi hesaplanamamıştır. Yapılan hesaplamalarda elektrik üretim düşüklüğü ve başlangıç maliyetleri fazla olduğu için rüzgâr türbin sistemi ekonomik bir sistem değildir.

Çizelge 4.15. RT ekonomik değerler

	Değer	Birimler
IRR	d/y	%
ROI	-0.3	%
NPC	-3,344,467	\$
LCOE	-0.0262	\$
Amortisman Süresi	d/y	Yıl
IRR: İç getiri oranı, ROI: Yatırım getirisi, NPC: Net bugünkü değer, LCOE: Birim enerji fiyatı d/y: Değer yok		

Çizelge 4.16 incelendiğinde rüzgâr türbin sisteminin elektrik üretim değerleri yılda 229,554 kWsa, şebekeden elektrik alımı 9,871 kWsa/yıl olarak gerçekleşmiştir. Toplam elektrik kullanımı 239,425 kWsa/yıl ve yenilenebilir enerji kullanımı %95.9'dur.

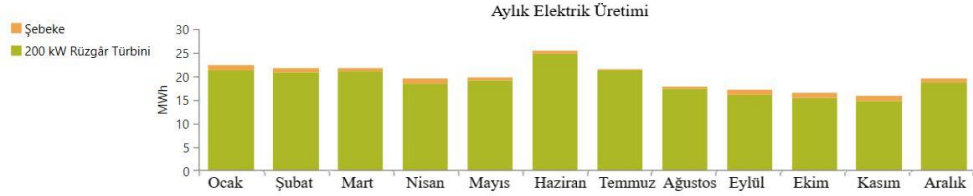
Çizelge 4.16. Rüzgâr türbin sistemi aylık elektrik üretimi

Production	kWh/yr	%
Norvento nED 22 [100kW]	229,554	95.9
Grid Purchases	9,871	4.12
Total	239,425	100

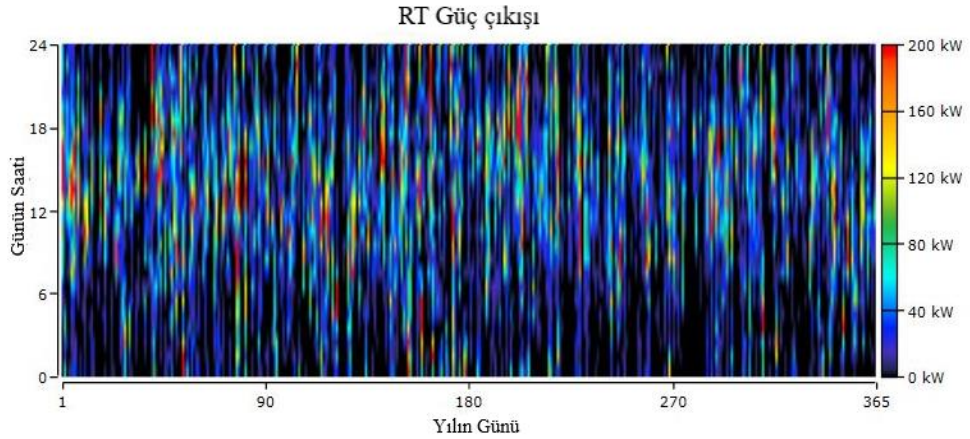
Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	33,697	14.1
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	205,728	85.9
Total	239,425	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	0	0
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	95.9	%
Max. Renew. Penetration	100	%



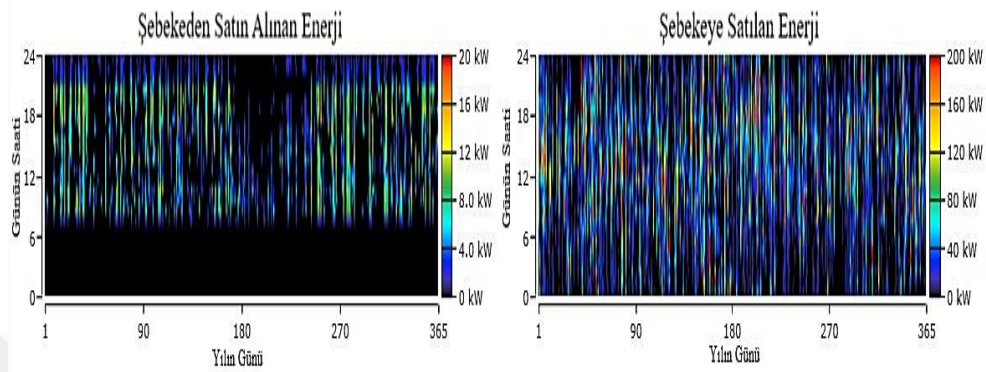
Çizelge 4.17’de rüzgâr türbini güç çıkış grafiği ve Çizelge 4.18’de rüzgâr türbini güç çıkış değerleri görülmektedir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 200 kW, ortalama güç çıkışı 26.2 kW olmuştur. Rüzgâr türbinleri yılda 5,864 saat çalışmaktadır. Toplam elektrik üretimi 229,554 kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17. Rüzgâr türbini güç çıkışı**Çizelge 4.18.** Rüzgâr türbini güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	200	kW
Ortalama Çıkış	26.2	kW
Çalışma Saati	5,864	sa/yıl
Kapasite Faktörü	13.1	%
Toplam Üretim	229,554	kWsa/yıl

Çizelge 4.19’da rüzgâr türbin sistemi enerji alış-satış grafiğini göstermektedir. Elektrik alış değerleri 226-1,079 kWsa arasındadır. Elektrik satış değeri ise 12,747-22,413 kWsa arasındadır.

Çizelge 4.19. Rüzgâr türbin sistemi enerji alış-satış



Çizelge 4.20’de değerler incelendiğinde şebekeden elektrik alış değerinin en düşük temmuz ayında 226 kWsa, en yüksek ekim ayında 1,079 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeye elektrik satış değerinin en düşük kasım ayında 12,747 kWsa, en yüksek haziran ayında 22,413 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeden satın alınan yıllık enerji 9,871 kWsa ve şebekeye satılan yıllık enerji 205,728 kWsa’tır. Böylelikle yıllık toplam 9.299,32 \$ kazanç elde edilmektedir.

Çizelge 4.20. Rüzgâr türbin sistemi enerji değerleri

Aylar	Alınan Enerji (kWsa)	Satılan Enerji (kWsa)	Satın Alınan Net Enerji (kWsa)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti
Ocak	969	19,086	-18,116	14.6	-\$857.35
Şubat	843	18,956	-18,113	16.6	-\$863.48
Mart	803	18,563	-17,759	14.7	-\$847.80
Nisan	944	16,418	-15,474	14.8	-\$726.53
Mayıs	812	16,632	-15,820	12.6	-\$750.41
Haziran	797	22,413	-21,616	15.3	-\$1,041
Temmuz	226	20,396	-20,170	6.01	-\$997.18
Ağustos	372	16,566	-16,194	7.86	-\$791.06
Eylül	1,073	14,172	-13,099	16.4	-\$601.33

Aylar	Alınan Enerji (kWsa)	Satılan Enerji (kWsa)	Satın Alınan Net Enerji (kWsa)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti
Ekim	1,079	13,279	-12,200	15.0	-\$556.06
Kasım	1,014	12,747	-11,733	14.1	-\$535.97
Aralık	938	16,499	-15,562	15.0	-\$731.22
Yıllık	9,871	205,728	-195,857	16.6	-\$9,299.32

Çizelge 4.21 incelendiğinde karbondioksit değeri 6,238 kg/yıl, kükürt dioksit değeri 27 kg/yıl, azot dioksit değeri 13.2 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. SO₂ ve NO₂ gazları çok tehlikeli gazlardır. SO₂, solunum rahatsızlıklarına, asit yağmurlarına ve atmosferik puslara neden olmaktadır. NO₂, solunum problemlerine, dumana ve asit yağmurlarına yol açmaktadır.

Çizelge 4.21. Rüzgâr türbin sistemi emisyon değerleri

Miktar	Değer	Birimler
CO ₂	6,238	kg/yıl
SO ₂	27.0	kg/yıl
NO ₂	13.2	kg/yıl

CO₂: Karbondioksit, SO₂:Kükürt dioksit,
NO₂: Azot dioksit

4.2.2 RETScreen Expert rüzgâr türbin sistem analizi

Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.24’de RETScreen Expert rüzgâr türbin modeline ait simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Çizelge 4.22’de finansal değerler tablosu görülmektedir. Enflasyon oranının % 61.53 ve proje ömrü 25 yıl olan 200 kW boyutunda rüzgâr türbin sistemi başlangıç maliyeti 280,000 \$, işletme ve bakım maliyetleri 1.500 \$, elektrik enerjisi üretim gelirleri 8,649 \$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.22. Maliyet analizi

Finansal sürdürülebilirlik

Finansal parametreler

Enflasyon oranı	%	61,5%
Proje ömrü	yıl	25

Maliyetler | Tasarruflar | Hasılat

İlk maliyetler			
İlk maliyet	100%	\$	280.000
Toplam ilk maliyetler	100%	\$	280.000
Yıllık nakit akışı - Yıl 1			
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)		\$	1.500
Borç ödemeleri		\$	0
Toplam yıllık maliyetler		\$	1.500
Yıllık tasarruflar ve gelir			
Elektrik ihraç geliri		\$	8.649
SG azaltım geliri		\$	0
Diğer gelir (maliyet)		\$	0
TE üretim geliri		\$	0
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir		\$	8.649
Net yıllık nakit akışı - Yıl 1		\$	7.149

Finansal sürdürülebilirlik

Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	56,4%
Basit geri ödeme	yıl	39,2
Özsermaye geri ödeme	yıl	5,7

Çizelge 4.23'te yıllık şebekeye satılan enerji miktarı 173 MWsa'tır. Net bugünkü değer -3,017,789.950 \$, olarak hesaplanmıştır.

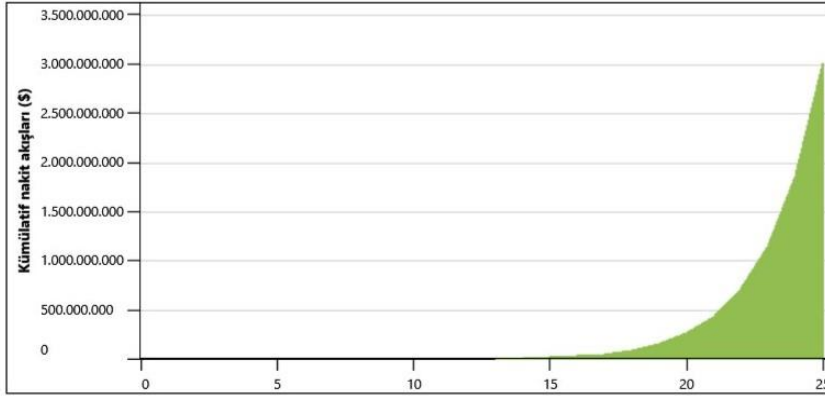
Çizelge 4.23. Nakit akışı

Hedef

	Şebekeye verilen elektrik MWh	Elektrik ihracat geliri \$	Seragazı emisyonunu azaltma tCO ₂
Önerilen durum	173	8.649	80,3

Temel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

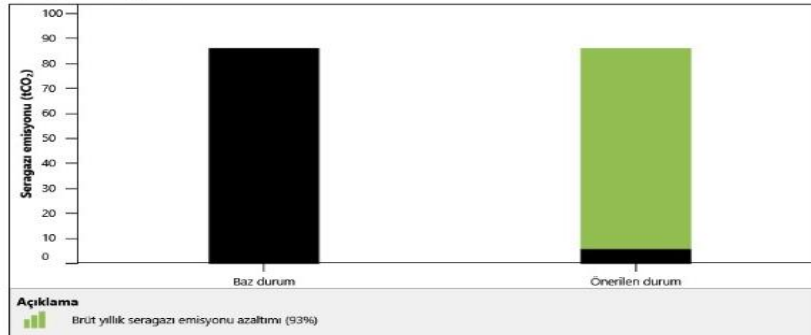
Nakit akışı - Kümülatif



Çizelge 4.24'te sera gazı emisyon değerleri görülmektedir. Yıllık olarak 80.3 ton CO₂ emisyon azaltımı gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçta yaklaşık olarak 15 adet aracın ürettiği CO₂ demektir.

Çizelge 4.24. Emisyon değeri

Seragazı emisyonu



Seragazı eşdeğeri

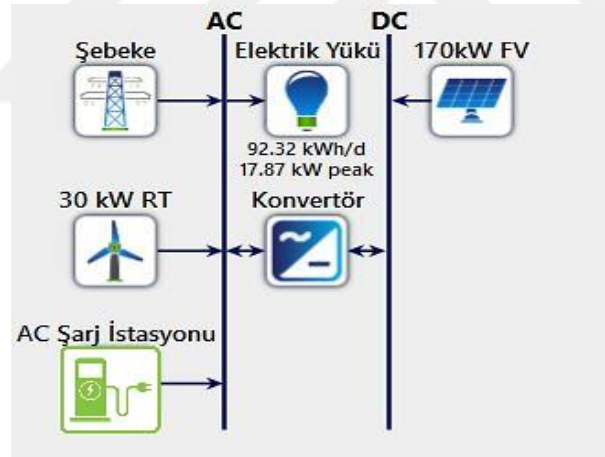


Seragazı emisyonu		
Baz durum	86,4	tCO ₂
Önerilen durum	6	tCO ₂
Brüt yıllık seragazı emisyonu azaltımı	80,3	tCO₂

HOMER Pro ve RETScreen Expert programlarında şebekeye verilen yıllık enerji miktarları sırasıyla; 205,728 kWsa ve 173,000 kWsa'tır. Yaklaşık olarak % 15.9 gibi fark vardır. Yıllık şebekeye satılan enerji fiyatı HOMER Pro programında 9,299.32 \$ ve RETScreen Expert programında 8,649 \$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçta yıllık olarak üretilen enerji kazançlarının arasında % 7 fark olduğunu göstermektedir.

4.3. Hibrit Sistem Kullanılması Durumu

Bu analizde şebekeye bağlı rüzgâr türbin ve fotovoltaik sistem incelenmiştir. HOMER Pro yazılımında tasarlanan sistem modeli Şekil 4.3'te gösterilmiştir. HOMER Pro yazılımı, enerji üretim sisteminin en optimize edilmiş kombinasyonlarını sağlamaktadır. Konuma ve belirli kriterlere göre şebeke-fotovoltaik-rüzgâr türbini modeli tasarlanmaktadır (Ahamed vd., 2021). FV sisteminin adı Jinko Solar JKM540M -72HL4-TV, 540 W ve toplam güç 170 kW boyutundadır. Rüzgâr türbinin adı Eocycle EOX S-16, 30 kW boyutunda, 3 fazlı ve 1 adettir ve detayları Ek-3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Hibrit sistem modeli

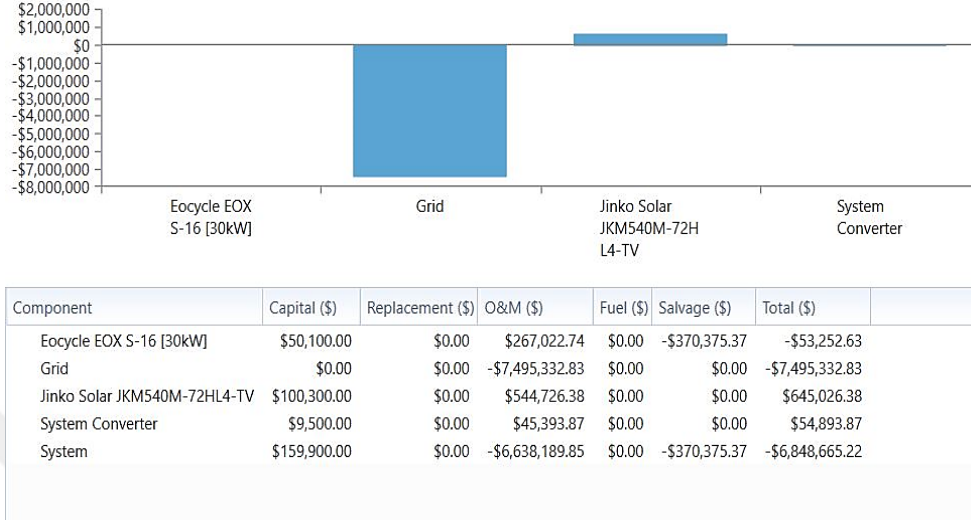
4.3.1. HOMER Pro hibrit sistem analizi

Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.33'te HOMER Pro hibrit sistem modeline ait simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Çizelge 4.25'te, yapılan analiz sonucunda şebeke ile entegreli hibrit sistem maliyeti: 170 kW gücünde güneş tarlası kurulumu 100,300 \$, 30 kW gücünde rüzgâr türbin sistemi 50,100 \$, 170 kW gücünde konvertör 9,500 \$, elektrikli araç şarj işlemi

için gerekli olan AC şarj istasyonu 3,000 \$, kurulum maliyetleri eklendiğinde bugünkü sistem maliyeti 162,900 \$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.25. Hibrit sistem maliyet analizi



Çizelge 4.26 incelendiğinde IRR %8.7, ROI %6.0, NPC -6,848,665 \$, birim enerji fiyatı -0.0393 \$ ve sistem amortisman süresi 10.12 yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.26. Hibrit sistem ekonomik değerler

	Değer	Birimler
IRR	8.7	%
ROI	6.0	%
NPC	-6,848,665	\$
LCOE	-0.0393	\$
Amortisman Süresi	10.12	Yıl

IRR: İç getiri oranı, ROI: Yatırım getirisi,
NPC: Net bugünkü değer, LCOE: Birim enerji fiyatı

Çizelge 4.27 incelendiğinde hibrit sistem elektrik üretim değerleri: fotovoltaik sistem yılda 302,579 kWsa, rüzgâr türbin sistemi 33,085 kWsa/yıl olarak gerçekleşmiştir. Şebekeden elektrik alımı 6,021 kWsa/yıl, toplamda 341,685 kWsa/yıl elektrik kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı % 98,2 olmuştur.

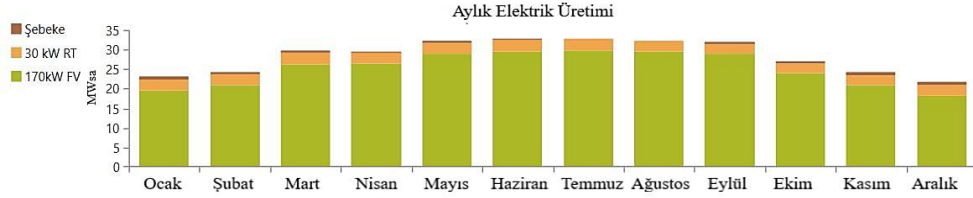
Çizelge 4.27. Hibrit sistem aylık elektrik üretimi

Production	kWh/yr	%
Jinko Solar JKM540M-72HL4-TV	302,579	88.6
Eocycle EOX S-16 [30kW]	33,085	9.68
Grid Purchases	6,021	1.76
Total	341,685	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	33,697	10.3
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	292,743	89.7
Total	326,439	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	123	0.0360
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

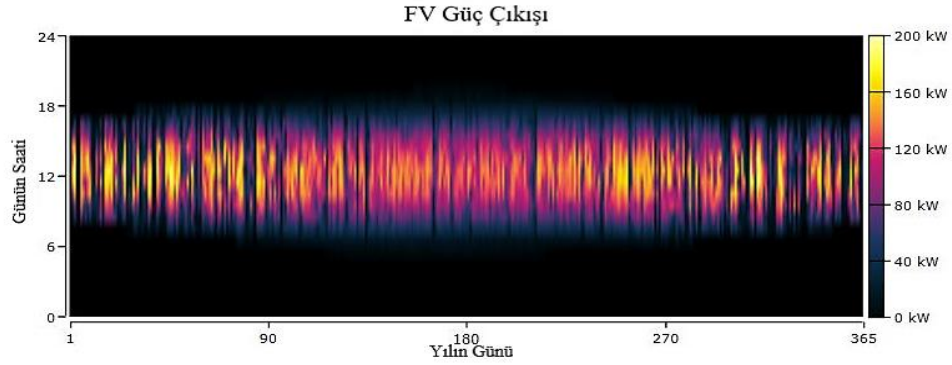
Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	98.2	%
Max. Renew. Penetration	114	%



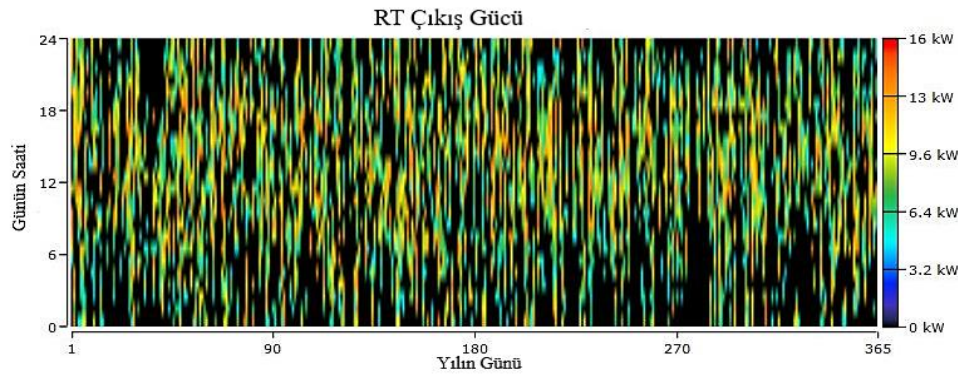
Çizelge 4.28’de toplam 200 kW boyutunda hibrit sistemde, 170 kW’lık FV sistem ve 1 adet 30 kW’lık RT sistemi güç çıkış grafikleri görülmektedir.

Çizelge 4.28. (a) Fotovoltaik güç çıkışı (b) Rüzgâr türbin güç çıkışı

(a)



(b)



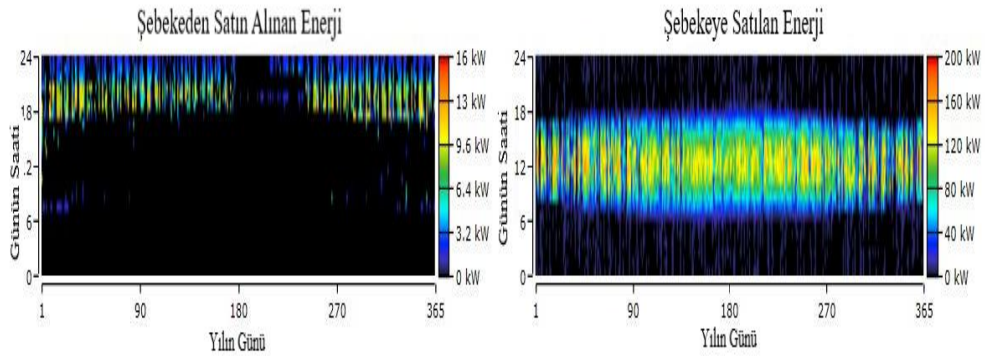
Çizelge 4.29 incelendiğinde FV sistem minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 194 kW ve ortalama çıkış 34.5 kW olmuştur. FV sistem kapasite faktörü %20.3'tür ve güneş panelleri yılda 4,386 saat çalışmaktadır. Rüzgâr türbini minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 14.9 kW ve ortalama çıkış 3.78 kW olmuştur. RT sistem kapasite faktörü %12.6'dır ve rüzgâr türbini yılda 3.547 saat çalışmaktadır.

Çizelge 4.29. Hibrit sistem güç çıkışı

Miktar	Fotovoltaik Sistem	Rüzgâr Türbin Sistemi	Birimler
Minimum Çıkış	0	0	kW
Maksimum Çıkış	194	14.9	kW
Ortalama Çıkış	34.5	3.78	kW
Çalışma Saati	4,386	3,547	sa/yıl
Kapasite Faktörü	20.3	12.6	%
Toplam Üretim	302,579	33,085	kWsa/yıl

Çizelge 4.30'da hibrit sistem enerji alış-satış grafiğini göstermektedir. Elektrik alış değerleri 11-777 kWsa arasındadır. Elektrik satış değeri ise 17,639-30,015 kWsa arasındadır.

Çizelge 4.30. Hibrit sistem şebekeden elektrik alış-satış



Çizelge 4.31'de değerler incelendiğinde şebekeden elektrik alış değerinin en düşük temmuz ayında 11.2 kWsa, en yüksek ocak ayında 777 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeye elektrik satış değerinin en düşük aralık ayında 17,696 kWsa, en yüksek temmuz ayında 30,116 kWsa olduğu görülmektedir. Şebekeden satın alınan yıllık enerji 6,021 kWsa ve şebekeye satılan yıllık enerji 292,742 kWsa'tır. Böylelikle yıllık toplam 14,035 \$ kazanç elde edilmektedir.

Çizelge 4.31. Hibrit sistem enerji değerleri

Aylar	Alınan Enerji (kWsa)	Satılan Enerji (kWsa)	Satın Alınan Net Enerji (kWsa)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti
Ocak	777	18,919	-18,142	14.6	-\$868.27
Şubat	550	20,207	-19,657	14.2	-\$955.38
Mart	523	25,151	-24,627	14.7	-\$1,205
Nisan	497	25,203	-24,706	13.9	-\$1,210
Mayıs	470	27,511	-27,041	14.2	-\$1,329
Haziran	380	28,248	-27,869	15.1	-\$1,374
Temmuz	11.2	30,116	-30,105	2.45	-\$1,505
Ağustos	125	29,547	-29,423	4.82	-\$1,465
Eylül	521	27,424	-26,903	13.9	-\$1,319
Ekim	678	22,656	-21,978	15.0	-\$1,065
Kasım	756	20,064	-19,308	14.1	-\$927.59
Aralık	734	17,696	-16,962	14.7	-\$811.43
Yıllık	6,021	292,742	-286,721	15.1	-\$14,035

Çizelge 4.32’de hibrit sistem konvertör çıkış gücü grafiği ve Çizelge 4.33’te hibrit sistem konvertör çıkış değerleri görülmektedir. Minimum çıkış gücü 0 kW, maksimum çıkış gücü 170 kW ve ortalama çıkış gücü 32.8 kW’tır. Konvertör yılda 4,386 saat çalışmaktadır ve kapasite faktörü %19.3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.32. Hibrit sistem konvertör çıkış gücü



Çizelge 4.33. Hibrit sistem konvertör çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	170	kW
Ortalama Çıkış	32.8	kW
Çalışma Saati	4,386	sa/yıl
Kapasite Faktörü	19.3	%

Çizelge 4.34 incelendiğinde karbondioksit değerinin 3.805 kg/yıl, kükürt dioksit değerinin 16.5 kg/yıl, azot dioksit değerinin 8.07 kg/yıl olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.34. Hibrit sistem emisyon değerleri

Miktar	Değer	Birimler
CO ₂	3,805	kg/yıl
SO ₂	16.5	kg/yıl
NO ₂	8.07	kg/yıl

CO₂: Karbondioksit, SO₂:Kükürt dioksit,
NO₂: Azot dioksit

Şebekeye bağlı bir sistemi simüle ederken HOMER Pro programı, toplam şebeke satın alımlarından toplam şebeke satışlarının çıkarılmasıyla, elde edilen net şebeke satın alımlarını hesaplamaktadır. Net şebeke alımlarıyla ilişkili her kirleticinin emisyonunu hesaplamak için, net şebeke satın alımlarını (kWsa cinsinden) her kirleticiye ilişkin emisyon faktörüyle (g/kWsa cinsinden) çarpmaktadır. Sistem yıl içinde şebekeden satın aldığından daha fazla elektriği şebekeye satıyorsa, net şebeke satın alımları negatif olur ve her kirleticinin şebekeyle ilgili emisyon değerleri de negatif olmaktadır (HOMER, 2020). Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi ile sağlanacak sera gazı salım azaltım hesaplamalarına yönelik faktörlere yer vermektedir. Yeni kurulacak bir güneş ya da rüzgâr enerji santrali ile üretilecek her 1 kWsa'lık elektrik için 0.6488 kg CO₂ emisyonundan kaçınılacağını hesaplamışlardır (ETKB, 2022b). Sonuçlar incelendiğinde yenilenebilir enerji kullanımı ile emisyon değerleri düşük seviyelere çekildiği gözlemlenmektedir.

4.3.2. RETScreen Expert hibrit sistem analizi

Çizelge 4.35 ve Çizelge 4.37’de RETScreen Expert hibrit sistem modeline ait simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Çizelge 4.35’te finansal değerler tablosu görülmektedir. Enflasyon oranının % 61.53 ve proje ömrü 25 yıl olan 200 kW boyutunda hibrit sistem başlangıç maliyeti 160,815 \$, işletme ve bakım maliyetleri 1.471 \$, elektrik enerjisi üretim gelirleri 13,496 \$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.35. Maliyet analizi

Finansal sürdürülebilirlik

Finansal parametreler

Enflasyon oranı	%	61,5%
Proje ömrü	yıl	25

Maliyetler | Tasarruflar | Hasılat

İlk maliyetler			
İlk maliyet	100%	\$	160.815
Toplam ilk maliyetler	100%	\$	160.815
Yıllık nakit akışı - Yıl 1			
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)		\$	1.471
Borç ödemeleri		\$	0
Toplam yıllık maliyetler		\$	1.471
Yıllık tasarruflar ve gelir			
Elektrik ihraç geliri		\$	13.496
SG azaltım geliri		\$	0
Diğer gelir (maliyet)		\$	0
TE üretim geliri		\$	0
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir		\$	13.496
Net yıllık nakit akışı - Yıl 1		\$	12.026

Finansal sürdürülebilirlik

Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	70,5%
Basit geri ödeme	yıl	13,4
Özsermaye geri ödeme	yıl	3,7

Çizelge 4.36’da yıllık şebekeye satılan enerji miktarı 270 MWsa’tir. Net bugünkü değer -5,082,803.228 \$, olarak hesaplanmıştır.

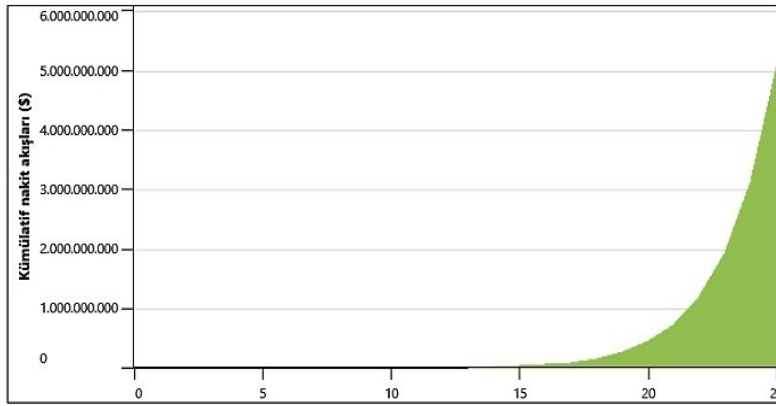
Çizelge 4.36. Nakit akışı

Hedef

	Şebekeye verilen elektrik MWh	Elektrik ihraç geliri \$	Seragazi emisyonunu azaltma tCO ₂
Önerilen durum	270	13.496	125

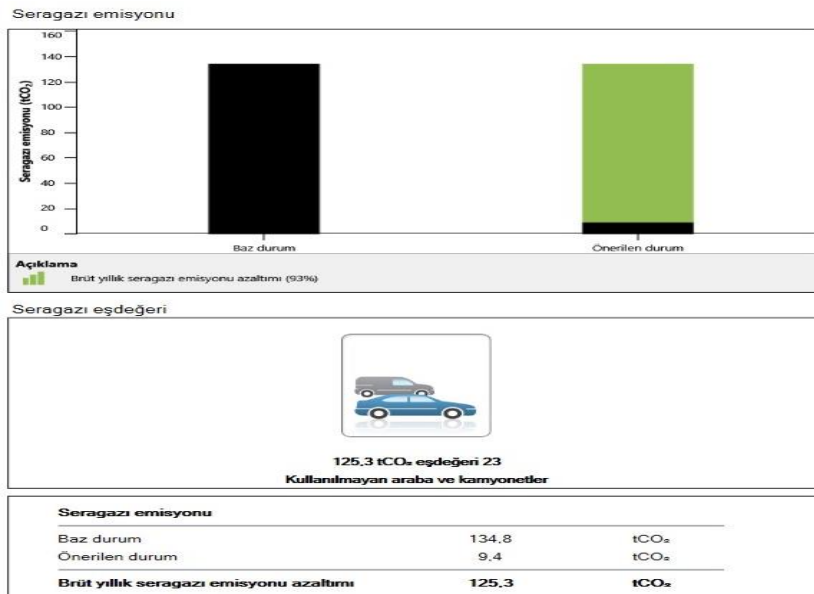
Temel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Nakit akışı - Kümülatif



Çizelge 4.37’de sera gazı emisyon değerleri görülmektedir. Yıllık olarak 125.3 ton CO₂ emisyon azaltımı gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçta yaklaşık olarak 23 adet aracın ürettiği CO₂ demektir.

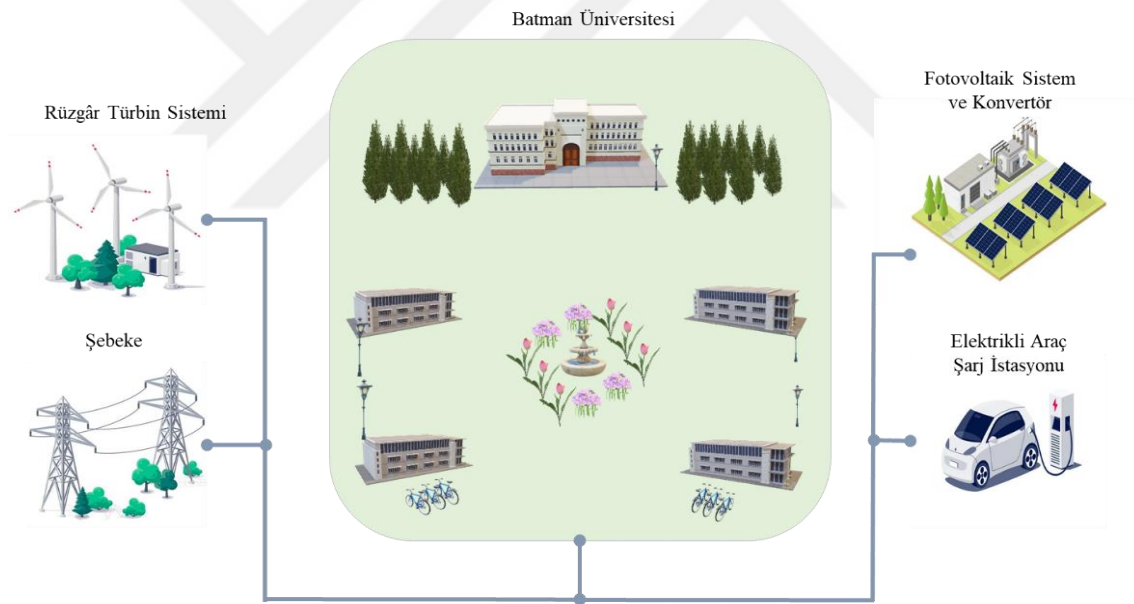
Çizelge 4.37. Emisyon değeri



HOMER Pro ve RETScreen Expert programlarında şebekeye verilen yıllık enerji miktarları sırasıyla; 292,742 kWsa ve 270,000 kWsa'tır. Yaklaşık olarak %7.73 gibi fark vardır. Yıllık şebekeye satılan enerji fiyatı HOMER Pro programında 14,035 \$ ve RETScreen Expert programında 13,496 \$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçta yıllık olarak üretilen enerji kazançlarının arasında %3.84 fark olduğunu göstermektedir.

Oluşturulan tüm senaryoların maliyet analizinde, yıllık enflasyon oranı %61.53 (TÜİK, 2023), nominal faiz oranı (iskonto oranı) %35 (TCMB, 2023) olarak alınmıştır. Yenileme süresi 25 yıl olarak belirlenmiştir. Enerji alış-satış fiyatı HOMER Pro ve RETScreen Expert programlarından basit tarife seçilmiştir. Elektrik alış fiyatının 0.10 \$/kWsa ve satış fiyatının ise 0.05 \$/kWsa olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.4'te örnek bir hibrit mikro şebeke sistem tasarımı görülmektedir. Bu model oluşturulurken Üniversitemiz kampüsüne 2 araç kapasiteli şarj istasyonunun elektrik ihtiyacını karşılayabilecek bir model tasarlanmıştır.



Şekil 4.4. Örnek bir hibrit mikro şebeke sistem tasarımı

Fotovoltaik ve rüzgâr türbininden elde edilen güç iklim değişikliklerine bağlıdır. Mikro şebekelerin güvenilirliği, her iki sistem (FV ve RT sistemi) ek bir kaynağa bağlandığında artar (Dawoud vd., 2018). Bu depolama sistemi veya şebeke bağlantısı olabilir. Depolama sistemlerinin maliyetinden dolayı, şebeke bağlantısı tercih sebebidir. Hibrit yenilenebilir sistem, şebeke kayıplarını azaltmak ve verimliliğini artırmak için dağıtılmış üretim kaynakları olarak kullanılabilen özel bir enerji sistemi türüdür. Genel

olarak, tasarım aşamasında iki ana kısıtlama vardır. Birincisi, kullanılabilirlik ve ikincisi, ekipman maliyetidir (Ghiyasi, 2019).

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin güvenilirlik, kararlılık ve güç verimliliği açısından tek yenilenebilir enerji sistemlerinden daha üstün olduğu görülmüştür çünkü bunlar bireysel yenilenebilir enerji sistemlerinin kesintilerini önemli ölçüde azaltabilir (Al Busaidi vd., 2016; Heydari vd., 2023). Bileşenlerin boyutu, yenilenebilir mikro şebeke sistemlerinin tasarımında önemli bir faktördür (Jacob vd., 2018; Heydari vd., 2023).

4.4. Maliyet Özeti

Çizelge 4.38’de sermaye maliyeti (IC) en düşük fotovoltaiik sistem çıkmaktadır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) en düşük hibrit sistemin, işletme-bakım maliyetinin (O&M) en düşük fotovoltaiik sistemin, amortisman süresinin en düşük fotovoltaiik sistemin ve net bugünkü maliyetin (NPC) en düşük fotovoltaiik sisteminin çıktığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.38’de ki sonuçlar incelendiğinde, Üniversite kampüsümüz için en ekonomik ve kazançlı sistemin fotovoltaiik sistem olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.38. Karşılaştırmalı maliyet özeti

Bileşenler	Sermaye Maliyeti (\$)	Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (\$/kWsa)	İşletme-Bakım Maliyeti (\$/yıl)	Amortisman Süresi (yıl)	Net Mevcut Maliyet (\$)
Fotovoltaiik Sistem	133,000	-0.038	-13,449	7.73	-7,052,314.75
Rüzgâr Türbin Sistemi	279,000	-0.0262	-6,779	d/y	-3,344,466.82
Hibrit Sistem	162,900	-0.0393	-13,124	10.12	-6,848,665.0

d/y: Değer yok

4.5. Emisyon Değerleri

Çizelge 4.39 karşılaştırmalı emisyon değerlerini göstermektedir. Emisyon değeri, güç sistemi tarafından üretilen her kirletici maddenin yıllık olarak toplam miktarını kg/yıl cinsinden göstermektedir. Kirletici maddeler jeneratörlerdeki, kazandaki yakıt ve biyokütle tüketiminin yanı sıra şebeke gücü tüketiminden de kaynaklanmaktadır. Kirleticiler karbondioksit, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar, partikül madde, kükürt dioksit ve nitrojen oksitlerden oluşmaktadır (HOMER, 2020). En düşük karbondioksit değerinin 3,805 kg/yıl ile hibrit sistemde, en düşük kükürt dioksit değerinin 16.5 kg/yıl ile hibrit sistemde ve en düşük azot dioksit değerinin 8.07 kg/yıl ile hibrit sistemde olduğu hesaplanmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, hibrit sistem kullanımında en düşük sera gazı emisyon değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.39. Karşılaştırmalı emisyon değerleri

Bileşenler	CO ₂ (kg/yıl)	SO ₂ (kg/yıl)	NO ₂ (kg/yıl)
Fotovoltaik Sistem	5,919	25.7	12.5
Rüzgâr Türbin Sistemi	6,238	27	13.2
Hibrit Sistem	3,805	16.5	8.07

CO₂: Karbondioksit, SO₂:Kükürt dioksit, NO₂: Azot dioksit

4.6 Tartışma

Bu çalışmada 200 kW gücünde yenilenebilir sistemler tasarlanmış ve farklı senaryolarda incelemeleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, en fazla elektrik üretiminin Çizelge 4.5 incelenerek fotovoltaik sistemde çıktığı gözlemlenmektedir. Maliyet özeti Çizelge 4.38’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, sermaye maliyetlerinin üç durum içinde farklı olduğu belirlenmiştir. En düşük sermaye maliyeti fotovoltaik sistemde, en yüksek sermaye maliyeti ise rüzgâr türbin sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca fotovoltaik sistemin amortisman süresinin tek haneli rakamlarda olmasından dolayı kazançlı bir yatırım olduğu değerlendirilmektedir. Emisyon değerleri

Çizelge 4.39’da karşılaştırılmıştır. En düşük emisyon değerine sahip sistemin hibrit sistem olduğu değerlendirilmiştir.

Yalnız fotovoltaik sistem kurulması, sermaye maliyeti açısından daha mı uygun ya da hibrit sistem kurulup düşük emisyon değerine sahip temiz bir çevre mi daha uygundur?

Cevap yenilenebilir sistemlerde sadece tek bir kaynağa bağlı kalmak üretim ve kazanç açısından uygun değildir çünkü meteorolojik şartlardan dolayı her zaman tam verimde üretim gerçekleşmeyebilir ayrıca kaynak çeşitliliğini artırmak üretimi ve sürdürülebilirliği artırmaktadır (Al Busaidi vd., 2016; Heydari vd., 2023). Batman ilinin güneş enerjisi potansiyeli, rüzgâr enerjisi potansiyeline göre daha yüksektir. Bu sebeple HOMER Pro ve RETScreen Expert programlarında, hibrit sistem tasarımında 170 kW boyunda fotovoltaik sistem, 30 kW boyutunda rüzgâr türbin sistemi kurulumunun daha optimum değerde üretim ve kazanç sağlayacağı hesaplanmıştır. Hibrit sistem kurulum maliyetinin fotovoltaik sisteme yakın değerde olduğu Çizelge 4.38’de görülmektedir. Daha temiz bir çevre ve enerji için emisyon değerlerinin hibrit sistemde en düşük değerde olduğu Çizelge 4.39’da görülmektedir. Bu nedenlerle hibrit sistem kurulumunun daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Son yıllarda elektrikli araçların (EV'ler) yaygın olarak benimsenmesi, çevre kirliliği, küresel ısınma ve petrole bağımlılığın azaltılmasında katkı sağlamaktadır. EV'lerin hızla gelişmesiyle birlikte tedarik ekipmanı veya şarj altyapısı da hayati önem taşımaktadır. İçten yanmalı motorlu araçların elektrikli araçlara geçişini desteklemek için şarj istasyonlarının çoğalması büyük önem arz etmektedir. EV'lerin şarjı için elektrik şebekesine bağlanması, elektrik şebekesinin çalışması üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Elektrik şebekesini desteklemek ve karbon emisyonunu azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılabilmektedir.

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsüne elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacı için yenilenebilir kaynaklar kullanılarak teknik ve ekonomik analiz yapılmıştır. Yapılan analizler HOMER Pro ve RETScreen Expert programları ile gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarlanırken yalnız fotovoltaik sistem, yalnız rüzgâr türbin sistemi ve fotovoltaik sistem + rüzgâr türbin sistemi (hibrit sistem) olarak üç durum ele alınmıştır. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün güneş ve rüzgâr potansiyelleri belirlenmiş, karşılaştırmalı maliyet özeti, aylık enerji üretim değerleri, enerji alış-satış değerleri ve emisyon değerleri hesaplanmıştır. Örnek bir hibrit mikro şebeke tasarlanmıştır.

Yapılan analiz sonucunda, Batman ilinin güneş enerji potansiyelinin, rüzgâr enerji potansiyelinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Güneş paneli kapasite faktörü %20.3 ve rüzgâr türbini kapasite faktörü %12.6 olarak gerçekleşmiştir. Bütün sistemlerin boyutu 200 kW'tır. Hibrit sistemde fotovoltaik sistem boyutu 170 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 30 kW seçilmiştir. Fotovoltaik sistemin elektrik kullanımı %97.4'lük kısmı yenilenebilir enerji ile %2.6'lık kısmı ise şebeke alımından, rüzgâr türbin sisteminin elektrik kullanımı %95.9'luk kısmı yenilenebilir enerji ile %4.1'lik kısmı şebeke alımından, hibrit sisteminin elektrik kullanımı %98.2'lik kısmı yenilenebilir enerji ile %1.8'lik kısmı şebeke alımından sağlanmaktadır.

Elde edilen verilere göre, ilk senaryoda fotovoltaik sistemin; sermaye maliyeti 133,000 \$, net bugünkü değeri -7,052,314.75 \$, enerji üretim değeri 355,976 kWsa/yıl, amortisman süresi 7.73 yıl ve CO₂ emisyon değeri 5,919 kg/yıl olarak hesaplanmıştır.

İkinci senaryoda rüzgâr türbin sisteminin; sermaye maliyeti 279,000 \$, net bugünkü değeri -3,344,466.82 \$, enerji üretim değeri 229,554 kWsa/yıl, amortisman süresi d/y (değer yok) ve CO₂ emisyon değeri 3,835 kg/yıl olarak hesaplanmıştır.

Üçüncü senaryoda hibrit sistemin; sermaye maliyeti 162,900 \$, net bugünkü değeri -6,848,665.0 \$, enerji üretim değeri 335,664 kWsa/yıl, amortisman süresi 10.12 yıl ve CO₂ emisyon değeri 6,238 kg/yıl olarak hesaplanmıştır.

Değerlendirmeler sonucunda, en ekonomik sistem fotovoltaiik sistem olmuştur. Karbon emisyon değeri en düşük sistem hibrit sistem olmuştur. Ayrıca hibrit sistem ile fotovoltaiik sistemin ekonomik ve enerji üretim değerleri birbirine yakındır. Literatürde hibrit kaynakların enerji çeşitliliği ve daha kesintisiz enerji olması sebebiyle tekli kaynaklara göre daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir. Bu sebeple hibrit sistem kurulumu sürdürülebilirlik açısından dikkat çekecektir.

5.2 Öneriler

Yenilenebilir kaynakların kullanımı ülkemizde ve dünyada her geçen gün artmaktadır. Enerji kesintisini engellemek ve sürekliliğini sağlamak amacıyla şarj istasyonlarına ertelenebilir şarj modları eklenebilir ayrıca elektrikli araçlara uygun altyapı sistemi sağlanarak araçtan şebekeye (Vehicle to Grid-V2G) ve şebekeden araca (Grid to Vehicle-G2V) sistemleri ile ihtiyaç dahilinde şebekeye elektrik verilebilir ve şebekeden elektrik alınabilir.

KAYNAKLAR

- Adalı, S. (2022). Konut kullanımında hibrit enerji sisteminin kurulumunun ve maliyetinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 37-45.
- Ahamed, A. F., Vibahar, R. R., Purusothaman, S., Gurudevan, M., & Ravivarma, P. (2021). Optimization of Hybrid Microgrid of Renewable Energy Efficiency Using Homer Software. *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*, 11(4), 3427-3441.
- Al Busaidi, A. S., Kazem, H. A., Al-Badi, A. H., & Khan, M. F. (2016). A review of optimum sizing of hybrid PV–Wind renewable energy systems in oman. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 185-193.
- Alhazmi, Y. A., Mostafa, H. A., & Salama, M. M. (2017). Optimal allocation for electric vehicle charging stations using Trip Success Ratio. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 91, 101-116.
- Ammari, C., Belatrache, D., Touhami, B., & Makhloufi, S. (2022). Sizing, optimization, control and energy management of hybrid renewable energy system—A review. *Energy and Built Environment*, 3(4), 399-411.
- Anonim, (2022). Batman Üniversitesi tarihçe, <https://batman.edu.tr/tarihce#:~:text=Batman%20%C3%9Cniversitesi%2C%201930'lu%20y%C4%B1llarda,2007%20tarih%20ve%205662%20say%C4%B1%C4%B1%20%E2%80%9C>, [Erişim Tarihi: 28 Mart 2023].
- Anonymous, (2023). Electric vehicle database tesla model s plaid, <https://ev-database.org/car/1405/Tesla-Model-S-Plaid>, [Erişim Tarihi: 26 Mart 2023].
- Arif, S. M., Lie, T. T., Seet, B. C., Ayyadi, S., & Jensen, K. (2021). Review of electric vehicle technologies, charging methods, standards and optimization techniques. *Electronics*, 10(16), 1910.
- Awan, A. B. (2019). Performance analysis and optimization of a hybrid renewable energy system for sustainable NEOM city in Saudi Arabia. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(2).
- Aykut, E. (2019). Marmara üniversitesi Göztepe kampüsü için hibrit enerji sistemlerinin tekno-ekonomik ve çevresel açıdan incelenmesi (Doctoral dissertation, *Marmara Üniversitesi* (Turkey)).
- Bayram, B. (2020). Bev, hev, phev, fcev kısaltmaları ne anlama gelir, <https://www.tehad.org/2020/03/21/bev-hev-phev-fcev-kisaltmalari-ne-anlama-gelir/>, [Erişim Tarihi 16 Mayıs 2023].
- Bekele, G. (2009). *Study into the potential and feasibility of a standalone solar-wind hybrid electric energy supply system* (Doctoral dissertation, KTH).

- Brenna, M., Foiadelli, F., Leone, C., & Longo, M. (2020). Electric vehicles charging technology review and optimal size estimation. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15, 2539-2552.
- Brook, B. W., & Bradshaw, C. J. (2015). Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 29(3), 702-712.
- Chan, C. C. (2012). The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: Lessons learned [scanning our past]. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206-212.
- Chen, J., Nguyen, M. K., Yao, Z., Wang, C., Gao, L., & Hu, G. (2021). DC-DC converters for transportation electrification: topologies, control, and future challenges. *IEEE Electrification Magazine*, 9(2), 10-22.
- Chowdhury, S. R. (2021). A three-phase overlapping winding based wireless charging system for transportation applications (Doctoral dissertation, *University of Akron*).
- Çakmak, Ç., Kurban, M., & Dokur, E. (2020). Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi. Elektrik Mühendisleri Odası: https://www.emo.org.tr/ekler/887f3eae0a7eff_ek.pdf adresinden alındı.
- Davis, N. N., Badger, J., Hahmann, A. N., Hansen, B. O., Mortensen, N. G., Kelly, M., ... & Drummond, R. (2023). The Global Wind Atlas: A high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 104(8), E1507-E1525.
- Dawoud, S. M., Lin, X., & Okba, M. I. (2018). Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2039-2052.
- Dawoud, S. M. (2021). Developing different hybrid renewable sources of residential loads as a reliable method to realize energy sustainability. *Alexandria Engineering Journal*, 60(2), 2435-2445.
- Deshmane, M. K. S., Yadav, M. A. A., Ingawale, M. S. M., & Kamble, M. A. S. (2020). Wind data Estimation of Kolhapur district using Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms (iHOGA) and NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA Power). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(3), 2530-2538.
- Doshi, K., & Harish, V. S. K. V. (2021). Analysis of a wind-PV battery hybrid renewable energy system for a dc microgrid. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5451-5457.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons.
- Durmuş, F. S., & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3(2), 123-139.
- Ehsani, Mehrdad, Yimin Gao, Stefano Longo, and Kambiz Ebrahimi. (2018) Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. *CRC press*, 2018.

- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 748-764.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (REPA), (2023). Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli batman, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>, [Erişim Tarihi: 29 Mart 2023].
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2022a). Yenilenebilir enerji-güneş enerjisi, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, [Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2023].
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2022b). Türkiye ulusal elektrik şebekesi emisyon faktörü, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru>, [Erişim Tarihi: 16 Eylül 2023].
- Energypedia, (2022). RETScreen clean energy management software, https://energypedia.info/wiki/RETScreen_Clean_Energy_Management_Software, [Erişim Tarihi: 20 Ekim 2023].
- Eşarj, (2023). Elektrikli araç şarj modları, <https://esarj.com/sarj-modlari>, [Erişim Tarihi: 10 Mart 2023].
- Garcia-Vazquez, C. A., Espinoza-Ortega, H., Llorens-Iborra, F., & Fernandez-Ramirez, L. M. (2022). Feasibility analysis of a hybrid renewable energy system with vehicle-to-home operations for a house in off-grid and grid-connected applications. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104124.
- Ghiasi, M. (2019). Detailed study, multi-objective optimization, and design of an AC-DC smart microgrid with hybrid renewable energy resources. *Energy*, 169, 496-507.
- Ghorbani, N., Kasaeian, A., Toopshekan, A., Bahrami, L., & Maghami, A. (2018). Optimizing a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability. *Energy*, 154, 581-591.
- Global Wind Atlas (GWA), (2023). Global wind atlas-batman merkez, batman, southeastern anatolia region, Türkiye, <https://globalwindatlas.info/en>, [Erişim Tarihi: 18 Ekim 2023].
- Graham, V. A., & Hollands, K. G. T. (1990). A method to generate synthetic hourly solar radiation globally. *Solar energy*, 44(6), 333-341.
- Güven A. F., & Poyraz, E. (2021). Feasibility Study and Techno-Economic Analysis of Stand-Alone Hybrid Energy System for Muğla Province Köyceğiz. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 70-85.
- Hailu Kebede, M., & Bekele Beyene, G. (2018). Feasibility study of PV-wind-fuel cell hybrid power system for electrification of a rural village in Ethiopia. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2018.

- Hall, D., & Lutsey, N. (2017). Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure. *The International Council on Clean Transportation (ICCT): Washington, DC, USA*, 54.
- Heydari, A., Nezhad, M. M., Keynia, F., Fekih, A., Shahsavari-Pour, N., Garcia, D. A., & Piras, G. (2023). A combined multi-objective intelligent optimization approach considering techno-economic and reliability factors for hybrid-renewable microgrid systems. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135249.
- Hwang, Y. J., & Jang, J. Y. (2020). Design and analysis of a novel magnetic coupler of an in-wheel wireless power transfer system for electric vehicles. *Energies*, 13(2), 332.
- Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER), (2020a). Homer pro 3.14 user manual, <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.14/>, [Erişim Tarihi, 9 Nisan 2023].
- International Energy Agency (IEA), (2022). Grid integration of electric vehicles, <https://www.iea.org/?spotlight=grid-integration-of-electric-vehicles>, [Erişim Tarihi: 6 Mart 2023].
- International Energy Agency (IEA), (2023). Electric vehicles, <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>, [Erişim Tarihi: 6 Mart 2023].
- International Renewable Energy Agency (IRENA), (2022a). Solar energy, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>, [05 Haziran 2023].
- International Renewable Energy Agency (IRENA), (2022b). Wind energy, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>, [05 Haziran 2023].
- Ioakimidis, C. S., Thomas, D., Rycerski, P., & Genikomsakis, K. N. (2018). Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot. *Energy*, 148, 148-158.
- Jacob, A. S., Banerjee, R., & Ghosh, P. C. (2018). Sizing of hybrid energy storage system for a PV based microgrid through design space approach. *Applied energy*, 212, 640-653.
- Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi (Master's thesis, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Karapınar, F., & Daldaban, F. (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3), 549-556.
- Kettles, D. (2015). Electric vehicle charging technology analysis and standards. *Florida Solar Energy Center, FSEC Report Number: FSEC-CR-1996-15*.

- Khalid, M. R., Khan, I. A., Hameed, S., Asghar, M. S. J., & Ro, J. S. (2021). A comprehensive review on structural topologies, power levels, energy storage systems, and standards for electric vehicle charging stations and their impacts on grid. *IEEE Access*, 9, 128069-128094.
- Khaligh, A., & Dusmez, S. (2012). Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8), 3475-3489.
- Kırbaş, İ. & Kocakulak, T. (2021). Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (1), 127-135.
- Kraft, T. E. (2009). Under review-build your own electric vehicle by S. Leitman and B. Brandt.
- Kumar, S., Sethuraman, C. P., & Gopi, C. (2021). Sizing optimization and techno-economic analysis of a hybrid renewable energy system using HOMER pro simulation. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 80(09), 777-784.
- Kuşdoğan, Ş. (2017). Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları. *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektr. Mühendisliği Bölümü*.
- Laukkonen, J. (2021). Ev,phev,fcev vs. hybrid, what's the difference, <https://www.lifewire.com/ev-phev-fcev-hybrid-compared-5201137>, [Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2023].
- Lehtonen, M., Mahmoud, K. ve Ali, A. (2022). Elektrikli araç şarj istasyonlarını barındıran otonom mikro şebekelere yönelik invertör tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum şekilde planlanması. *IET Üretimi, İletimi ve Dağıtımı*, 16 (2), 219-232.
- Leitman, S., Brant, B. (2008). Build your own electric vehicle, The McGraw-Hill Companies Second Edition, USA
- Lowry, J., & Larminie, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.
- Mamur, H., Yakar, M. C., & Zerafet, A. (2019). Bir kamu binası için hibrit enerji sistemi fizibilitesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(1), 51-58.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons.
- Mastoi, M. S., Zhuang, S., Munir, H. M., Haris, M., Hassan, M., Usman, M., ... & Ro, J. S. (2022). An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Reports*, 8, 11504-11529.

- Mirdalı, M. (2018). Limanlar için bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 541837).
- Mohamud, F. A., Çetinbaş, İ., Demirtaş, M., & Erkaya, H. H. (2023). Çeşitli elektrikli araç şarj modları sağlayan hibrit bir mikro şebekenin tasarımı ve optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1000(1000), 1-9.
- Muh, E., & Tabet, F. (2019). Comparative analysis of hybrid renewable energy systems for off-grid applications in Southern Cameroons. *Renewable energy*, 135, 41-54.
- Murugaperumal, K., & Raj, P. A. D. V. (2019). Feasibility design and techno-economic analysis of hybrid renewable energy system for rural electrification. *Solar Energy*, 188, 1068-1083.
- Nour, M., Chaves-Ávila, J. P., Magdy, G., & Sánchez-Miralles, Á. (2020). Review of positive and negative impacts of electric vehicles charging on electric power systems. *Energies*, 13(18), 4675.
- Oulis Rousis, A., Tzelepis, D., Konstantelos, I., Booth, C., & Strbac, G. (2018). Design of a hybrid AC/DC microgrid using Homer Pro: Case study on an islanded residential application. *Inventions*, 3(3), 55.
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990.
- Özbey, B. (2020). Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-29.
- Öztürk, Z., Tosun, S., & Öztürk, A. (2019). Örnek bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin HOMER ile modellenmesi, ekonomik ve teknik yönden analizleri. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 286-299.
- Palej, P., Qusay, H., Kleszcz, S., Hanus, R., & Jaszczur, M. (2019). Analysis and optimization of hybrid renewable energy systems. *Polityka Energetyczna*, 22(2), 107-120.
- Putnieks, U., (2012). Electric vehicle history, *7th International Scientific Conference Students On Their Way To Science*, Jelgava-Latvia, 7-7.
- Qi, X., Wang, J., Królczyk, G., Gardoni, P., & Li, Z. (2022). Sustainability analysis of a hybrid renewable power system with battery storage for islands application. *Journal of Energy Storage*, 50, 104682.

- Rahman, M. M., Khan, M. M. U. H., Ullah, M. A., Zhang, X., & Kumar, A. (2016). A hybrid renewable energy system for a North American off-grid community. *Energy*, 97, 151-160.
- Rahmat, M. A. A., Abd Hamid, A. S., Lu, Y., Ishak, M. A. A., Suheel, S. Z., Fazlizan, A., & Ibrahim, A. (2022). An Analysis of Renewable Energy Technology Integration Investments in Malaysia Using HOMER Pro. *Sustainability*, 14(20), 13684.
- RETScreen Clean Energy Management Software (RETScreen), (2023). Software overview, <http://www.etscreen.net/>, [Erişim Tarihi, 22 Ekim 2023].
- Riayatsyah, T. M. I., Geumpana, T. A., Fattah, I. R., Rizal, S., & Mahlia, T. I. (2022). Techno-Economic Analysis and Optimisation of Campus Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System Using HOMER Grid. *Sustainability*, 14(13), 7735.
- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2423-2430.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
- Sawle, Y., Gupta, S. C., & Bohre, A. K. (2018). Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2217-2235.
- Shezan, S. K. A., Das, N., & Mahmudul, H. (2017). Techno-economic analysis of a smart-grid hybrid renewable energy system for Brisbane of Australia. *Energy Procedia*, 110, 340-345.
- Siksnyte-Butkiene, I., Zavadskas, E. K., & Streimikiene, D. (2020). Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: A review. *Energies*, 13(5), 1164.
- Singh, A., Baredar, P., & Gupta, B. (2017). Techno-economic feasibility analysis of hydrogen fuel cell and solar photovoltaic hybrid renewable energy system for academic research building. *Energy Conversion and Management*, 145, 398-414.
- Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 32, 192-205.
- Tabak, A. (2021). Konya İlinde Bir Fabrikanın Enerji Talebinin Karşılınması için Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Analiz ve Tasarımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(1), 220-230.
- Tegner Anker, H., Egelund Olsen, B., & Rønne, A. (2009). Wind Energy and the Law: A Comparative Analysis. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 27(2), 145-178.

- Terzi, U. K., Ilhan, H. E., Kaymaz, H., Erdal, H., & Çalik, H. (2020). A review of commercial electric vehicle charging methods. *Promet-Traffic&Transportation*, 32(2), 291-307.
- Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P. A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(1), 449-465.
- Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T. (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), (2023). Faiz oranlarına ilişkin basın duyurusu, [TCMB - Faiz Oranlarına İlişkin Basın Duyurusu \(2023-39\)](#), [Erişim Tarihi: 27 Eylül 2023].
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2023). Tüketici fiyat endeksi, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=T%C3%BCketici-Fiyat-Endeksi-Eyl%C3%BCI-2023-49659&dil=1>, [Erişim Tarihi: 27 Eylül 2023].
- Ulutaş, H. (2015). Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr+ Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ordu.
- Ustabaş, A. (2014). Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller (Türkiye ekonomisi örneği). *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 36(1), 269-291.
- Ünlü, Namık & Özbilen, Şeyma & tür, okan & uçarol, hamdi & özsu, eren & yazar, azmi & yağmur, levent & Akgun, Fehmi & tırıs, mustafa & Carpede, A.. (2003). elektrikli-araclar 2003.
- Yenilenebilir Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (GEPA), (2023). Güneş enerjisi potansiyel atlası batman, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/72.aspx>, [Erişim Tarihi: 29 Mart 2023].
- Yılmaz, G., Şahin, M., Akyazı, Ö., & Öztürk, B. (2023). Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Homer ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: *İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği*. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 1090-1106.
- Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H. L. (2010). Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 215-223.
- Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS), (2023). Türkiye elektrik istatistikleri, https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf, [Erişim Tarihi: 05 Haziran 2023].

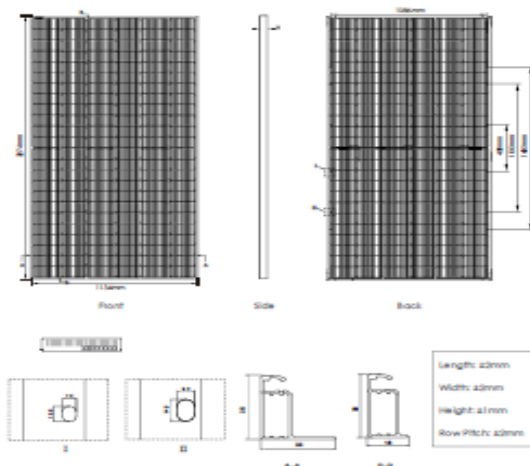
- Velatia, (2022). What types of recharging are available for our electric vehicle, <https://www.velatia.com/en/blog/what-types-of-recharging-are-available-for-our-electric-vehicle/>, [Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2023].
- Zenginisi, I., Vardakas, J. S., Zorba, N., & Verikoukis, C. V. (2016). Analysis and quality of service evaluation of a fast charging station for electric vehicles. *Energy*, 112, 669-678.
- Zhang, Y., Zhang, Q., Farnoosh, A., Chen, S., & Li, Y. (2019). GIS-Based Multi-Objective Particle Swarm Optimization of charging stations for electric vehicles. *Energy*, 169, 844-853.



EKLER

EK-1 Güneş Paneli Teknik Özellikleri (Jinko Solar JKM540M -72HL4-TV)

Engineering Drawings

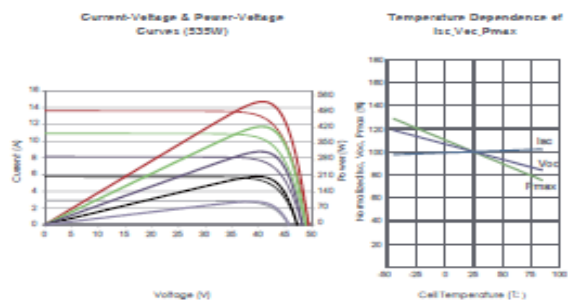


Packaging Configuration

[Two pallets = One stack]

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6x24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm² [+]: 400mm, [-]: 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM525M-72HL4-TV		JKM530M-72HL4-TV		JKM535M-72HL4-TV		JKM540M-72HL4-TV		JKM545M-72HL4-TV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	525Wp	391Wp	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.61V	37.74V	40.71V	37.88V	40.81V	37.98V	40.91V	38.08V	41.07V	38.18V
Maximum Power Current (Imp)	12.93A	10.35A	13.02A	10.41A	13.11A	10.48A	13.20A	10.55A	13.27A	10.62A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.27V	46.50V	49.35V	46.58V	49.42V	46.65V	49.49V	46.71V	49.65V	46.86V
Short-circuit Current (Isc)	13.64A	11.02A	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.87A	11.20A	13.94A	11.26A
Module Efficiency STC (%)	20.36%		20.55%		20.75%		20.94%		21.13%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		JKM525M-72HL4-TV	JKM530M-72HL4-TV	JKM535M-72HL4-TV	JKM540M-72HL4-TV	JKM545M-72HL4-TV
5%	Maximum Power (Pmax)	551Wp	557Wp	562Wp	567Wp	572Wp
	Module Efficiency STC (%)	21.38%	21.58%	21.78%	21.99%	22.19%
15%	Maximum Power (Pmax)	604Wp	610Wp	615Wp	621Wp	623Wp
	Module Efficiency STC (%)	23.41%	23.64%	23.86%	24.08%	24.30%
25%	Maximum Power (Pmax)	656Wp	663Wp	669Wp	675Wp	681Wp
	Module Efficiency STC (%)	25.45%	25.69%	25.93%	26.18%	26.42%

*STC: Irradiance 1000W/m²

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m²

Ambient Temperature 20°C

AM=1.5

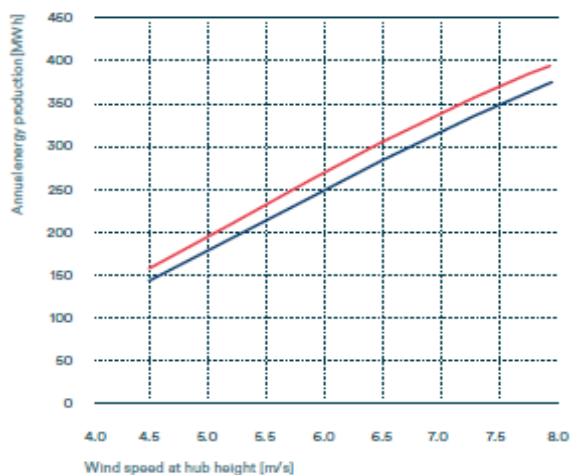
Wind Speed 1m/s

EK-2 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri (Norvento nED 100)

Energy production

Wind speed [m/s]	AEP [MWh]	
	Ø22	Ø24
4.5	138	155
5.0	183	203
5.5	230	252
6.0	276	300
6.5	321	346
7.0	363	388
7.5	401	425
8.0	435	---
8.5	464	---

Energy production at converter output, for 100% availability, standard air density (1.225 kg/m³) and Rayleigh wind distribution.



General characteristics

Rated power	100 kW
Rated wind speed	10 m/s
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	20 m/s
Wind class	IEC IIA IEC IIIA
Max wind gust speed	59.5 m/s 52.5 m/s
Power regulation	Active variable pitch
	Active variable speed
Powertrain	Permanent magnet direct drive generator
Power delivery	Electronic power converter
Design life	20 years

Configuration

Rotor	Three blades, upwind
Type	Fiberglass-epoxy composite
Blades	
Powertrain	Multi-pole permanent magnet
Generator type	No
Gearbox	Surface ventilated passive air cooling
Cooling	
Control and electrical system	State of the art Industrial PLC
Controller	Oil free electromechanical
Pitch drive	
Braking system	Blades feathering
Aerodynamic	Brake chopper fed through electronic power converter
Electrical	2 hydraulic callipers
Mechanical	
Orientation System	Electric Gearmotor
Actuator	Hydraulic Calliper
Jamming	2 independent supercapacitor systems
Emergency power supply	
Tower	Tubular steel tower
Type	2 or 3, depending on hub height
Sections	

Customization to your site

Available hub height	24.5 m (IEC IIA) – 29.5 m (IEC IIIA) – 36.0 m (IEC IIIA)
Available rotor diameter	22 m (IEC IIA) – 24 m (IEC IIIA)

EK-2 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri (Norvento nED 100) (Devamı)

Quality and safety standards

Wind Turbine	Manufacturing evaluated IEC 61400-22:2010 H&S evaluated directive 2006/42/CE EMC tested mach. directive 2006/42/CE Electrical safety tested mach. directive 2006/42/CE Power quality measured IEC 61400-21:2008 Acoustic noise measured IEC 61400-11:2012	TÜV SÜD SGS SGS SGS Bariovento ARESSE
Blades	Design for IEC IIIA IEC 61400-1:2005 Blade tested (extreme & fatigue) IEC 61400-23:2014	TÜV SÜD TÜV SÜD

Monitoring / Operation / Maintenance

Monitoring	Remote supervision via Internet with client's app Norvento Control Centre (24/7/365 available)
Access to nacelle	From within the tower
Operations at nacelle	User-friendly and safe up to 12m/s average wind speed

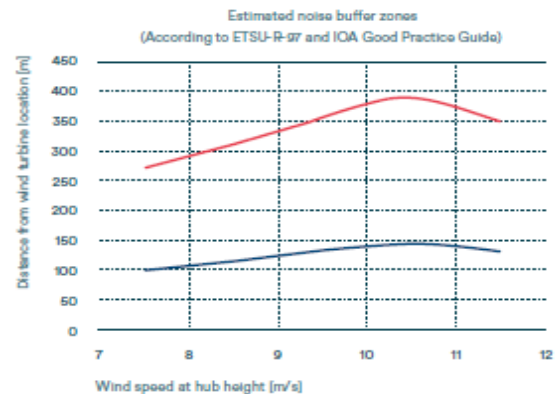
Grid connection and interoperability

Electrical interconnection	Alternating current, three-phase
Output	400 V
Voltage	50 Hz / 60 Hz
Frequency	G59
Protection	
Capabilities	Power delivery control in real time Reactive power control Power factor compensation Low voltage ride through Black start
Integration	Communication with smart grid and system operator Supports grid power/frequency stability Reinforces grid Voltage Stability
Applications	Connected to main power system Connected to weak grids Connected to a micro-grid Operated as stand-alone Wind - diesel / biogas systems / Wind - PV systems / batteries

Noise data

Wind speed at hub height [m/s]	Distance from wind turbine location [m]	
	$L_{A_{90}}=45$ dB(A)	$L_{A_{90}}=35$ dB(A)
7 – 8	100	275
8 – 9	115	310
9 – 10	130	350
10 – 11	145	385
11 – 12	130	350

nED100 can operate a Low Noise mode which reduces the maximum noise level emitted by 2dB by the wind turbine in its Normal mode operation. Such feature allows a significant reduction in the required noise buffer.



EK-3 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri (Eocycle EOX S-16)



	CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Main Data	Model	EOX S-16
	Design class	IEC Class IIIA wind turbine
	Design life	30 years without major component replacement
	Rated power	20 kW to 30 kW depending on version
	Rated wind speed	Average annual wind speed: 7.5 m/s (27 km/h) (17 mph)
	Cut-in Cut-out wind speed	2.75 m/s (9.9 km/h) (6 mph) 20 m/s (72 km/h) (45 mph)
	Extreme wind speed	52.5 m/s (189 km/h) (118 mph), 3-second average
	Operating temperature	-20 °C to 40 °C (-4 °F to 104 °F)
	Lightning protection	Lightning rod, surge protection devices, grounding system
	Certifications	IEC 61400-2, MCS, AWEA 9.1, UL1741, CE, CSA 22.2, G59/3
Rotor	Rotor diameter	15.8 m (51.8 ft)
	Swept area	196 m ² (2112 ft ²)
	Rotor speed	Variable, up to 53 rpm
Generator	Type	Transverse flux synchronous permanent magnet generator Eocycle-C5000
	Model	3-phase
	Generator	25 kW, 415 V, 42.4 Hz, 1.25 service factor
	Drivetrain	Direct drive (no gearbox)
Power Converter	Generator enclosure and insulation	Totally enclosed, weather-proof, class F insulation, IP56, maintenance free
	Type	Grid-tied / utility-interactive
Control System	Converter output	3-phase, 380 V to 500 V, 50/60 Hz, 60A, Power Factor 0.99
	Controller model	MitaTeknik WP130 MK II
Control System	Advanced features	Data logging and direct integration with safety system
	SCADA/Monitoring system	MiScout, web and mobile application
	Control strategy	Maintenance free active stall-regulated
Yaw System	Weather sensors	Wind speed, wind direction, temperature
	Type	Active hydraulic slew drive
Materials	Steel components	High quality, as per ASTM standards
	Corrosion protection	Hot-dip galvanized or zinc-coated, as per ASTM standards
Braking System	Normal operation	Combination: 1) generator 2) stall blade design 3) yaw-assist
	Emergency rotor brake	Fail-safe hydraulic disk brake
Blade	Model	Eocycle
	Design	Fixed-pitch (no moving parts)
	Length	7.6 m (24.9 ft)
Tower	Hydraulic tower - hub height	16.8 m (55.1 ft) or 23.8 m (78.1 ft)
	Finish	White paint

AVERAGE WIND SPEED (M/S)	GROSS OUTPUT (MWH/YEAR)	AVERAGE WIND SPEED (M/S)	GROSS OUTPUT (MWH/YEAR)
4.0	41.140	6.0	99.000
4.5	55.910	6.5	111.200
5.0	70.920	7.0	121.860
5.5	85.460	7.5	130.870

Note: Measured and certified per IEC 61400-12 standard.