



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MUŞ ÜÇEVLER RÜZGÂR SANTRAL
BÖLGESİNE HİBRİT ENERJİ ÜRETİMİNE
YÖNELİK ÖNERİLER VE MODELLEME

Mavi KAPLAN DURANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı

OCAK-2026
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MUŞ ÜÇEVLER RÜZGÂR SANTRAL
BÖLGESİNE HİBRİT ENERJİ ÜRETİMİNE
YÖNELİK ÖNERİLER VE MODELLEME

Mavi KAPLAN DURANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı

Danışman: Doç.Dr. Salih ÖZER

Jüri Üyesi: Doç.Dr. Erdinç VURAL

Jüri Üyesi: Doç.Dr. Ömer ARSLAN

OCAK-2026
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

..... tarafından hazırlanan “.....”
adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Erdin VURAL
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Teknik Bilimler MYO
Motorlu Araçlar ve Teknolojiler Teknolojisi

.....

Danışman

Doç. Dr. Salih ÖZER
Muş Alparslan Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ömer ARSLAN
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği

.....

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu/...../..... Tarih ve/..... nolu kararı
ile onaylanmıştır.

.....

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri
Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından BAP-24-MMF-4902-02 nolu proje ile
desteklenmiştir.

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.

İmza

Mavi KAPLAN DURANLI

Tarih: 16.01.2026

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUŞ ÜÇEVLER RÜZGÂR SANTRAL BÖLGESİNE HİBRİT ENERJİ ÜRETİMİNE YÖNELİK ÖNERİLER VE MODELLEME

Mavi KAPLAN DURANLI

**Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER

Enerji çağımızın en önemli vazgeçilmez aracıdır. Enerji yiyecek içecek kadar en elzem maddeler arasında yer almaktadır. Enerji kaynaklarının üretim maliyetleri arttığı için diğer enerji kaynaklarına olan ilgide günden güne artmaktadır. Enerji konusunun önemi temiz enerjiden ve küresel ısınma ile bir kat daha artmıştır. Küresel ısınma konusundan kaynaklı olarak dünya daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji, çoğunlukla yerli ve milli kaynaklardan üretildiği için dışa bağımlılığı azaltır. Türkiye rüzgâr enerjisi bakımından büyük bir potansiyel enerjiye sahip olmasına rağmen bugüne kadar bu konu ile ilgili çok büyük atılımlar yapılmamıştır. Bu çalışmamda güneş ve rüzgâr enerjisinin verimli kullanımını sağlayarak bir sistem tasarlamak istenmiştir. Bu amaçla da güneş rüzgâr temelli hibrit enerji santrallerinde enerji üretiminin zamanlaması farklı olduğu için, hibrit sistem şebekeye daha sabit güç verirken şebekeyi de dengeler sürekli enerji üretimini gerçekleştirir.

Analiz yapabilmek için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yenilenebilir enerji sisteminin tasarımı ve simülasyonu için kullanılan bir yazılım türüdür. Muş ili için HOMER ile modellenmiş olan hibrit sistemlerin simülasyonu ve analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak bu sistem şebekede süreklilik ve ekonomik açıdan daha güvenilirdir.

2026, 73 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektrik, HOMER, Hibrit enerji santrali, Rüzgâr enerjisi, Yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

MASTER’S TERM PROJECT

PROPOSALS AND MODELİNG FOR HYBRİD ENERGY PRODUCTION İN THE MUŞ ÜÇEVLER WİND POWER PLANT REGION

Mavi KAPLAN DURANLI

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Nuclear Energy And Energy Systems**

Advisor: Assoc.Prof. Dr. Salih ÖZER

Energy is the most important and indispensable tool of our age. Energy is among the most essential substances as much as food and beverages. Since the production costs of energy sources are increasing, interest in other energy sources is increasing day by day. The importance of the energy issue has increased even more with clean energy and global warming. Due to the global warming issue, the World has turned to renewable energy sources. Since renewable energy is mostly produced from domestic and national sources, it reduces external dependency. Although Turkey has a great potential in, terms of wind energy, no major breakthroughs have been made in this regard to date. In this study, it is aimed to design a system that provides efficient use of solar and wind energy. For this purpose, since the timing of energy production in solarwind based hybrid energy plants is different, the hybrid system provides more constant power to the grid and balances the grid while continuously producing energy.

In order to make analysis, HOMER (Hybrid for Electric Renewables) is a type of software used for the design and simulation of renewable energy systems. Simulation and analysis of hybrid systems modeled with HOMER were performed for Muş province.

In conclusion this system is more reliable in terms of network continuity and cost.

2026, 73 Pages

Keywords: Electricity, HOMER ,Hybrid power plant, Wind energy, Renewable energy.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın gerçekleşmesinde, Muş Alparslan Üniversitesine daha sonra değerli bilgilerini benimle paylaşan kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Salih ÖZER, üzerimde emeği çok olan canım aileme ve benden desteğini esirgemeyen bana güç ve ilham veren değerli eşim Ayhan DURANLI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Mavi KAPLAN DURANLI
MUŞ-2026



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji Kaynakları:	3
1.2 Yenilenebilir (Tükenemeyen) Enerji Kaynakları:	4
1.2.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	4
1.2.1.1 Monokristal Güneş Panelleri	6
1.2.1.2 Polikristal Güneş panelleri.....	7
1.2.1.3 İnce Film Güneş Panelleri.....	7
1.2.2 Biyokütle Enerjisinden Elektrik Üretimi	7
1.2.3 Hidrolik Enerjisinden Elektrik Üretimi	8
1.2.4 Jeotermal Enerjiden Elektrik Enerjisi Üretimi.....	8
1.2.5 Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi	9
1.2.6 Hidrojen Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	9
1.2.7 Rüzgâr Enerji Tarihçesi	9
1.2.7.1 Rüzgâr Hızına Etki Eden Faktörler.....	10
1.2.7.2 Rüzgâr Çeşitleri	11
1.2.7.3 Rüzgârdan Enerji Üretim Çeşitleri	11
1.2.7.4 Rüzgâr Enerjisi İçin Fizibilite Çalışmaları	16
1.2.7.5 Rüzgârın Oluşumu	16
1.2.7.6 Rüzgâr Türbin Parçaları.....	16
1.2.7.7 Rüzgâr Nasıl Enerjiye Dönüştürülür.....	17
1.2.7.8 Muş İlinde Rüzgâr Enerji Potansiyeli	19
2. LİTERATÜR TARAMASI	27
3. TEZİN AMACI	31
4. MATERYAL ve YÖNTEM	32
4.1 Çalışma Alanı ve Parametreleri	32
4.2 Kullanılan Veriler (Materyaller).....	40
4.2.1 Güneş Enerjisinde Kullanılan Değerler	40
4.2.2 Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Değerler	42
4.2.3 Hibrit Sistem Modelinin Tasarımı	43
4.3 Kullanılan Yöntem.....	47

5. ANALİZ.....	48
5.1 Şebekeye Bağlantısı Olmayan Sistemlerin Simülasyonları.....	48
5.1.1 Homer Pro Sisteminde Tasarlanan Hibrit Simülasyon	48
5.1.1.1 Simülasyonun Analizi.....	57
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
6.1 Sonuçlar	67
6.2 Öneriler	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73



SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
a-Si	: Amorf Silisyum
CdTe	: Kadmiyum Tellürit
CIGS	: Bakır İndiyum Galyum Selenid
COE	: Cost of Energy – Enerji Birim Maliyeti
DC	: Doğru Akım
EPDK	: Enerji Piyasası Destekleme Kurumu
GHI	: Global Horizontal Irradiance
HOMER	: Elektriksel Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon Modeli
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NPC	: Net Present Cost – Net Bugünkü Maliyet
PV	: Fotovoltaik
REPA	: Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası
VEDAS	: Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2024 Aralık lisanslı elektrik kurulu gücü kaynak bazlı dağılımı (Google, 2024)	2
Şekil 1.2. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Google, 2024)	3
Şekil 1.3. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süreleri (Gepa, 1988-2017)	5
Şekil 1.4. Güneş paneli çeşitleri (Güneş, 2024)	6
Şekil 1.5. Monokristal hücreler (Monokristal, Güneş P.)	6
Şekil 1.6. Biyokütle enerji döngüsü (Biyokütle, 2024)	7
Şekil 1.7. Yatay eksen rüzgâr türbini (Türbini, 2023)	12
Şekil 1.8. Dikey eksen rüzgâr türbini (Türbini, 2024)	13
Şekil 1.9. Deniz üstü rüzgâr türbini (Üstü, 2025)	14
Şekil 1.10. Mikro rüzgâr türbini (Mikro, 2025)	15
Şekil 1.11. Hibrit sistemler (Hibrit, 2024)	15
Şekil 1.12. Rüzgâr türbini (Rüzgar, 2024)	18
Şekil 1.13. Rüzgâr türbini (Rüzgar, 2024)	18
Şekil 1.14. Yıllık ortalama rüzgâr hızı (REPA, 2024)	19
Şekil 1.15. Rüzgâr güç yoğunluğu (REPA, 2024)	25
Şekil 1.16. Kapasite faktör dağılımı (REPA, 2024)	25
Şekil 4.1. Muş ilinde seçilen bölge	33
Şekil 4.2. NASA meteorolojik verileri	33
Şekil 4.3. PV (Güneş Paneli) modülü	34
Şekil 4.4. Rüzgâr türbini	35
Şekil 4.5. Batarya sistemi	36
Şekil 4.6. Converter	37
Şekil 4.7. Load(Yük) verileri	38
Şekil 4.8. Load ekleme sonrası	38
Şekil 4.9. Günlük yük profili	39
Şekil 4.10. Aylık yük profili	39
Şekil 4.11. Yıllık yük profili	40
Şekil 4.12. Şebekeye bağlantısız hibrit model tasarımı	43
Şekil 5.1. Şebekeye bağlantısı olmayan hibrit sistem	48
Şekil 5.2. PV seçimi	49
Şekil 5.3. Wind türbin	49
Şekil 5.4. Converter	50
Şekil 5.5. Storage	51
Şekil 5.6. Elektrik load	53
Şekil 5.7. Muş Üçevler yıllık yük haritası	54
Şekil 5.8. Generic	55
Şekil 5.9. Tasarlanan Simülasyon	55
Şekil 5.10. Resources ve calculate	56
Şekil 5.11. Programı çalıştırma ekranı	57
Şekil 5.12. Genel özet 1	58
Şekil 5.13. Genel özet 2	60
Şekil 5.14. Genel özet 3	61
Şekil 5.15. Genel özet 4	62
Şekil 5.16. Genel özet 5	63
Şekil 5.17. Genel özet sonuçları	64
Şekil 5.18. Genel özet sonucu	65
Şekil 5.19. Genel sonuç	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 2024 Aralık döneminde devreye giren-devreden çıkan lisanslı kurulu güç (MW) (Tabii, 2024).....	2
Çizelge 1.2. Elektrik enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Teiaş, 2024).....	3
Çizelge 1.3. Muş - Üçevler Kuzey- Kuzeydoğu yönlü rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024) ..	21
Çizelge 1.4. Muş-Üçevler Güney-Güneydoğu yönlü rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024) ..	22
Çizelge 1.5. Muş- Üçevler Batı -Güneybatı- Kuzeybatı yönlü rüzgar hızları (Meteoroloji, 2024).....	23
Çizelge 1.6. Muş - Üçevler maksimum minimum toprak sıcaklığı (Meteoroloji, 2024).....	24
Çizelge 1.7. Kapasite verileri (REPA, 2024).....	26
Çizelge 4.1. Aylık netlik endeksi ve günlük radyasyon ortalaması değeri.....	41
Çizelge 4.2. Aylık ortalama güneş ışıınımı verisi ve yıllık ortalama açıklık endeksi	41
Çizelge 4.3. Aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri	42
Çizelge 4.4. Aylık ortalama rüzgâr hızı verileri	42
Çizelge 4.5. Muş- Üçevler köyünün rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024)	44
Çizelge 4.6. Muş- Üçevlerin sıcaklık ortalama değerleri (Meteoroloji, 2024).....	45
Çizelge 4.7. Muş - Üçevler Köyünün nem oranı (Meteoroloji, 2024)	46
Çizelge 5.1. Muş - Üçevler 24 saatlik harcanan enerji değerleri (VEDAS, 2024).....	52
Çizelge 5.2. Muş- Üçevler günlük profil	53
Çizelge 5.3. Muş Üçevler mevsimsel yük profili	54

1. GİRİŞ

Enerji maddenin iş yapabilme yeteneğidir (Bekar, 2020). Enerji yok olmaz bir biçimden başka bir biçime dönüştürülür. Kullanımına göre enerji kaynakları Yenilenemez (Tükenebilir) Enerji Kaynakları ile Yenilenebilir (Tükenmeyen) Enerji Kaynakları olarak ikiye ayrılır. Yenilenmeyen enerji kaynakları doğaya ve insana zararlı etkileri vardır.

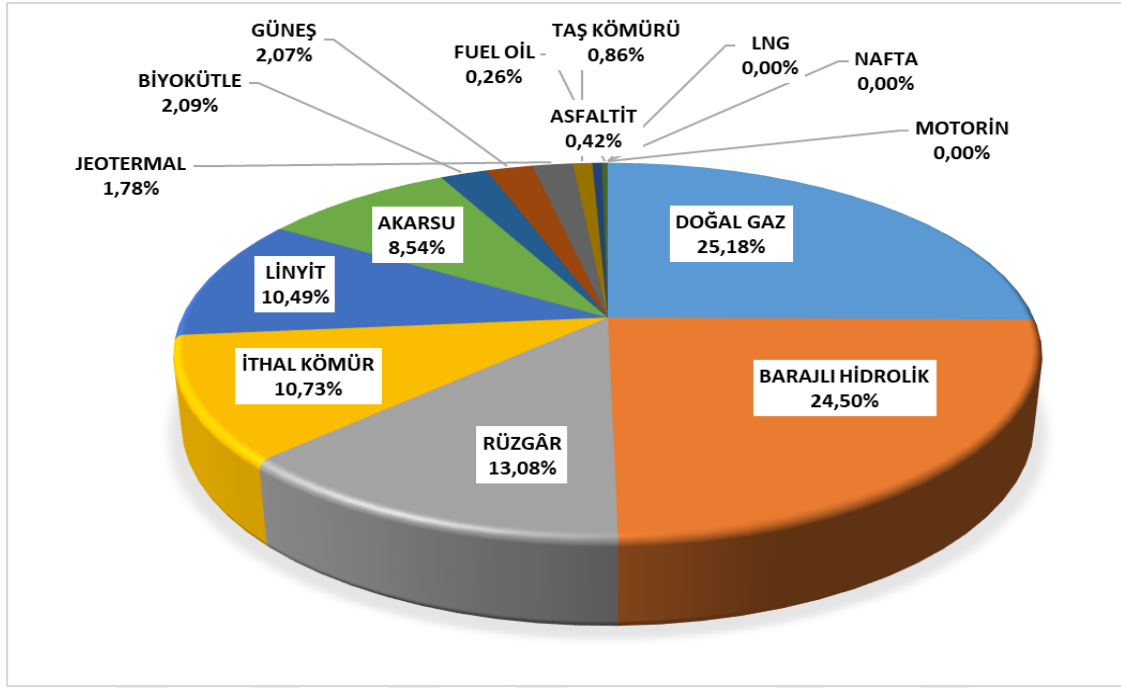
Yenilenebilir (Tükenmeyen) Enerji Kaynakları: Bu enerji kaynağı doğada hep bulunan hiç tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynağı doğaya en az zarar veren veyahut hiç zarar vermeyen enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Çeşitleri şunlardır;

- Rüzgâr Enerjisi
- Hidrojen (Su gücü)
- Güneş Enerjisi
- Biyokütle
- Hidrolik
- Jeotermal
- Dalga Enerjisi

Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji Kaynakları (Fosil Yakıtlar): Yenilenmeyen enerji kaynakları doğaya ve insana zararlı etkileri vardır.

- Kömür
- Petrol
- Linyit
- Asfaltit
- Fueloil
- Doğalgaz vs.
- Nükleer Enerji (Uranyum vs.) (Koç ve Kaya, 2015).

2024 EPDK Sektör Raporunda da görüldüğü üzere ülkemizde 2024 yılı Aralık döneminde yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarının dağılımları yer almaktadır (EPDK, 2021). Grafikten de anlaşıldığı üzere yenilenemez enerji kaynaklarının yüzdelik dilimleri yenilenebilir enerji kaynaklarının dilimlerinden fazladır.

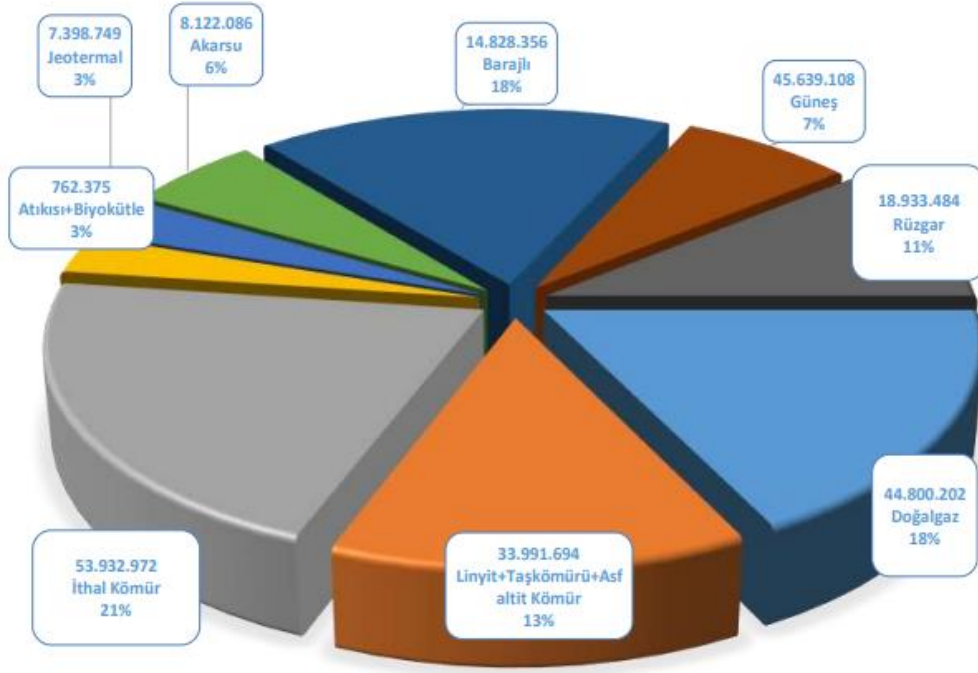


Şekil 1.1. 2024 Aralık lisanslı elektrik kurulu gücü kaynak bazlı dağılımı (Google, 2024)

Çizelge 1.1 de ise 2024 yılı Aralık döneminde devreye giren ve devreden çıkan kurulu gücün net değişimleri yer almaktadır.

Çizelge 1.1. 2024 Aralık döneminde devreye giren-devreden çıkan lisanslı kurulu güç (MW) (Tabii, 2024)

KAYNAK TÜRÜ	DEVREYE GİREN KURULU GÜÇ(MW)	DEVREDEN ÇIKAN KURULU GÜÇ (MW)	NET DEĞİŞİM (MW)
RÜZGÂR	279,22	-	279,22
İTHAL KÖMÜR	52,00	-	52,00
DOĞAL GAZ	-	9,99	-9,99
GÜNEŞ	142,13	-	142,13
JEOTERMAL	5,39	-	5,39
BİYOKÜTLE	1,56	0,57	1,56
Toplam	480,29	10,56	469,74



Şekil 1.2. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Google, 2024)

Çizelge 1.2. Elektrik enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Teiaş, 2024)

Kaynaklar	2024 Toplam	Oran
Doğalgaz	44.800.202	17.5%
Linyit+Taşkömürü+Asfaltit Kömür	33.991.694	13.3%
İthal Kömür	53.932.972	21.1%
Fuel Oil+Motorin	762.375	0.3%
Atık ısı + Biyokütle	7.398.749	2.9%
Jeotermal	8.122.086	3.2%
Akarsu	14.828.356	5.8%
Baraj	45.639.108	17.9%
Güneş	18.933.484	7.4%
Rüzgâr	27.208.211	10.6%
Toplam	255.617.237	100.0 %

1.1 Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji Kaynakları:

Petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlar yıllar boyunca organik maddelerin birikimi ve fosilleşmesi sonucunda meydana gelmiştir. Bu nedenden ötürü yenilenemeyen enerji kaynaklarına da fosil yakıtlardan enerji üretimi de denilmektedir. Petrol, kömür ve doğalgaz gibi yakıtlar genellikle elektrik üretimi, ısıtma ve taşımacılık

gibi alanlarda kullanılır. Ancak fosil yakıtların yanması sera gazı emisyonlarına, küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine neden olur. Bu durumun sonuçlarında buzulların erimesi olayı, deniz seviyesinin yükselmesi ve iklimde oluşan dengesizlikler meydana getirebilir. Petrol ve doğalgaz yatakları belirli bölgelerde olduğu için siyasi anlamda bağlanma ve bazı krizler ortaya çıkarabilir. Genel olarak yakıt yakılır bu yakılma sonucunda ısı üretimi oluşur. Oluşan bu ısı ile su buharlaştırılır, yüksek basınçlı buhar elde edilir. Bu yüksek basınçlı olan buhar, türbinleri çevirir. Çevrilmiş olan bu türbin jeneratörü döndürerek elektrik üretimini sağlamış olur. Bu şekilde elektrik üretimi de gerçekleşmiş olur (Çukurçayır ve Sağır, 2008).

1.2 Yenilenebilir (Tükenmeyen) Enerji Kaynakları:

Yenilenebilir enerji kaynakları doğada sürekli olarak var olan kendini yenileyen ve hiç tükenmeyen enerji kaynaklarından oluşur (Temurçin ve Aliagaoglu, 2003). Genel olarak çevreye daha az zarar verirler ve sürdürülebilir enerji üretimi sağlar. Yenilenebilir enerji hidrolik enerji, güneş, rüzgâr, su, jeotermal ve biokütle vb. doğal kaynaklardan elde edilir. Sonsuz veya yenilenebilir olarak kabul edilir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi bulunur (Bozkurt ve Kurtoğlu, 1980).

1.2.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneşlenme potansiyeline sahip bir ülkedir. Bu potansiyel güneş enerjisinin elektrik üretiminde etkin bir halde kullanılmasını sağlar. Ülkemizin güneşlenme potansiyeli, yıl boyunca dört mevsim boyunca sürekli olarak devam eden güneş ışığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde güneşlenme süresi oldukça uzundur. Güneşlenme süreleri uzun olmasından ötürü bu bölgelerde en iyi şekilde faydalanılabilir. Türkiye güneşlenme potansiyeli haritası Şekil 1.3.'te yer almaktadır.

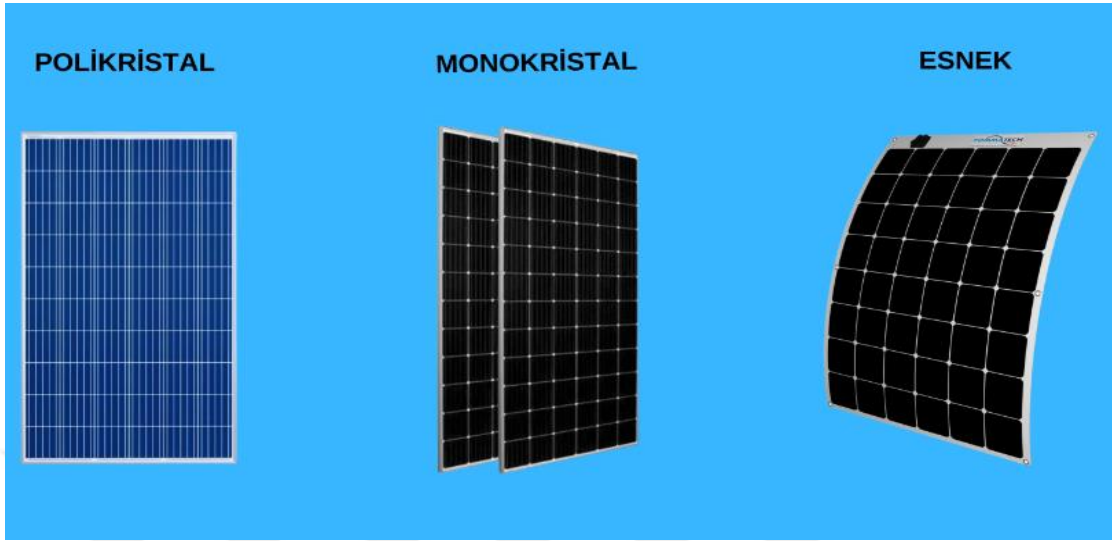


Şekil 1.3. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süreleri (Gepa, 1988-2017)

Güneşten gelen ısı ve ışık enerjisinin kullanılması ile elde edilen enerji türüdür. Güneşten elektrik üretimi sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Sera gazı emisyonlarını azaltır. Güneş ışığının bol olduğu bölgelerde, güneş panelleri geniş ölçekte kullanılarak elektrik üretimi yapılmış olur. Güneş enerjisi güneşin nükleer füzyon reaksiyonları sonucu yaydığı elektromanyetik radyasyonun kullanılmasıyla elde edilir. Güneş teknolojileri, güneş ışığını fotovoltaiik (PV) paneller veya güneş ısınımını artıran yansımaya özelliği olan gereçler ile elektrik enerjisine dönüştürür (Dinçer, 2011). Yani güneş ışınları, güneş panellerinin üzerine gelir. Bu güneş panelleri genellikle silikon malzemeden yapılır. Işık hücreye çarptığında, elektronlar hareket eder doğru akım (DC) elektrik oluşturur. Panellerden çıkan elektrik doğru akımdır. Evlerde ve şebekede kullanılan elektrik ise alternatif akımdır (AC). Bu durumdan kaynaklı olarak DC elektriği AC ye çevirmek için bir invertör kullanılır. İnvertörden çıkan AC elektrik binalarda tüketilebilir. Eğer fazla bir üretim olursa da elektrik şebekesine verilebilir. Güneş sadece gündüz olduğu için gece enerji ihtiyacı varsa batarya (akü) sistemi kullanılabilir (Dinçer, 2011). Bu bataryalar sayesinde fazla üretilen elektrik depolanabilir. Güneş enerjisi, temiz, uzun ömürlü ve işletme maliyeti düşük olduğundan dünya genelinde gün geçtikçe daha popüler hale gelmektedir. Teknolojik ilerlemeler ve

maliyetlerin düşmesiyle birlikte, güneş enerjisi ile elektrik üretimi daha da yaygınlaşacaktır.

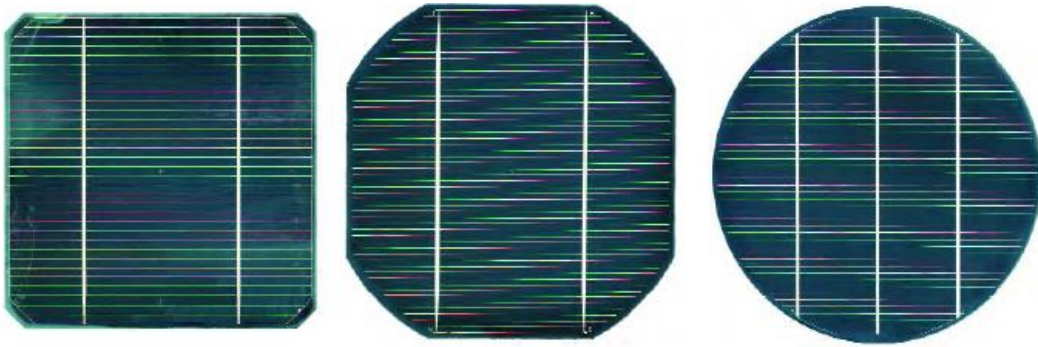
Güneş panelleri, kullanılan teknoloji ve malzemeye göre üç gruba ayrılır. Bu gruplar;



Şekil 1.4. Güneş paneli çeşitleri (Güneş, 2024)

1.2.1.1 Monokristal Güneş Panelleri

Tek kristalli silisyumdan meydana gelmektedir. Diğer tipteki kristal güneş panellerine göre en yüksek verimliliğe sahiptir (Kaplan, 2023). Ömürleri 25 ile 30 yıl arasında değişkenlik göstermektedir. Diğer güneş hücreleri ile karşılaştırıldığında daha az yer kaplar ve daha fazla enerji üretilmesini sağlar (Girgin, 2011). Monokristal hücrelerin görünüşleri diğer panel tiplerine göre daha koyu renklidir (Girgin, 2011). Şekil olarak daire şeklinde, kare şeklinde veya yarı köşeli şekillerde olabilirler (Girgin, 2011). Ancak maliyetleri yüksektir. Bu tür güneş panellerinin alanları kısıtlı olduğu için genel olarak çatı üstü sistemlerinde kullanılırlar. Şekil 1.5.'te monokristal hücrelerin örnekleri yer almaktadır.



Şekil 1.5. Monokristal hücreler (Monokristal, Güneş P.)

1.2.1.2 Polikristal Güneş panelleri

Bir taneden fazla kristal yapıdan oluşurlar. Yani çok kristallidirler (Girgin, 2011). Verimlilik oranları orta seviyededir, % 15 ile % 18 arasında değişkenlik görülmektedir. Ömürleri monokristaller gibi 25 ile 30 yıl arasındadır. Diğerlerine göre daha uygun fiyatlıdır. Ancak dezavantajları vardır diğerler güneş hücrelerine nazaran daha büyük alan gerektirir. Bu geniş alanlar genel olarak güneş tarlalarıdır (Girgin, 2011).

1.2.1.3 İnce Film Güneş Panelleri

İnce film paneller, yaklaşık birkaç mikrometre kalınlığında fotovoltaiik (PV) hücrelerden oluşur. Bu hücreler esnek, hafif ve ucuz bir yüzeyle kaplanır. İnce film türleri Amorf Silisyum(a-Si) ,CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenid) ve CdTe (Kadmiyum Tellürit) dir. Taşınabilir güneş sistemleridir (Parlak ve Turan, 2011).

1.2.2 Biyokütle Enerjisinden Elektrik Üretimi

Her türlü organik atık, evsel atık, tarımsal atık ve diğer atıklar biyokütle olarak adlandırılır (Topal ve Arslan, 2008).Bitki atıkları, hayvan gübresi, odun, gıda ve orman atıkları, organik çöpler vb. doğrudan yakma ile ısı ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılır. Daha sonra elde edilen buharın türbinlerden geçilmesi ile elektrik enerjisi üretimi sağlanmış olur. Biyokütle enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Nedeni organik malzemelerin sürekli olarak yenilenebiliyor olmasından kaynaklıdır (Topal ve Topal, 2012).



Şekil 1.6. Biyokütle enerji döngüsü (Biyokütle, 2024)

1.2.3 Hidrolik Enerjisinden Elektrik Üretimi

Akış halindeki suyun bu su nehirde, gölde, akarsuda da olabilir ön kısmına betondan yapılan setler çekilerek suyun belli bir yükseklikten akması sağlanmaya çalışılır. Yüksekten akan suyun potansiyeli artar. Suyun seviyesi ne kadar artarsa elde edeceği potansiyel enerji de o denli artmış olacaktır (Bulut, 2013). Potansiyel enerjiyi fazlalaştıran suyun ön kısmına yapılan beton bloklar içine konulan malzemeler ile suyun türbin denilen kısımlardan geçmesiyle kinetik enerji oluşturması saptanır. Yüksek seviyede seyreden, suyun potansiyel enerjisi, türbine gelmesi ile beraber büyük bir kinetik enerji açığa çıkar. Sürtünme sebepli kayıplar oluşmuş olsa da potansiyel enerjinin büyük kısmı kinetik enerjiye dönüşür (Koç ve Kaya, 2015). Kinetik enerjiye dönüşen bu enerji türbine bağlı olan bu generatörler aracılığı ile rotorun dönmesi sağlanır. Dönen bu rotor ile de elektrik enerji üretimi sağlanmış olur. Hidrojen temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olabilir. Ancak hidrojen üretimi, depolanması ve taşınması gibi teknik zorlukları bulunmaktadır. Hidrolik enerjiden her yıl düzenli olacak bir şekilde elektrik enerjisi üretmek ekonomik bağımsızlığı artırır, doğayı korur, yerli üretimi destekler ve enerji arzını güvence altına alır. HES projeleri uzun vadede devlet ve özel sektör için karlı yatırımlardır.

1.2.4 Jeotermal Enerjiden Elektrik Enerjisi Üretimi

Jeotermal enerji, yerin içindeki termal enerjinin kullanılması ile elde edilir. Jeotermal kaynaklar genellikle volkanik aktivite veya yerin iç kısmındaki yüksek sıcaklıktan kaynaklanır. Jeotermal enerji santralleri, buhar üretmek için yer altı rezervuarından yüzeye sıvı çeker. Bu sıvıdan buhar oluşur. Bu buhar daha sonra elektrik üreten türbinleri çalıştırır. Yer kabuğu kırıklarında toplanmış olan ve farklı kimyasalları barındıran sıcak su ve gazların oluşturmuş olduğu enerjidir (Kanoğlu, 2005). Daha açık bir ifade ile yer altı rezervuarından bulunan ısının enerjisel olarak toplamıdır. Isı ve buhar birleşimi ile jeotermal kaynaklı elektrik enerjisi elde edilebilir (Zaim ve Çavşi, 2018). Kuyularda oluşan akışkanların buhar ve su olarak bölünmesine dayanan konvansiyonel santrallerde, buhar türbinlere gönderilir. Daha sonra jeneratörden kaynaklı olarak elektrik enerjisi üretimi sağlanmış olur. Jeotermal enerji, elektrik üretimi ve ısınma gibi alanlarda kullanılabilir.

1.2.5 Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi

Devamlı yenilebilir kaynaklardan olan dalga enerjisi dönüştürücülerin okyanus dalgalarında bulunan enerjiyi yakalayıp elektrik üretmek için kullanmasıdır (Sağlam, Uyar, ve Göztepe, 2005). Rüzgârın deniz yüzeyine uyguladığı kuvvetle oluşan dalgaların mekanik enerjisinin toplanıp elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanır. Dalgalar bir odacığa girip çıkarken içindeki hava sütununu sıkıştırır. Bu sıkışma, türbini döndürerek elektrik üretir.

1.2.6 Hidrojen Enerjisinden Elektrik Üretimi

Hidrojen enerjisinden elektrik üretimi, hidrojen gazının kimyasal enerjisi doğrudan ya da dolaylı olarak elektrik enerjisine dönüştürebilir. Bu yöntemler hidrojenin enerji taşıma özelliğini nasıl kullanılmasına göre değişiklik göstermektedir (Şenaktaş, 2005).

1.2.7 Rüzgâr Enerji Tarihçesi

Rüzgâr enerjisinin tarihi oldukça eski dönemlere rastlamaktadır. İnsanlar rüzgârın gücünü yel değirmenleri ve yelkenli gemiler ile kullanmışlardır. İnsanlar antik çağda ve orta çağda ilk olarak rüzgâr gücünü yel değirmenleri aracılığı ile un öğütmüşlerdir. Suyu pompalamışlardır. 19.yüzyılda sanayi devrimi ile buhar gücü gibi diğer enerji kaynakları da ön plana çıkmıştır. 20. Yüzyılda ise yeniden ilgi görmeye başlamıştır (Karadağ, 2009). 1970’lerde modern rüzgâr türbinleri geliştirilmiştir. Daha sonra enerji santralleri kurulmaya başlanmıştır. 21. Yüzyılda rüzgâr enerjisi dünya genelinde önemli bir hale gelmiştir. Teknolojik ilerlemeler rüzgâr enerjisinin daha fazla kullanılmasını teşvik edici olmaktadır. Rüzgâr enerjisi sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması ve karbon salınımlarını azaltması nedeni ile gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir (Dalgın T. ve Ekiztepe, 2015).

Rüzgâr enerjisinin tarihçesinin ana hatları:

Antik Dönem: İnsanlar rüzgâr gücünü yel değirmenleri gibi basit makinelerde tahıl öğütmek veya su pompalamak için kullanmışlardır. Genel olarak Orta Doğu ve Pers imparatorluğunda, yel değirmenleri eski çağlarda yaygın olarak kullanılmışlardır.

18. ve 20. Yüzyıl Endüstri Devrimi döneminde, rüzgâr gücü daha karmaşık makinelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde, yel değirmenleri tarımsal işlemlerden endüstriyel işlere kadar çeşitli amaçlar için kullanılmıştır (Terzioğlu, Arslan, ve Demirok, 2019).

20. Yüzyıl Başları: Elektrikle çalışan rüzgâr türbinlerinin gelişimi, rüzgâr enerjisinin modern çağda kullanımı başlamıştır. 1920'lerde ve 1930'larda Danimarka ve ABD gibi ülkelerde rüzgâr enerjisi elektrik üretimi için küçük ölçekli türbinlerin kullanımına başlanmıştır (Ergür, 2006).

1970'ler: Petrol krizinin etkisiyle beraber, rüzgâr enerjisi yeniden dikkat çekmeye başlamıştır. Birçok ülke enerji arayışından kaynaklı olarak alternatif kaynaklar aramaya başlamıştır (Kabalıcı, Çiçek, ve Keven, 2010). Bu dönemde rüzgâr enerjisi ve endüstri gelişmeye başlanmıştır.

1980'ler ve Sonrası: Rüzgâr enerjisi endüstri hızla büyümüş ve teknolojik olarak gelişmiştir. Rotor çapları artmış türbin verimliliği artırılmış ve maliyetler düşürülmüştür. Yenilenebilir enerji politikalarının desteklenmesi ile rüzgâr enerjisi kurulu gücü dünya genelinde hızla artmıştır. Bugünde rüzgâr enerjisi dünyanın birçok yerinde önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Sürekli olarak teknolojinin gelişmeler ile beraber, rüzgâr enerjisi daha da büyümeye devam edecektir.

1.2.7.1 Rüzgâr Hızına Etki Eden Faktörler

- Dünyanın dönüşü: Dünyanın döndüğü için rüzgârlar düz bir çizgide değil, saparak hareket ederler. Kuzey Yarım Küre'de rüzgârlar sağa hareket ederken Güney Yarım Kürede sola sapar. Bu sapma, rüzgârın yönünü etkiler hızına da dolaylı eki eder.
- Basınç gradyan kuvveti: Rüzgâr, yüksek basınçtan düşük basınca doğru hareket eder. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar fazlaysa rüzgar o kadar hızlı eser. Bu fark basınç gradyan kuvveti oluşturur.
- Sürtünme kuvveti: Rüzgâr yere yaklaştıkça, yüzeydeki engeller nedeniyle sürtünme artarken, hızda azalır. Düz ve açık alanlarda sürtünme az olduğu için rüzgâr daha hızlı olur.
- Coriolis kuvveti,
- Yükseklik: Atmosferin üst katmanlarındaki hava hareketleri, alttaki rüzgârı hızlandırabilir veya zayıflatabilir. Örneğin yüksek dağ tepelerinde rüzgârın daha hızlı olduğu gibi.
- Merkezkaç kuvveti,

- Sıcaklık Farkları: Güneşin yeryüzünü farklı ısıtması ile sıcaklık farkları oluşur. Bu farklar hava basıncını da değiştirir ve sonuçta rüzgâr oluşur. Gün içinde güneşin etkisiyle rüzgâr hızı artabilir.
- Yer şekilleri: Dağlar, vadiler, tepe ve ovalar rüzgârın hızını ve yönünü değiştirir. Vadide rüzgarlar hızlanırken Dağların arka yüzeyinde ise türbülans ve hız düşüşü olabilir (Üze, Çelen, ve Moralar, 2008).

1.2.7.2 Rüzgâr Çeşitleri

Rüzgâr atmosferdeki hava hareketlerinin bir sonucudur. Yüksek basınç bulunduğu alanlardan alçak basınç alanlarına doğru meydana gelen hava olayıdır. Rüzgâr çeşitleri, oluşum nedenlerine, etki alanlarına ve devam sürelerine göre farklı şekillerde gruplandırılabilir;

- Sürekli (Daima Esen) Rüzgârlar: Bu rüzgârlar yıl boyunca aynı yönde esen rüzgârlardır.
- Mevsimlik (Dönemsel) Rüzgârlar: Yılın belirli dönemlerinde yön değiştiren rüzgârlardır.
- Yerel (Günlük) Rüzgârlar: Kısa süreli dar alanlarda görülen rüzgârlardır. Meltemler bu rüzgârlardandır. Deniz meltemi gündüz denizden karaya eser Kara meltemi gece karadan denize eser. Vadi meltemi gündüz vadiden dağa doğru eser. Dağ meltemi de gece dağdan vadiye doğru eser.
- Değişken (Geçici) Rüzgârlar: Hava basıncındaki ani değişimler sonrasında meydana gelir. Yönleri ve şiddetleri kısa sürede değişkenlik gösterebilir. Fön Rüzgârları dağın yamaçlarından aşağıya inerken ısınan kuru rüzgârlardır (Nurbay ve Çınar, 2005).

1.2.7.3 Rüzgârdan Enerji Üretim Çeşitleri

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir temiz olan enerji kaynaklarından biridir (Kaya ve Koç, 2015).Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için birkaç farklı yöntem yer almaktadır.

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Bu yöntem en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri genellikle üç kanatlı rotorları olan yüksek kulelerde yer almaktadır (Us, 2003).Rüzgâr türbinlerinin kanatları, rüzgârdan dolayı döner kanatlara

çarpıp ve rotorun dönmesini sağlar. Rotorun hareketi ana mil ile iletilir. Dişli kutusu dönme hızını artırır (Doğan, 2014). Jeneratör, bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen elektrik kablolar aracılığıyla şebekeye iletilir (Şenel ve Koç, 2014). Yüksek verimli türbin çeşitlerindendir. Geniş güç aralığında üretim yapılabilir. Teknolojisi gelişmiştir, bakım ve işletme sistemleri oturmuştur (Büyükdere et al., 2024). Şekil 1.7 de yatay eksenli rüzgâr türbin örneği yer almaktadır. Dezavantajı gürültülü çalışması, yüksek kule maliyeti gerektirir.



Şekil 1.7. Yatay eksen rüzgâr türbini (Türbini, 2023)

Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Yatay türbinlerin aksine rotor eksenli dikey olan yani yere dik şekilde dönen türbinlerdir. Bu tür türbinlerde rüzgâr hangi yönde eserse esin türbin dönebilir (Çetin, Genç, ve Daldaban, 2019). Rüzgârın estiği duruma göre türbinin dönmesi de daha esnek bir hale getirir. Rotor kanatları dikey yerleştirildiğinden rüzgârı her taraftan alabilir. Dikey konumdadır bu durumdan kaynaklı olarak dönme hareketini jeneratöre iletir. Jeneratörde genellikle türbinlerin tabanlarında yer alır (Akman, 2019). Rüzgâr dikey eksenli olan kanatlara çarpıp. Bu kanatların şekilleri sayesinde rotor dönmeye başlar. Rotorun dönme hareketi ana mil aracılığı ile jeneratöre

iletilir. Jeneratörde gelen bu hareketi elektrik enerjisine çevirir (Nurbay ve Çınar, 2005). Bu türbin çeşidinin rüzgâr yönüne göre dönmeye gerek yoktur. Gürültü seviyesi düşüktür. Jeneratörleri zeminde olduğundan bakımları kolaydır. Düşük hızlarda bile çalışabilir (Günhan, 2020).



Şekil 1.8. Dikey eksen rüzgâr türbini (Türbini, 2024)

Deniz üstü Rüzgâr Çiftlikleri: Denizlerdeki açık alanlarda büyük rüzgâr türbinlerinin kurulduğu alanlardır. Bu türbinler ya denizin tabanına sabitlenir ya da yüzer platformlar üzerine yerleştirilir (Kutlu, 2011). Deniz üzerindeki rüzgâr türbinleri, karada bulunan rüzgâr türbinleri ile aynı şekilde çalışırlar. Rüzgâr kanatları döndürür, bu sayede rotor döner ve sayede jeneratör elektrik üretir. Türbinlerde üretilen enerji deniz altı kabloları ile deniz altı trafo merkezlerine ulaşılır. Gerilimi yükseltilerek karada yer alan şebekeye iletilir (Huvaj Sarıhan ve Baidol, 2019). Deniz üstü rüzgâr

türbinlerinde rüzgâr hızı karaya göre daha yüksektir. Gürültü karadakine göre daha azdır. Daha yüksek ve sabit rüzgâr hızı daha fazla elektrik üretimi sağlanır (Köroğlu ve Ülgen, 2018). Şehirden uzak olduğu için gürültü ve görsel kirlilik sorunu oluşmamakta. Yüksek maliyet gerektirir. Deniz koşulları ekipmanlara zarar verebilir (Çelik, Yıldız, ve Şekkeli, 2019).



Şekil 1.9. Deniz üstü rüzgâr türbini (Üstü, 2025)

Mikro Rüzgâr Türbinleri: Evsel veya bireysel kullanım için ev çatılarında çiftliklerde aydınlatma direklerinde küçük işletmelerde kullanılır. Rotor kanatları rüzgâr enerjisini döner enerjiye çevirir. Jeneratörde döner enerjiyi elektrik enerjisine çevirir (Çelik, Yıldız, ve Şekkeli, 2018). Kule veya direk türbini rüzgâra uygun yüksekliğe konumlandırır. Kontrol ünitesi ve İnvertör ise elektriği düzenler, akülerle veya şebekeyle uyumlu bir hale getirir. Üretilen enerji ise isteğe göre batarya ile depolanabilir (İçel, 2023). Maliyeti düşük kolay kurulabilir. Rüzgâr yönüne otomatik olarak ayarlanabilir. Sessiz çalışabilir. Şebekeden bağımsız kullanılabilir. Ev elektrik ihtiyacı, tarımsal sulama sisteminde, güvenlik kameraları ve direk aydınlatmaları, Telekom istasyonu, karavan, tekne dağ evi gibi mobil olan yerlerde kullanılabilir (İçel, 2023).



Şekil 1.10. Mikro rüzgâr türbini (Mikro, 2025)

Hibrit Sistemler: İki veya daha fazla enerji kaynağının bir arada kullanıldığı sistemlerdir. Amaç tüm kaynakların güçlü taraflarından faydalanılarak sürekli verimli ve kesintisiz enerji üretimi sağlamaktır (Çakmak, Kurban, ve Dokur, 2020). Hibrit enerji sistemleri genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının yani güneş, rüzgâr, hidrojen, biyokütle ile birbiri ile veya şebekeyle birleştirilmesi ile oluşturulur (Atik ve Sekin, 2022). Bir enerji kaynağının üretmediği zamanlarda diğer enerji kaynağının devreye girdiği, tamamlayıcı sistemlerdir. Sürekli enerji sağlar yani bir kaynak devre dışı kalsa diğeri çalışır (Kırbaş ve Kocakulak, 2021). Enerji üretiminde kararlılık ve güvenilirlik sunar. Şebekeden bağımsız çalışabilir. Uzun vadede ekonomiktir.



Şekil 1.11. Hibrit sistemler (Hibrit, 2024)

1.2.7.4 Rüzgâr Enerjisi İçin Fizibilite Çalışmaları

Bir rüzgâr türbini kurmak için aşağıdaki verilere ihtiyaç vardır.

- Ortalama rüzgâr hızı,
- İletim şebekesine yakınlık,
- Arazinin eğimi, büyüklüğü, kullanım şekli ve bitki örtüsü,
- Tarım arazisindeki yaşam,
- Yatırım maliyeti,
- Çevre etkisi,
- Gürültü,
- Ekonomik ve sosyal koşullar,
- İşletme bakımından kaynaklı olarak oluşan harcamalar,
- Türbin araştırmaları önemli etken maddeler arasındadır (İlkılıç, 2016).

Rüzgârı depolamak mümkün olmadığından ötürü en sağlıklı olan rüzgârdan elde ettiğimiz enerjinin doğrudan olarak ana güç şebekelerine iletilmesidir.

1.2.7.5 Rüzgârın Oluşumu

Gün boyunca kara üzerindeki hava, su üzerinde bulunan havadan daha hızlı ısınır. Rüzgâr oluşumu, atmosferdeki basınç farklarından kaynaklanır. Karanın üzerindeki ısınan hava genişleyip yükselir ve daha ağır, daha soğuk hava onun yerini almak için içeri girerek rüzgâr yaratır. Geceleri rüzgârlar ters esiyor çünkü hava karada suya göre daha hızlı soğuyor (Özdamar, 2000). Atmosferdeki hava hareketleri ve basınç farkları hem rüzgârın hem de rüzgârın hareketini belirler.

1.2.7.6 Rüzgâr Türbin Parçaları

- Dişli kutusu,
- Rotor,
- Anemometre,
- Kanatlar,
- Kontrol Ünitesi,
- Vites kutusu,
- Kule,
- Çark,
- Jeneratör,

- Hız Mili,
- Gondol,
- Makine kısmının bulunduğu alan,
- Durmayı sağlayan kol (Yavuz ve Özbay, 2020).

Rotor: Rüzgâr türbinlerinin dışında bulunan ve rüzgârı yakalayan kanatlı setlerdir. Rotor dönerek kinetik enerjiyi alıp mekanik enerjiye dönüşümünü sağlar.

Jeneratör: Rotor jeneratörü çevirerek mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Jeneratör şaft tarafından rotora bağlanır.

Şaft: Rotoru jeneratöre bağlar. Rüzgârın kinetik enerjisini bu şaft ile beraber jeneratöre bağlar.

Kule: Rüzgâr türbinlerinin yüksekliğini sağlar. Aynı zamanda rotorun yere yakın kısmının hava akışından etkilenmemesini sağlayan bir parçadır. Kule ya betondan ya da çelik maddeden yapılır.

Gondol: Türbinlerin en üst kısmında yer alır ve genel olarak jeneratörü, şaftı ve kontrol sistemlerini içine alan büyük bir kombindir. Gondolun şekli aerodinamik verimlilik, yapı olarak dayanıklılık ve işlevselliği en iyi hale getirme amaçlı olarak dizayn edilmiştir.

Kontrol Sistemleri: Rüzgâr türbinlerinde rotorun hızını, jeneratörün gücünü ve diğer parçaları kontrol eden sistemlerdir (Demircan ve Bayraktar, 2020).

1.2.7.7 Rüzgâr Nasıl Enerjiye Dönüştürülür

Rüzgârın enerjiye dönüşebilmesi için öncelikle coğrafi açıdan rüzgâr potansiyeli olan, uygun yerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra bu alanda elde edilecek enerjinin maksimumu hesaplanarak ihtiyaç duyulan türbin sayısı belirlenmesinde faktördür. Rüzgâr türbin kanatlarına çarptığında kanatları döndürür. Kanatlar, uçak pervaneleri gibi aerodinamik şekillerdir (Demircan ve Bayraktar, 2020). Rüzgârın sahip olduğu kinetik enerji, bu dönüş hareketine dönüşür. Dönen kanatlar bir mil aracılığıyla dişli kutusuna bağlanır. Mil düşük hızda döner, dönüş hızını arttırarak jeneratöre iletir. Jeneratörün içinde dönen milden kaynaklı olarak manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan, elektrik akımı üretir. Üretilen elektrik önce invertör ve trafodan geçerek gerilimi yükseltir. Ardından elektrik şebekesine veya batarya sistemine aktarılır (Yıldız, 2024).



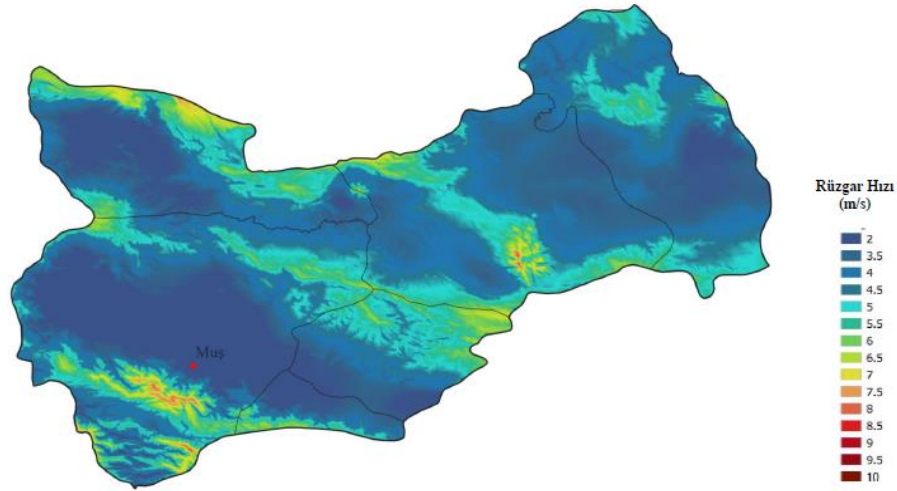
Şekil 1.12. Rüzgâr türbini (Rüzgar, 2024)



Şekil 1.13. Rüzgâr türbini (Rüzgar, 2024)

1.2.7.8 Muş İlinde Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Muş ili, Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Yüksek rakımı yaklaşık 1300- 1600 m ve açık ova yapısı nedeniyle rüzgâr enerji potansiyeli açısından dikkate değer bir bölgedir. Bölgenin iklimi karasal özellik gösterdiğinden, özellikle ilkbahar ve kış aylarında rüzgâr hızları artış göstermekte, yaz aylarında ise güneş radyasyonu maksimum değerlere ulaşmaktadır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) şekil 1.14. Yıllık Ortalama Rüzgâr Hız 1 verilerine göre Muş ilinde 50 metre yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 5,5 - 6,5 m/s aralığındadır (Repa, 2024). Bu değerler, küçük ve orta ölçekli türbinlerin verimli çalışabileceği bir potansiyele işaret etmektedir. Özellikle Üçevler, Varto, Korkut ve Hasköy çevresinde yapılan ölçümler, bölgenin bazı noktalarında 6 m/s'nin üzerinde ortalama rüzgar hızları olduğunu göstermektedir. Muş ili, temiz enerjiye geçiş açısından doğal avantajlara sahiptir. Hava kalitesini olumsuz etkileyen sanayi tesislerinin az olması, geniş ve açık olan arazilerinin olması, düşük nüfus yoğunluğu gibi etkenler rüzgâr santrali kurulumunu çevresel açıdan uygun hale getirmektedir. Rüzgâr enerjisi bölge de istihdam yaratma, yerel kalkınmayı destekleme ve enerji arz çeşitliliği artırma potansiyeli bulunmaktadır. Bu durumda Muş'un uzun vadede Doğu Anadolu'nun yenilenebilir enerji merkezi olma yolunda önemli bir aday olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.14. Yıllık ortalama rüzgâr hızı (Repa, 2024)

Yıllık ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr enerji santrallerinin üretim potansiyelini belirleyen en temel parametrelerden biridir. Rüzgâr hızındaki küçük artışlar bile enerji üretiminde

büyük değişimlere neden olmaktadır. Yıllık ortalama rüzgar hızının yükselmesi RES verimliliğini doğrudan ve yüksek derecede arttırmaktadır.

Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızının Yüksek Olduğu Bölgelerde;

- Kapasite faktörü yükselir,
- Üretilen yıllık enerji artar.
- Türbin seçimi daha büyük rotor çaplı ve tipi uygun olabilir.
- Türbin yatırım geri dönüş süresi daha kısa olur.

Kısacası yıllık ortalama rüzgâr hızının yüksek olması, rüzgar türbinlerinin enerji üretim performansını doğrudan artırmakta ve kapasite faktörünü olumlu yönde etkilemektedir. Rüzgar hızının küp ilişkisi ($P \propto V^3$) nedeniyle bölgede sadece 1 m/s hız artışı bile yıllık üretimi anlamlı derecede yükseltebilmekte, bu nedenle saha seçimi ve hibrit sistem optimizasyonunda yıllık ortalama rüzgar hızı kritik belirleyici parametre olarak kabul edilmektedir (Üze et al., 2008).

Çizelge 1.3. kuzey yönlü rüzgar hızları incelendiğinde, bu yönün Muş ili için rüzgar bileşeninde belirleyici olduğu görülmektedir. Aylara göre değişim incelendiğinde kuzeyden esen rüzgarların yıl boyunca belirli bir süreklilik gösterdiği ve rüzgar enerjisi üretimine önemli katkı sağladığı anlaşılmıştır. Bu nedenle türbinlerin yönlendirilmesinde kuzey yönü temel referans yön olarak dikkate alınmış, hibrit sistem modellenmesinde kuzey bileşeninin yıllık ortalama rüzgar enerjisi üretimine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Çizelge 1.3. Muş - Üçevler Kuzey- Kuzeydoğu yönlü rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık N Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Aylık NNE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	2120	1869	1712	1399	1369	1211	1094	1082	1027	1012	1156	1484	16535
Aylık NNE Yönünde Esme Oranı (%)	28.65	27.59	23.17	19.5	18.57	16.84	14.71	14.57	14.3	13.63	16.2	20.31	19.88
Aylık NNE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı(m÷sn)	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.8
Aylık NE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	647	588	647	720	775	863	957	881	692	620	460	699	8549
Aylık NE Yönünde Esme Oranı (%)	8.74	8.68	8.76	10.0	10.5	12.0	12.9	11.9	9.63	8.35	6.45	9.57	9.79
Aylık NE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.6	0.7	0.8	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	0.9	0.7	0.7	0.6	0.8
Aylık ENE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	294	231	294	379	369	370	487	451	360	261	206	363	4065
Aylık ENE Yönünde Esme Oranı (%)	3.97	3.41	3.98	5.28	5.01	5.14	6.55	6.07	5.01	3.52	2.89	4.97	4.65
Aylık ENE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı(m÷sn)	0.7	0.7	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	0.9	0.7	0.7	0.6	0.9
Aylık E Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	177	105	167	154	184	164	225	194	149	137	142	161	1959
Aylık E Yönünde Esme Oranı (%)	2.39	1.55	2.26	2.15	2.50	2.28	3.03	2.61	2.07	1.85	1.99	2.20	2.24
Aylık E Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.7	0.8	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9
Aylık ESE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	71	49	89	101	95	65	108	76	59	72	63	59	907
Aylık ESE Yönünde Esme Oranı (%)	0.96	0.72	1.20	1.41	1.29	0.90	1.45	1.02	0.82	0.97	0.88	0.81	1.04

Çizelgede verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

Çizelge 1.4. Muş-Üçevler Güney-Güneydoğu yönlü rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık ESE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.7	0.7	1.0	1.0	1.1	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.9
Aylık SE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	52	59	79	96	83	92	76	89	65	70	38	49	848
Aylık SE Yönünde Esme Oranı (%)	0.70	0.87	1.07	1.34	1.13	1.28	1.02	1.20	0.90	0.94	0.53	0.67	0.97
Aylık SE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.7	0.7	0.9	1.2	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0	0.9	0.7	0.7	0.9
Aylık SSE Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	50	57	95	147	96	72	83	73	71	52	58	61	915
Aylık SSE Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.8	0.7	1.0	1.2	1.1	1.2	1.0	1.1	0.9	0.9	0.7	0.8	1.0
Aylık SSE Yönünde Esme Oranı (%)	0.68	0.84	1.29	2.05	1.30	1.00	1.12	0.98	0.99	0.70	0.81	0.83	1.05
Aylık S Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	155	222	336	357	361	389	326	284	299	286	146	261	3422
Aylık S Yönünde Esme Oranı (%)	2.09	3.28	4.55	4.97	4.90	5.41	4.38	3.82	4.16	3.85	2.05	3.57	3.92
Aylık S Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.9	0.8	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	0.9	0.9	1.2
Aylık SSW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	337	442	576	776	872	1163	1283	1293	1157	1010	734	595	10238
Aylık SSW Yönünde Esme Oranı (%)	4.55	6.53	7.79	10.81	11.83	16.17	17.25	17.41	16.11	13.61	10.29	8.14	11.71
Aylık SSW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1
Aylık SW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	259	223	287	543	518	659	746	913	943	782	576	291	6740
Aylık SW Yönünde Esme Oranı (%)	3.50	3.29	3.88	7.57	7.03	9.16	10.03	12.29	13.13	10.53	8.07	3.98	7.71

Çizelgede verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

Çizelge 1.5. Muş- Üçevler Batı -Güneybatı- Kuzeybatı yönlü rüzgar hızları (Meteoroloji, 2024)

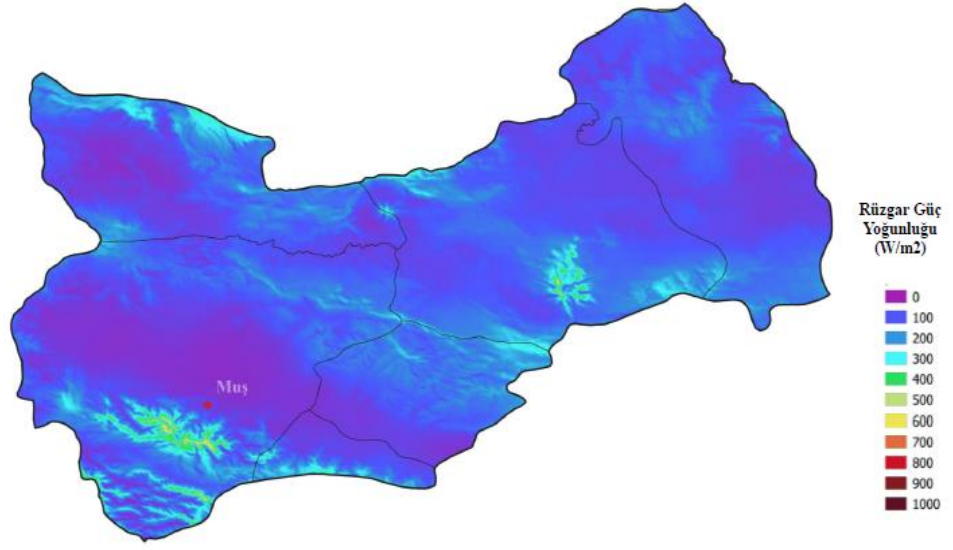
Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık SW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8
Aylık WSW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	196	131	213	312	328	343	406	441	364	310	296	134	3474
Aylık WSW Yönünde Esme Oranı (%)	2.65	1.93	2.88	4.35	4.45	4.77	5.46	5.94	5.07	4.18	4.15	1.83	3.97
Aylık WSW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8
Aylık W Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	136	117	166	171	158	153	192	168	226	160	166	102	1915
Aylık W Yönünde Esme Oranı (%)	1.84	1.73	2.25	2.38	2.14	2.13	2.58	2.26	3.15	2.16	2.33	1.40	2.20
Aylık W Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Aylık WNW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	107	110	96	139	142	133	125	131	151	128	131	77	1470
Aylık WNW Yönünde Esme Oranı (%)	1.45	1.62	1.30	1.94	1.93	1.85	1.68	1.76	2.10	1.72	1.84	1.05	1.69
Aylık WNW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6
Aylık NW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	141	150	131	167	175	164	169	183	212	224	185	92	1993
Aylık NW Yönünde Esme Oranı (%)	1.91	2.21	1.77	2.33	2.37	2.28	2.27	2.46	2.95	3.02	2.59	1.26	2.29
Aylık NW Yönünde Ortalama Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Aylık NNW Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	320	307	323	323	351	306	292	314	315	423	367	242	3883
Aylık NNW Yönünde Esme Oranı (%)	4.32	4.53	4.37	4.50	4.76	4.25	3.93	4.23	4.38	5.70	5.14	3.31	4.45

Çizelgede verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

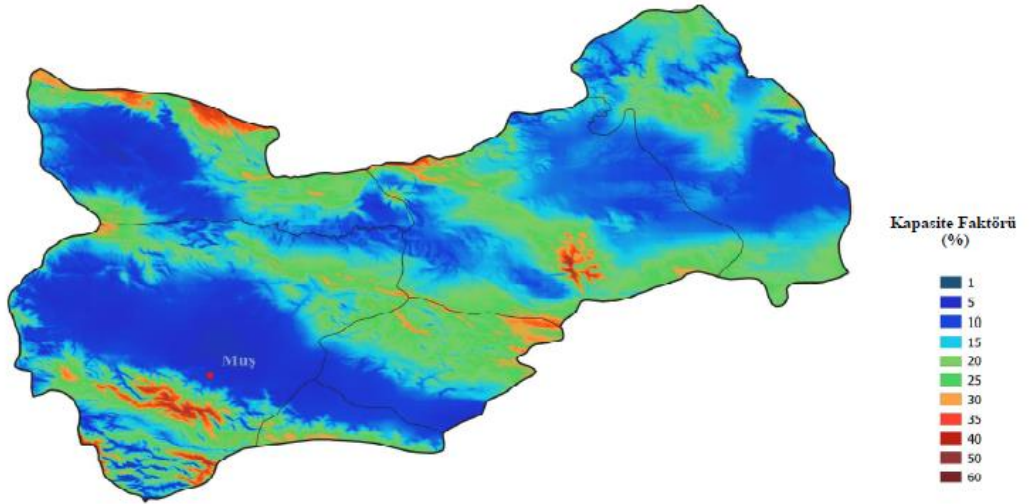
Çizelge 1.6. Muş - Üçevler maksimum minimum toprak sıcaklığı (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık NNW Yönünde Ort. Rüzgar Hızı (m÷sn)	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
Aylık Sakin Rüzgar Sayısı Toplamı	398	378	337	155	240	127	63	76	175	602	723	751	4025
Aylık Hakim Rüzgar Yönü ve Yüzdesi (%)	NNE 28.65	NNE 27.59	N 24.93	NNE 19.50	NNE 18.57	NNE 16.84	SSW 17.25	SSW 17.41	SSW 16.11	N 17.16	N 23.65	N 25.81	NNE 28.65
Aylık Ortalama 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	0.6	1.2	5.0	12.8	17.1	24.0	29.2	30.1	25.0	16.2	7.6	2.7	14.3
Aylık Maksimum 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	6.1	9.7	18.1	27.7	33.6	41.4	43.6	44.1	40.3	32.3	19.7	10.3	44.1
Aylık Minimum 5 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	-4.6	-4.6	-0.5	1.0	7.1	13.6	19.6	18.6	12.8	5.2	0.2	-4.0	-4.6
Aylık Ortalama 10 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	0.8	1.3	5.1	12.8	17.3	24.1	29.3	30.2	25.2	16.6	8.0	2.9	14.5
Aylık Maks. 10 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	5.8	9.3	18.2	26.6	31.9	38.8	41.4	41.0	38.5	30.8	18.8	9.7	41.4
Aylık Min. 10 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	-4.5	-1.5	-0.5	0.8	7.6	14.1	18.8	19.8	14.2	5.8	0.9	-3.4	-4.5
Aylık Ortalama 20 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	2.0	2.2	5.1	11.9	16.3	22.3	27.4	28.7	25.0	17.5	9.5	4.4	14.4
Aylık Maks. 20 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	5.7	7.0	12.1	19.0	23.4	29.7	31.8	32.4	31.2	24.6	17.6	9.4	32.4
Aylık Min. 20 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	-1.5	0.3	0.5	2.0	10.3	15.2	21.2	23.2	17.7	9.9	2.9	-0.3	-1.5
Aylık Ortalama 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	3.2	2.9	5.0	10.8	15.1	20.3	25.2	27.0	24.4	18.2	11.0	5.8	14.1
Aylık Min. 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	0.8	1.4	1.5	2.3	10.9	15.1	20.5	24.3	19.1	11.8	5.0	2.2	0.8
Aylık Maks. 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)	5.9	6.4	10.9	16.3	20.6	25.5	28.0	28.9	28.4	23.3	17.1	10.0	28.9

Çizelgelarda verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 1.15. Rüzgâr güç yoğunluğu (REPA, 2024)



Şekil 1.16. Kapasite faktör dağılımı (REPA, 2024)

Kapasite faktörü rüzgâr santralının yıl boyunca teorik maksimum kapasitesine kıyasla gerçek üretim oranını ifade ettiği için saha verimliliğinin en doğru teknik göstergelerinden biridir. Değerin yükselmesi bölgenin enerji üretilebilirliğinin arttığını, düşük olması ise rüzgâr kaynağının düşük veya türbin seçiminin yerleşiminin, yerleşiminin uygun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 1.7. Kapasite verileri (REPA, 2024)

Minimum rüzgâr hızı (m / s)	1,84
Maksimum rüzgâr hızı (m/s)	8,44
Ortama rüzgâr hızı(m/s)	4,14
Variyans	1,02
Standart Sapma	1,01

Minimum güç yoğunluğu (W /m ²)	9.91
Maksimum güç yoğunluğu (W /m ²)	671.45
Ortama güç yoğunluğu (W /m ²)	117.7
Variyans	3963.962
Standart Sapma	62.96

Minimum kapasite faktörü (%)	1.1
Maksimum kapasite faktörü (%)	46.14
Ortama kapasite faktörü (%)	15.32
Variyans	49,00
Standart Sapma	7,00

2. LİTERATÜR TARAMASI

Güneş ve rüzgardan oluşan enerji tesislerinin modellenmesi için ve ihtiyaç duyulan parametrelerin temin edilmesi amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Diğer paragraflarda araştırılan literatür çalışmaları ve kısaca özetler halinde yer verilmiştir. İ.Karadöl ve diğerleri Kahramanmaraş bölgesi için yenilenebilir enerji kaynağı olarak yalnızca güneş veya yalnızca rüzgâr enerji sistemi kurmanın maliyeti arttırdığını düşünürken, rüzgâr ve güneş enerjisinin birlikte yer aldığı hibrit sistemin kurulması maliyeti azaltmakta olduğu düşünülmektedirler. Bu sistem sayesinde de elektrik nakil hatlarının ulaşılması çok sıkıntılı olan alanlara bile elektriğin taşınabileceği görüşündeler.

Kırbaş ve diğerleri güneş paneli, rüzgar türbini ve her iki enerji kaynağının da kullanıldığı hibrit sistemin tasarımını Homer Pro simülasyon programı üzerinden sağlamışlardır (Kırbaş ve Kocakulak, 2021). Sistem tasarımı için güneş paneli ile rüzgâr türbini ve şebeke bağlantısı gerçekleştirmiştir. Sistemde güneş panelleri için harici konverterler kullanılmışlardır. Tek bir enerji kaynağına dayalı sistemlerin süreksizlik problemi yaşadığını vurgulamaktadır. Bu durumdan kaynaklı olarak farklı enerji kaynaklarının birleştirilmesiyle daha kararlı, güvenilir ve sürdürülebilir enerji üretimi sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Çakmak ve diğerleri Homer ve diğer yazılım modellerini kullanarak Türkiye'nin güneş ve rüzgâr potansiyeli yüksek bölgelerinde, özellikle şebekeden bağımsız uygulamalar için bu yöntemi kullanmışlardır (Çakmak ve ark, 2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanımı ve enerji sürekliliğinin sağlanması açısından önemli olduğu düşünülmüştür. Onlara göre tek bir yenilenebilir enerji kaynağına dayalı sistemler, doğa koşullarına bağlı değişkenlik nedeniyle süreklilik problemi yaşamaktadır. Hibrit sistemlerin fosil yakıtlara olan bağımlılığı azalttığı, karbon salınımını düşürdüğünü ve uzun vadede düşük işletme maliyeti olduğunu savunurlar.

Dursun ve diğerleri modelleme sürecinde Homer yazılımı kullanmışlar bu yazılım aracılığıyla farklı sistem bileşenleri için optimum boyutlandırma ve maliyet analizi yapmışlardır (Dursun ve Yılmaz, 2025). Temel amaçları fosil yakıt kullanmadan, çevreye zarar vermeyen ve kesintisiz enerji sağlayan bir sistem modelinin oluşturulmasıdır. Van ili koşullarında tasarlanan hibrit sistemin yüksek enerji güvenilirliği, düşük çevresel etki ve uzun vadede ekonomik uygulanabilirlik sunduğu belirtilmiştir.

M.A. Aktaş ve diğerleri fotovoltaik enerji sistemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinin tasarımı ve performans analizi çalışması yapmışlardır (M.Aktacir Yeşilata, ve Işıker, 2008). Tek bir kaynağa dayalı yenilenebilir enerji sistemleri iklim koşullarındaki değişkenlik nedeniyle kesintili enerji üretimi sorunu ile karşılaşmaktadır. Bu durumdan kaynaklı olarak fotovoltaik rüzgâr hibrit sistemleri, iki enerji kaynağının zamansal olarak birbirini tamamlaması sayesinde daha kararlı ve güvenilir enerji üretimi sağlar. Güneşin etkin olduğu gündüz saatlerinde fotovoltaik sistem enerji üretirken, güneşin az olduğu veya gece saatlerinde rüzgâr türbinleri devreye girerek sistemi destekler. Hibrit sistemlerin çevre dostu olmaları ve yakıt maliyetini ortadan kaldırmaları sayesinde uzun vadede ekonomik olarak avantajlı olduklarını ortaya koymuşlardır. Homer ve benzeri yazılım kullanılmıştır sistem birleşenlerinin optimum boyutlandırılması yapılarak minimum maliyet – maksimum enerji verimi hedeflenmiştir.

K.Başaran ve diğerleri rüzgâr güneş hibrit güç sistemlerin tasarımı ve analizi üzerine yapılan çalışmadır (Başaran, Çetin, ve Çelik, 2011).Rüzgâr, güneş hibrit güç sistemlerinin tek kaynağa dayalı sistemlere kıyasla daha kararlı, verimli ve sürdürülebilir enerji üretimi sağladığını vurgulamışlardır. Araştırmacılar Türkiye'nin farklı bölgelerinde hem güneş hem rüzgâr potansiyellerinin yüksek olmasının, bu iki kaynağın birbirini tamamlayıcı özellikte kullanılmasına olanak tanıdığını belirtmişlerdir. Hibrit sistem tasarımında enerji sürekliliği, maliyet optimizasyonu ve çevresel sürdürülebilirlik gibi unsurlara odaklanmışlardır.

AF Güven, M Mete Balıkesir İli Erdek ilçesi için bağımsız hibrit enerji üzerine yapılan çalışmalardır (Güven ve Mete, 2021). Balıkesir ve özellikle Erdek ilçesi, coğrafi konumu sebebiyle hem güneş ışınlamı hem de rüzgâr potansiyeli açısından hibrit enerji sistemlerinin uygulanabilirliği yüksek bölgelerden biridir. Bölgeye yönelik yapılan çalışmalarda, PV (fotovoltaik) ve rüzgâr türbinlerinin birlikte, kullanılmasıyla enerji sürekliliğinin sağlanabildiği, tek kaynaklı sistemlerde karşılaşılan üretim kesinti problemlerinin minimize edildiği görülmektedir. Balıkesir- Erdek bölgesinin özellikle kıyı rüzgârları nedeniyle gece üretiminin desteklenebildiği ve bunun sistem performansına olumlu katkı sağladığı belirtilmektedir. Literatürde HOMER programı kullanılarak yapılan optimizasyon ve performans analizleri, Erdek gibi kıyı bölgelere kurulan off-grid hibrit sistemlerin ekonomik açıdan daha avantajlı olduğunu ve karbon salınımının önemli derecede azaltılabildiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle Erdek ilçesi özelinde hibrit sistem tasarımları, hem sürdürülebilir enerji dönüşümü hem de

şebekeden bağımsız enerji üretimi için yapılabirliği yüksek, uygulanabilir bir alternatif olarak görülmektedir.

Y.Arıkan ve E.Çam tarafından yürütülen çalışmalarda, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneş enerjisinin Türkiye'nin enerji dönüşümü açısından en önemli potansiyel kaynaklardan olduğu vurgulanmıştır (Arıkan ve Çam, 2017). Güneş ve rüzgar gibi doğal kaynaklara dayalı enerji üretim sistemlerinin fosil yakıtlı üretim sistemlerine alternatif olabileceğini, çevre dostu yapıları, düşük işletme maliyetleri ve sürdürülebilir enerji arzı sağlamaları nedeniyle geleceğin enerji stratejilerinde kritik bir role sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Çalışmalarında özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin iklim koşullarına bağlı değişken üretim karakteristiği nedeniyle tek kaynaklı sistemlerde enerji sürekliliği sorunu oluşabildiği bu nedenle bu iki kaynağın birlikte değerlendirilmesinin, hibrit sistem yaklaşımının daha verimli ve daha dengeli enerji üretimi sunduğu belirtilmiştir. Arıkan ve Çam'a göre hibrit sistem tasarımlarının doğru boyutlandırılması, meteorolojik verilen ayrıntılı incelenmesi ve optimizasyon yazılımlarının kullanılması, yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik anlamda uygulanabilir sonuçlar üretmesini sağlamaktadır. Bu açıdan güneş-rüzgâr hibrit enerji sistemleri, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de enerji bağımsızlığı hedefleri açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

M. Engin ve A. Özdamar tarafında yürütülen çalışmalarda, güneş rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemlerin, tek kaynaklı sistemlere oranla daha istikrarlı enerji üretimi sağladığı vurgulanmaktadır (Engin, Özdamar, ve Çolak,2005).Güneş ve rüzgar potansiyelinin zamansal değişkenlik göstermesi nedeniyle tekil kaynak kullanımında enerji kesintileri önemli ölçüde azaltıldığını ifade etmektedir. Çalışmalarda özellikle Türkiye'nin birçok bölgesinde gün içinde güneş enerjisinin, gece ise rüzgâr hızlarının yükselmesinin hibrit eşleştirme açısından büyük bir avantaj oluşturduğu belirtilmiştir. M.Engin ve A.Özdamar'a göre doğru boyutlandırılmış güneş-rüzgâr hibrit sistemler, enerji sürekliliğini artırmakta, Karbon salınımı azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta ve uzun vadede enerji maliyetlerini düşürmektedir. Bu nedenle hibrit enerji sistemleri hem kırsal yerleşimler hem de şebekeden bağımsız uygulamalar için uygulanabilir, verimli ve geleceğin enerji stratejilerinde önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

UC Ersoy tarafında yapılan çalışmalarda, çekme karavan gibi mobil sistemlerde rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte değerlendirilmesinin enerji sürekliliği açısından önemli avantajlar sunduğu belirtilmektedir (Ersoy, 2025).Araştırmalara göre karavan

uygulamalarında panel yüzey alanının sınırlı olması nedeniyle yalnızca PV tabanlı sistemler çoğu durumda günlük tüketimi tam olarak karşılayamamakta, özellikle gece saatlerinde enerji yetersizliği olabilmektedir. Bu nedenle küçük güç sınıfında rüzgâr türbinlerinin sisteme eklenmesi, gece rüzgâr potansiyeli ile üretimi destekleyerek sistemin daha kararlı ve güvenilir çalışmasını sağlamaktadır. UC Ersoy 'a göre hibrit konfigürasyon, batarya kapasitesinin daha verimli kullanılmasına, akü döngü sayılarının azalmasına ve sistemin ömrünün artmasına katkıda bulunmakta, ayrıca şebekeden tamamen bağımsız olabilen sürdürülebilir mobil enerji üretimi sunmaktadır. Bu bağlamda, çekme karavanlar için tasarlanan rüzgâr- güneş hibrit sistemleri, hem çevre dostu yapan hem de ekonomik açıdan uzun vadeli uygulanabilirliği nedeniyle önemli bir alternatif çözüm olarak değerlendirilmektedir.



3. TEZİN AMACI

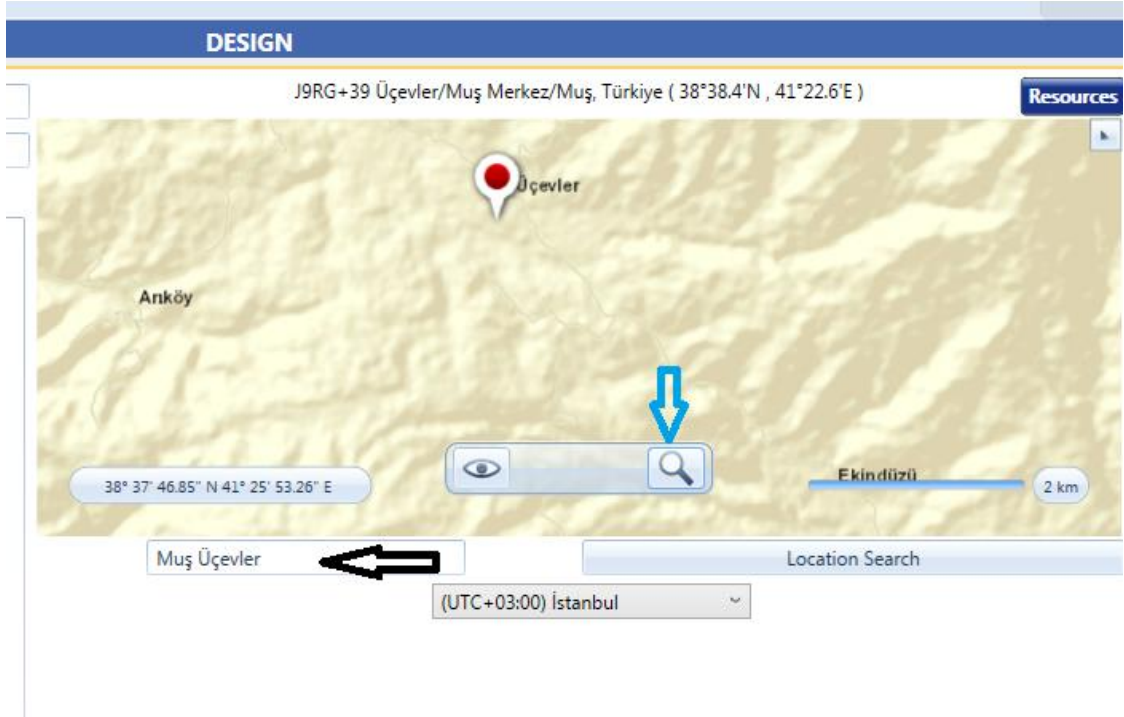
Enerji talebindeki artış, fosil yakıtlara bağımlılığın sürmesi ve çevresel etkiler, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Türkiye’ de rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli yüksek olmasına rağmen, bu kaynakların tekil kullanımında zaman ve mevsimsel değişkenlik nedeniyle sürekli ve kararlı enerji üretimi sağlamak her bölgede mümkün olmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Muş ili Üçevler bölgesinde rüzgar ve güneş enerji kaynaklarının birlikte değerlendirilmesiyle hibrit enerji üretim potansiyelinin belirlenmesidir. Çalışmada bölgeye ait meteorolojik veriler analiz edilerek rüzgar ve güneş enerjisinin zamansal olarak birbirini ne ölçüde tamamladığı ortaya konulacak; hibrit sistem tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan optimize edilecektir. Böylece hibrit sistemlerin tekil yenilenebilir enerji sistemlerine göre daha sürdürülebilir ve daha düşük maliyetli olup olmadığı araştırılacaktır. Muş ili Üçevler bölgesinde rüzgâr hızlarının yılın belirli dönemlerinde artış göstermesi, güneşlenme süresinin ise özellikle yaz dönemlerinde yüksek olması, iki kaynağın birbirini tamamlayıcı nitelikte değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ancak bu bölge özelinde rüzgâr ve güneş bileşenlerinin birlikte analiz edildiği hibrit sistem potansiyelini ortaya koyan yeterli akademik çalışma bulunmamaktadır. Bu bağlamda, Üçevler bölgesi için rüzgâr ve güneş verilerinin birlikte değerlendirilmesi, hibrit sistem tasarımının teknik ve ekonomik açıdan modellenmesi ve uygulanabilirliğinin araştırılması gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma söz konusu ihtiyaçtan hareketle bölgenin hibrit enerji üretim kapasitesini belirleyerek, bölgesel enerji planlamalarına bilimsel katkılar sunmayı amaçlamaktadır.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1 Çalışma Alanı ve Parametreleri

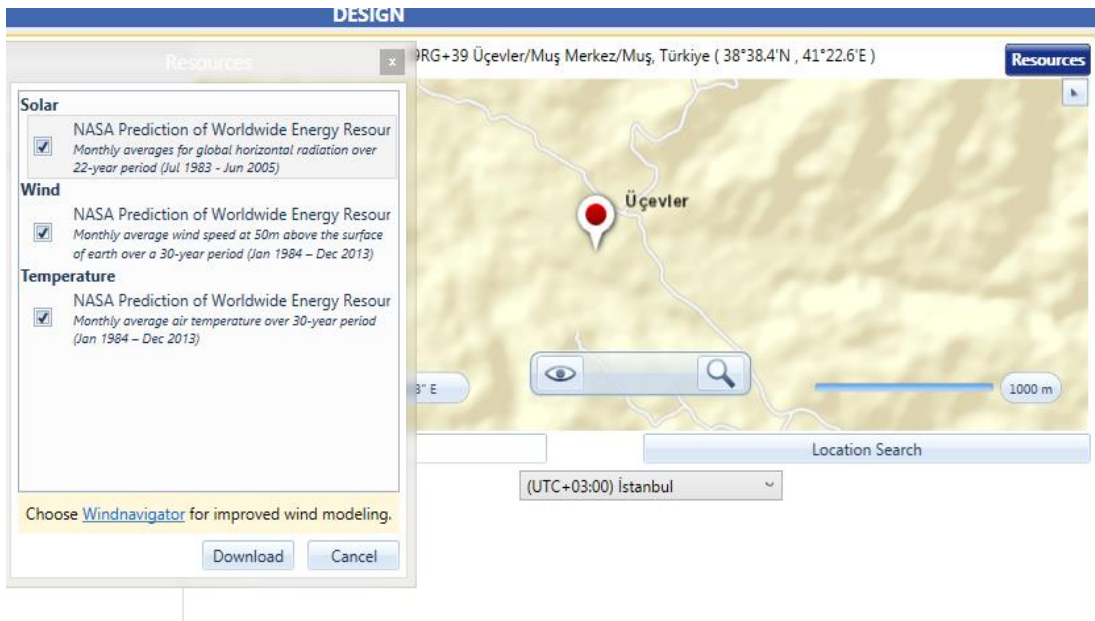
Bu çalışma, Türkiye'nin doğusunda yer alan Muş ili Üçevler köyü bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bölgesinin seçilmesinin temel nedeni, rüzgâr ve güneş kaynaklarının yıl içinde birbirini tamamlayıcı nitelikte olması ve hibrit enerji sistemleri için uygun potansiyel kaynaklı olmasındandır. Seçilen bölge, yüksek rakımı ve açık alan yapısı nedeniyle rüzgâr ve güneş enerji potansiyeli açısından uygun koşullara sahip bir yerdir. Ayrıca bölgenin kırsal yerleşim yapısına sahip olması, yenilenebilir enerji tabanlı dağınık üretim sistemlerinin uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Çalışma alanının koordinatları yaklaşık olarak 38,7° Kuzey Enlemi, 41,2° Doğu Boylamı civarındadır. Rakım ortalama 1325 metre olup, karasal iklim özellikleri gözlenmektedir. Seçilen bölge kış aylarında düşük sıcaklık, yaz aylarında ise yüksek güneşlenme sürelerine sahiptir. Bu çalışmada hibrit bir sistemin Muş ili Üçevler bölgesi için durumu ele alınmıştır. Şekil 4.1' de görüldüğü üzere haritadan yer tespiti yapılarak meteorolojik verilerin alınmasına zemin hazırlanmıştır. Hibrit sistemin kurulacağı çalışma alanı Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Muş ilindeki spesifik konum Şekil 4.1 de gösterildiği gibi kırmızı işaretleyici ile belirtilmiştir.

Homer (Elektriksel Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon Modeli) programı girilen Muş ili Üçevler lokasyonu için aylık güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve diğer veriler seçilen yere ve boylam- enlem değerlerine bağlı olarak NASA(Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) yüzey meteorolojisi ve güneş enerjisi veri tabanından çevrimiçi olarak alma imkânı vermektedir. Ortalama değerlerin yaz döneminde daha yüksek olması PV üretimin mevsimsel olarak güçlü olacağını göstermektedir. Bu duruma karşın rüzgâr profili ise Doğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle sonbahar ve kış dönemlerinde daha aktif olduğundan, iki kaynağın zamansal açıdan birbirini desteklediği görülmektedir. Bu durum hibrit sistem tasarımında enerji sürekliliği açısından önemli avantaj oluşturmaktadır. Bölge seçiminde hem meteorolojik potansiyel hem de kırsal lokasyon yapısı hibrit modellemenin uygulanabilirliği açısından uygun bir zemin oluşturmaktadır. Çalışmamızın gerçekleştiği Muş ili Üçevler bölgesi, Homer Pro Microgrid Analysis Tool x 64 3.18.3 (Pro Edition) programında proje lokasyonu olarak tanımlanmıştır. Muş Üçevler lokasyonu Programa girilip, Şekil 4.1' de görüldüğü gibi Location Search denilmiştir. Bölgenin zaman dilimi UTC +03:00 olarak belirlenmiştir.



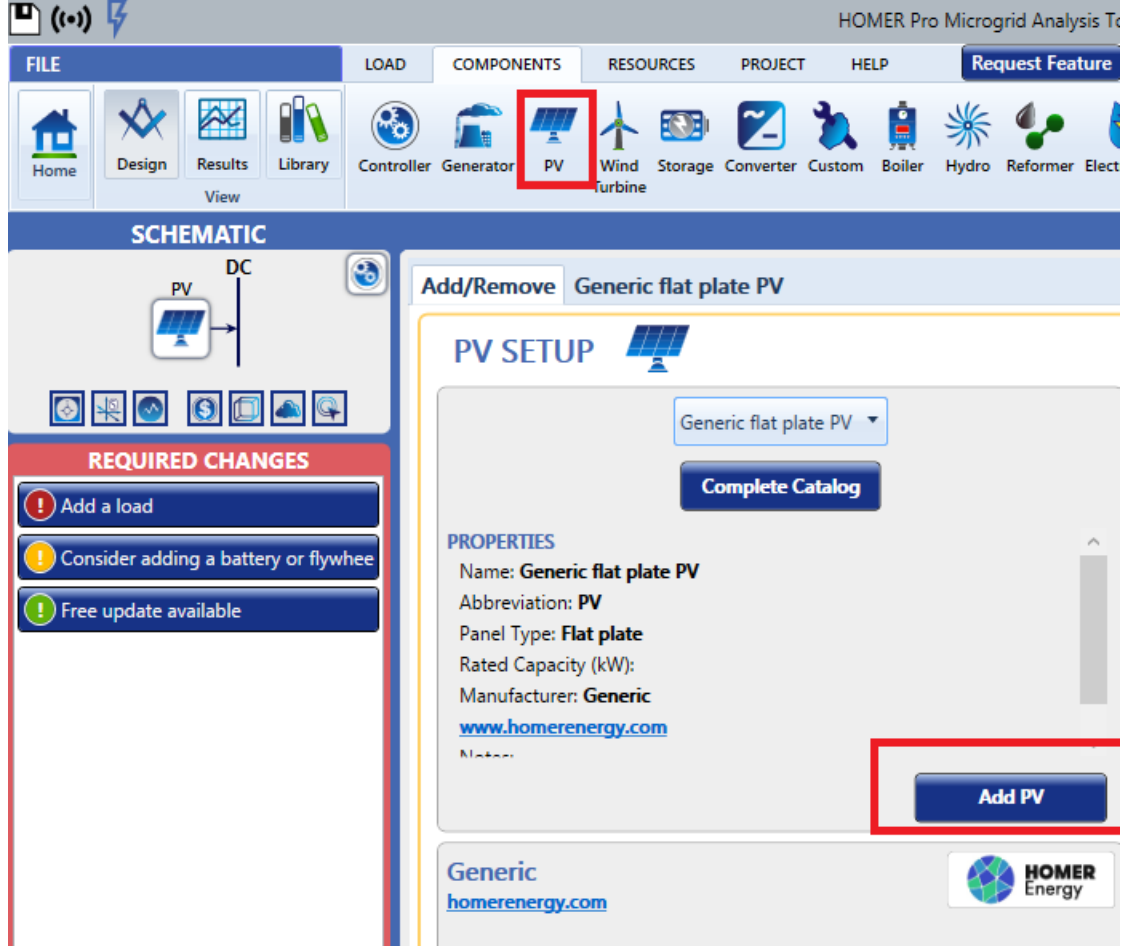
Şekil 4.1. Muş ilinde seçilen bölge

Homer Pro belirtilen bu konuma göre Şekil 4.2 NASA Meteorolojik Verileri ekranında belirtildiği gibi güneş ve rüzgâr verileri tikanılarak indirme işlemi yapılır. NASA meteorolojik veri tabanından güneş radyasyonu, sıcaklık ve rüzgâr hızı verileri otomatik olarak yüklenmiştir. Bu bölümde Şekil 4.2 penceresinde anlaşıldığı üzere rüzgâr hızı, güneş radyasyonu ve sıcaklık otomatik olarak çevrimiçi durumunda harita üzerinden çekilir.



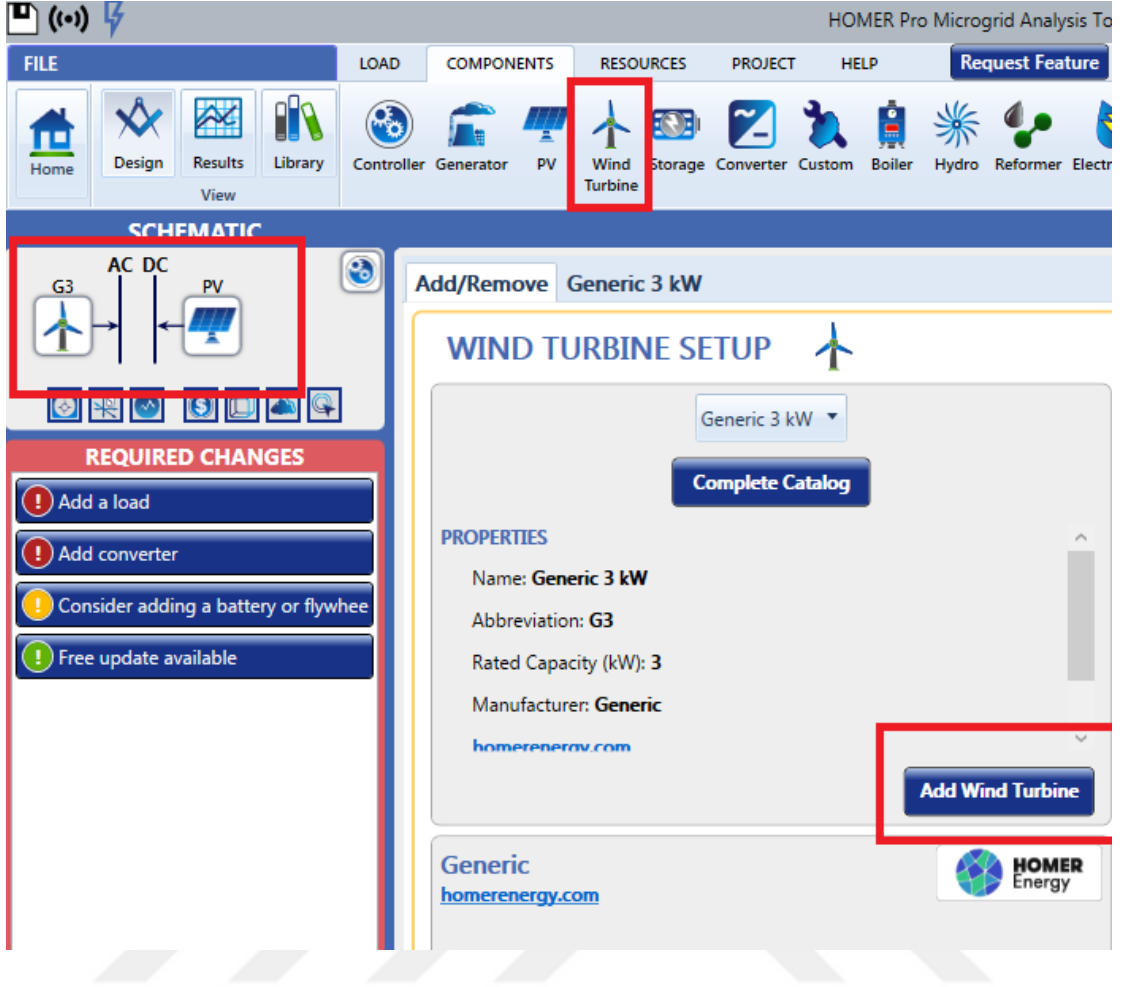
Şekil 4.2. NASA meteorolojik verileri

Şekil 4.3 PV Güneş Paneli Modülünde 1kW – 200 kW arası kapasite seçenekleri tanımlanır. Üçevler bölgesi yaz aylarında yüksek küresel verilere sahiptir. Bu nedenden ötürü PV sistem etkin şekilde çalışır.



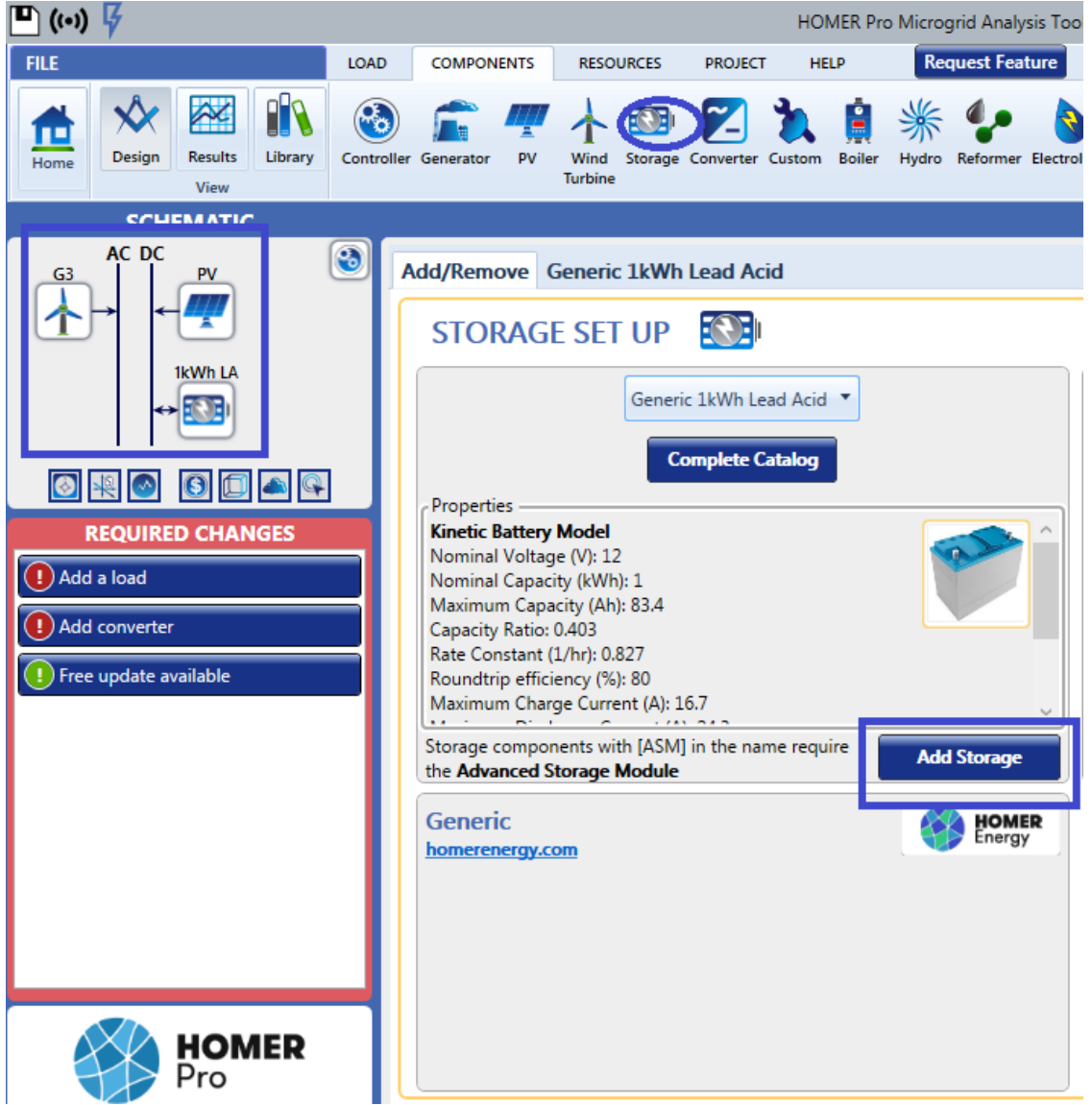
Şekil 4.3. PV (Güneş Paneli) modülü

Şekil 4.4. Rüzgâr Türbininin simülasyona nasıl ilave edildiği ifade edilmektedir. Burada da NASA verileri meteorolojik olarak veri tabanından alınarak yapılmıştır. Rüzgâr hızı 5,5 – 6,5 m/s aralığındadır. Bu hız küçük ve orta ölçekli türbinler için uygundur.



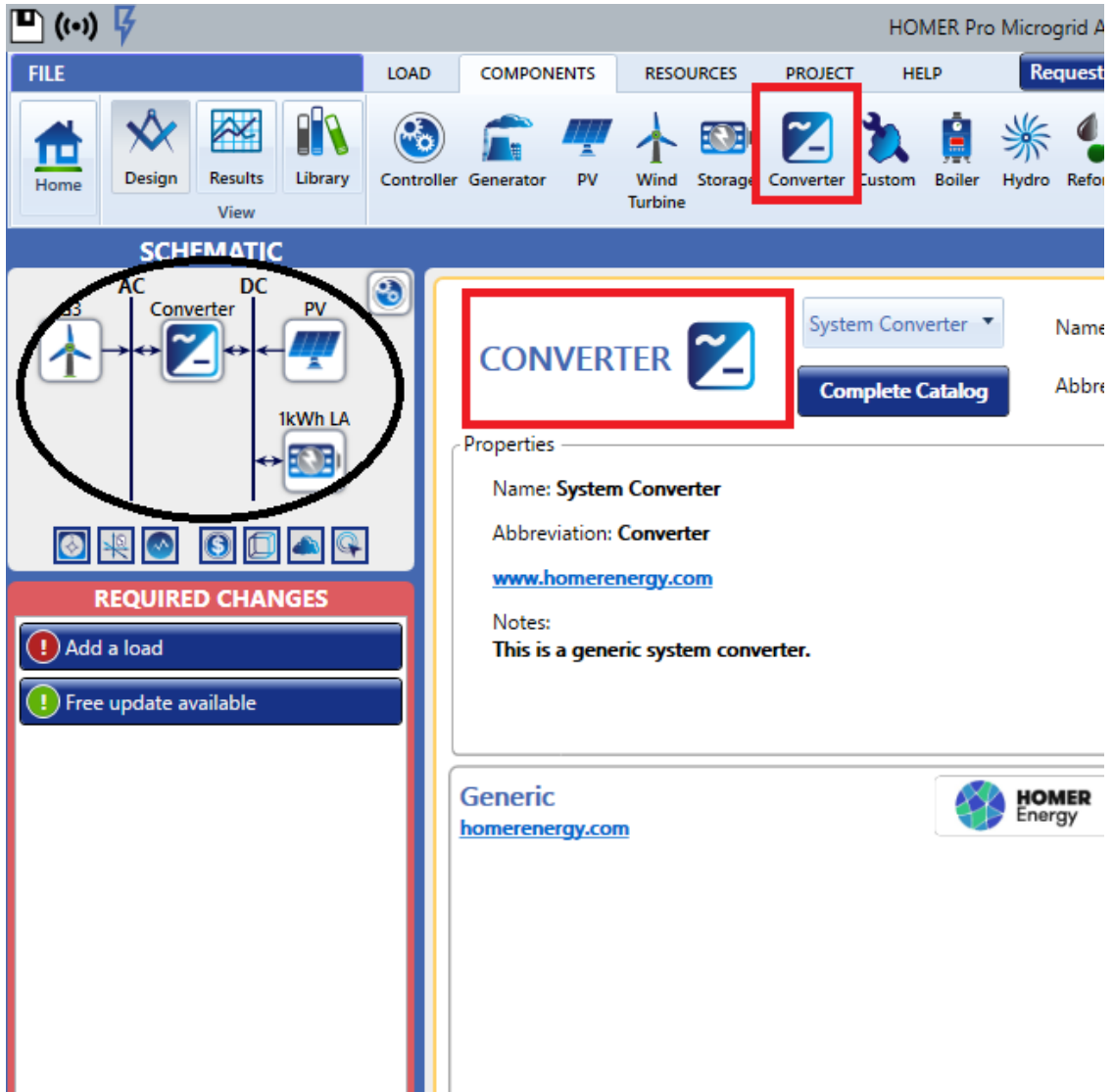
Şekil 4.4. Rüzgâr türbini

Şekil 4.5. Batarya Sistemi Şeklinde simülasyona enerji depolamak amaçlı Li-ion veya AGM batarya ilavesi yapılır. Kapasite aralığı 1 kWh olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5 te belirtildiği gibi simülasyona nasıl eklenme işleminin yapıldığı belirtilmiştir.



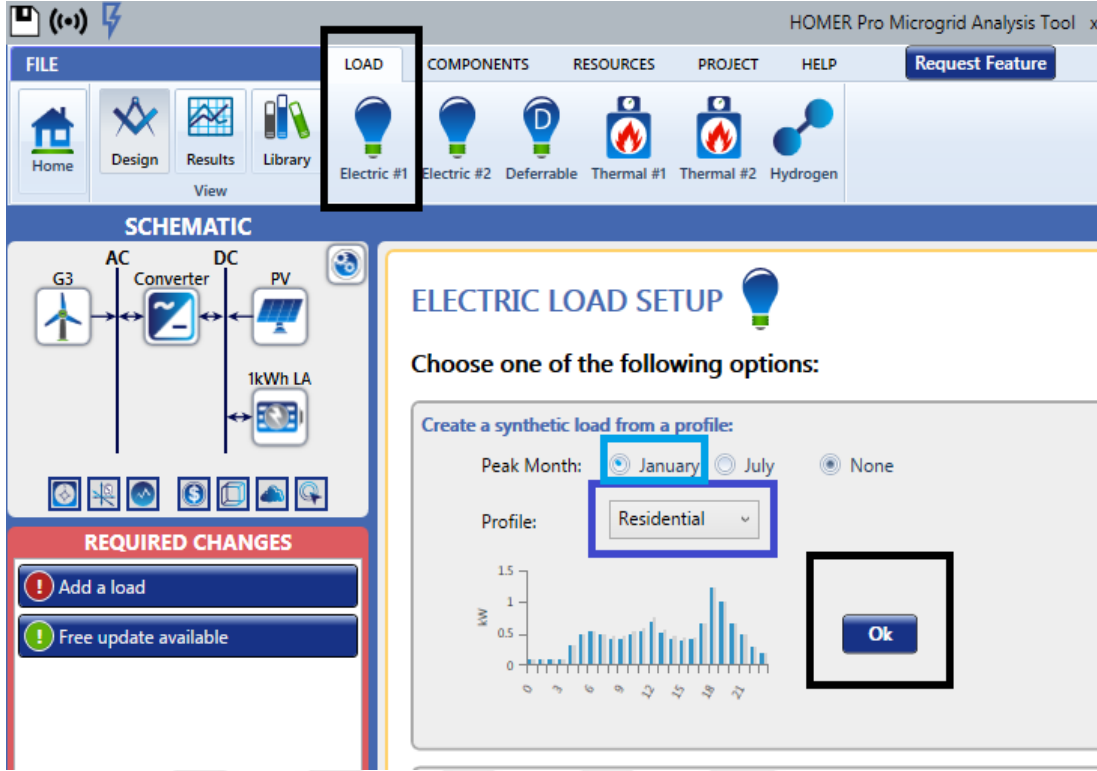
Şekil 4.5. Batarya sistemi

Şekil 4.6. da simülasyona converter ilavesinin nasıl yapıldığı belirtilmiştir. Bu simülasyona Converter ilavesinin yapılmasındaki amaç DC / AC geçişi için eklenme işlemi yapılmıştır. PV ve Batarya sistemlerinin çalışmaları için zorunludur.



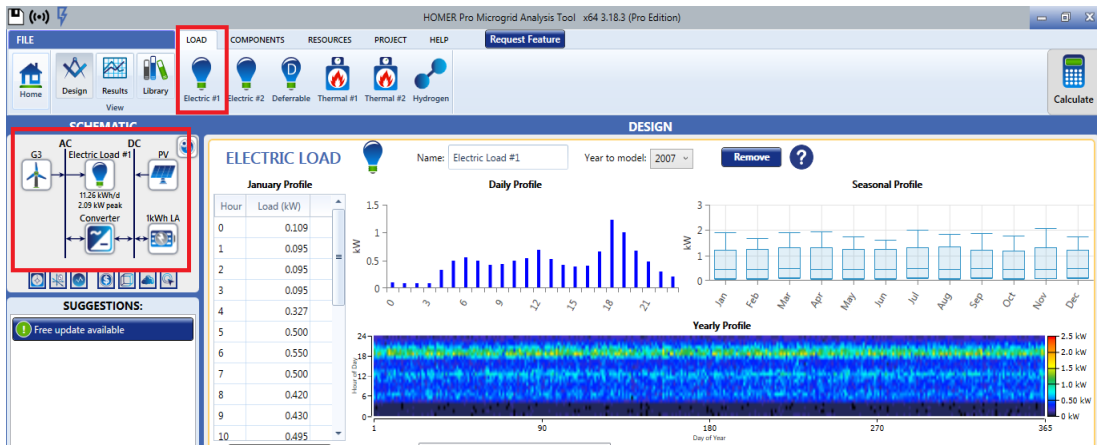
Şekil 4.6. Converter

Şekil 4.7. de Yükün en yüksek olduğu ay olarak Ocak ayı seçilmiştir. Profil bölümünde de Residential (Ev tipi yük) olarak seçilmiştir.



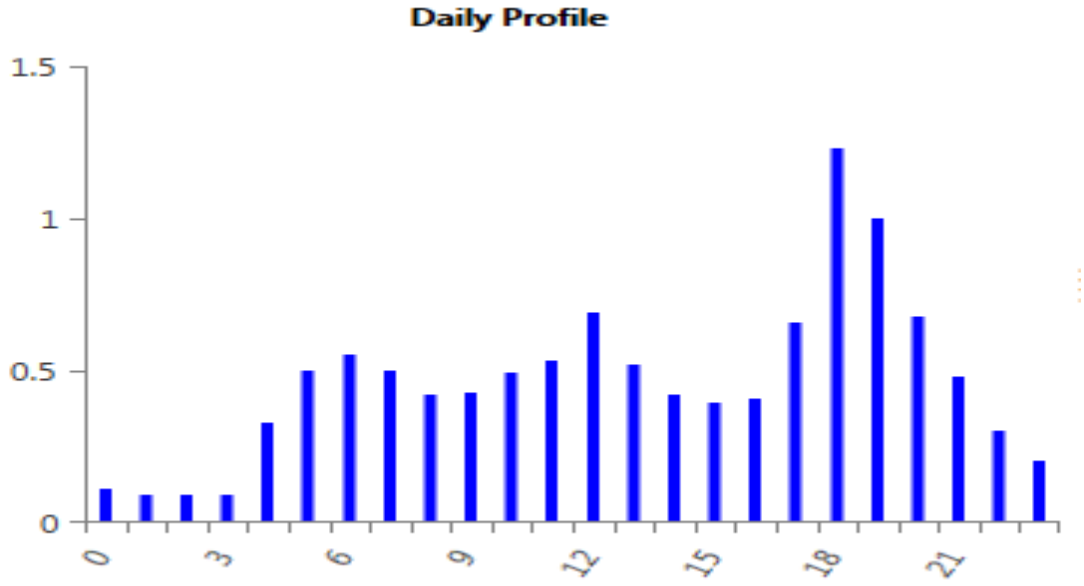
Şekil 4.7. Load(Yük) verileri

OK işaretlenerek yük profili şekil 4.8. de yer aldığı gibi simülasyona ilave edilmiştir.



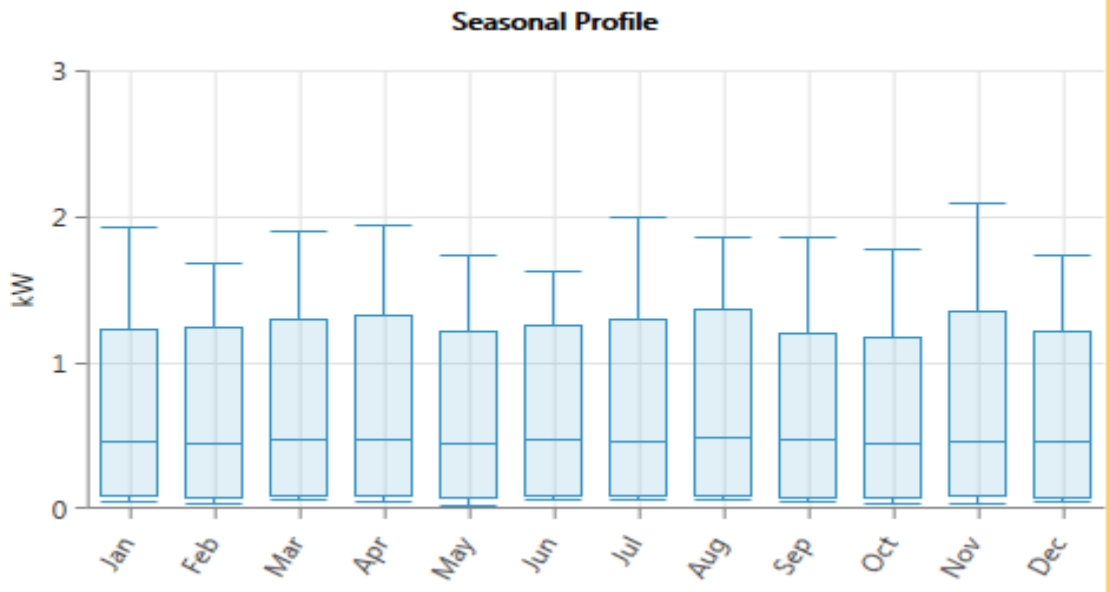
Şekil 4.8. Load ekleme sonrası

Simülasyonu çalıştırma sonrasında Şekil 4.9. da oluşan günlük yük profili verilmiştir.



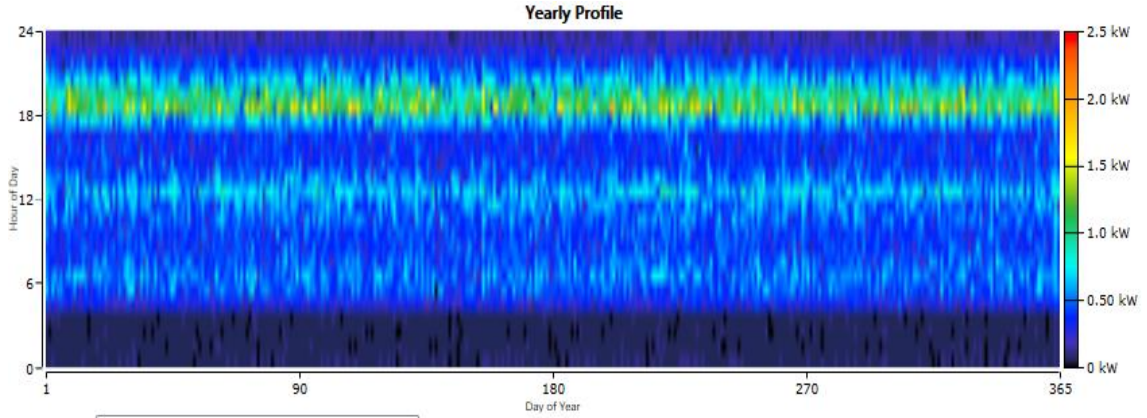
Şekil 4.9. Günlük yük profili

Aylık yük profili Şekil 4.10. gösterildiği gibi oluşmuştur.



Şekil 4.10. Aylık yük profili

Yıllık yük profili Şekil 4.11.' de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yıllık yük profili

4.2 Kullanılan Veriler (Materyaller)

Bu çalışmada Muş ili Üçevler bölgesine ait rüzgâr ve güneş enerji potansiyelini temsil eden meteorolojik veriler kullanılmıştır. Güneş verisi aylık ortalama Global Horizontal Irradiance (GHI) değerleri üzerinden değerlendirilmiş ve HOMER Pro programı içerisinde NASA veri tabanından otomatik olarak indirilmiştir. Araştırmada hibrit enerji sisteminin tasarımı ve performans analizi için aşağıdaki veriler kullanılmıştır:

4.2.1 Güneş Enerjisinde Kullanılan Değerler

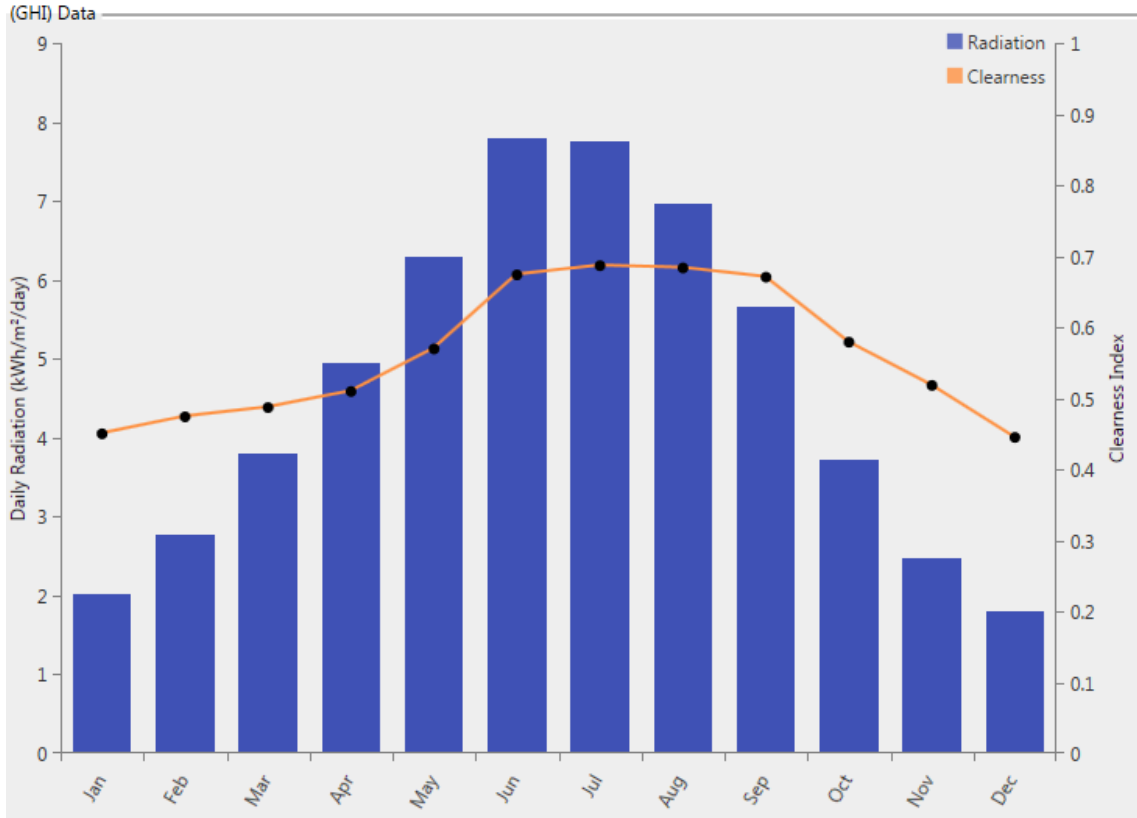
HOMER programında bulunan NASA yüzey meteorolojisi ve güneş enerjisi veri tabanı özelliği, (kWh/m²) birimi ile ölçülen ortalama güneş ışıınım değerlerini ve her ay için netlik endeks değerlerini elde etme imkânı tanımaktadır. Netlik endeksi atmosferin netliği olarak anlaşılmaktadır. Çizelge 4.1 endeks verilerine göre 0 ile 1 arasında bir değer aralığındadır. Çizelge 4.1 Aylık Netlik Endeksi ve Günlük Radyasyon Ortalaması Değerleri verilerine göre Muş Üçevler bölgesinde güneş radyasyonu yıl içinde belirgin mevsimsel değişim göstermektedir. Çizelge 4.2 Aylık Ortalama güneş ışıınımı verisi ve yıllık ortalama açıklık endeksi grafiğine göre Ocak ayında günlük ortalama radyasyon değeri 2.01 kWh/m²/day iken yaz döneminde bu değer önemli ölçüde artarak Haziran ayında 7.80 kWh/m²/day seviyesine ulaşmaktadır. Temmuz ayında 7.75 kWh/m²/day ile yüksek üretim devam etmektedir. Bu durum, bölgede fotovoltaik (PV) sistemlerin özellikle yaz aylarında oldukça yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Sonbahar ile birlikte radyasyon değerleri kademeli olarak düşmekte ve Aralık ayında 1.80 kWh/m²/day seviyesine kadar gerilemektedir. Güneşlenme

potansiyelinin yıl içinde bu şekilde değişmesi, hibrit sistemin rüzgâr ile birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini desteklemektedir. Yaz aylarında PV üretimi yüksekken, kış aylarında güneşin düşük olması rüzgâr bileşeninin sistem sürekliliğine katkı sağlayacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle bölgenin güneş enerjisi potansiyeli hibrit sistemlerde yaz döneminde önemli bir üretim katkısı sağlayacak düzeydedir.

Çizelge 4.1. Aylık netlik endeksi ve günlük radyasyon ortalaması değeri

Aylar	Netlik Endeksi	Günlük Radyasyon (kWh/m/day)
Ocak	0.450	2,01
Şubat	0.474	2,77
Mart	0.487	3,79
Nisan	0.509	4,95
Mayıs	0.569	6,29
Haziran	0.673	7,8
Temmuz	0.686	7,75
Ağustos	0.683	6,96
Eylül	0.670	5,65
Ekim	0.579	3,71
Kasım	0.518	2,47
Aralık	0.445	1,8

Çizelge 4.2. Aylık ortalama güneş ışınlımı verisi ve yıllık ortalama açıklık endeksi



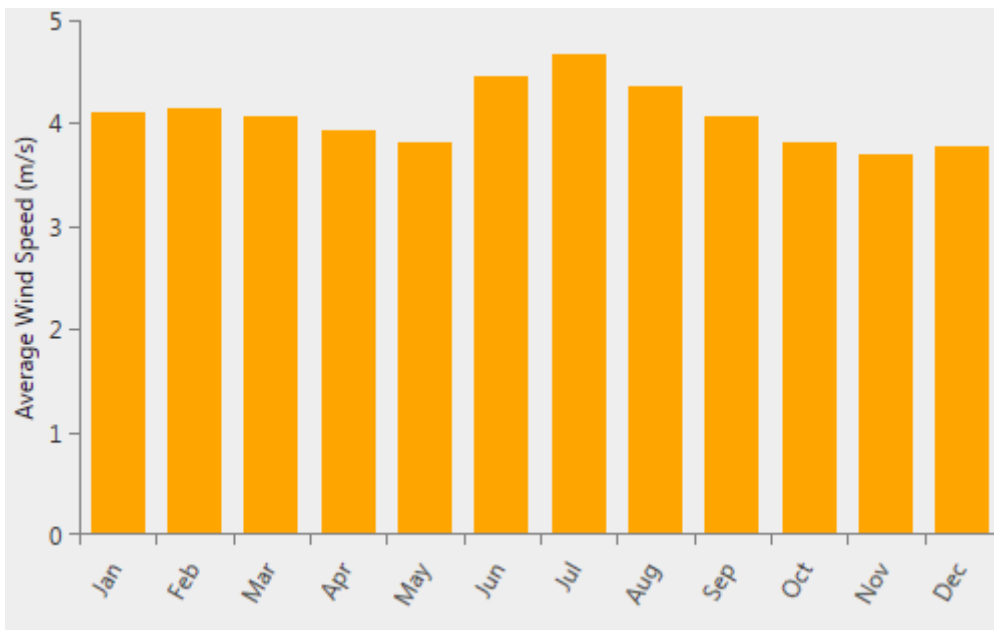
4.2.2 Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Değerler

Muş Üçevler bölgesi için Çizelge 4.3’ de aylık ortalama rüzgâr hızlar değerleri incelendiğinde yıllık ortalama değerlerinin 3,7 – 4,7 m/s aralığında değiştiği görülmektedir. Yıllık ortalamanın ise 4.08 m/s olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında rüzgâr hızlarının daha yüksek gerçekleşmesi hibrit enerji üretimi için avantaj sağlamaktadır. Homer simülasyonu bu değerlerin girilmesi ile rüzgar bileşeninin aylık üretim katkısı modellenilebilir ve sistem optimizasyonu yapılabilir.

Çizelge 4.3. Aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri

Aylar	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Ocak	4.110
Şubat	4.140
Mart	4.070
Nisan	3.930
Mayıs	3.810
Haziran	4.450
Temmuz	4.670
Ağustos	4.360
Eylül	4.070
Ekim	3.820
Kasım	3.690
Aralık	3.780

Çizelge 4.4. Aylık ortalama rüzgâr hızı verileri

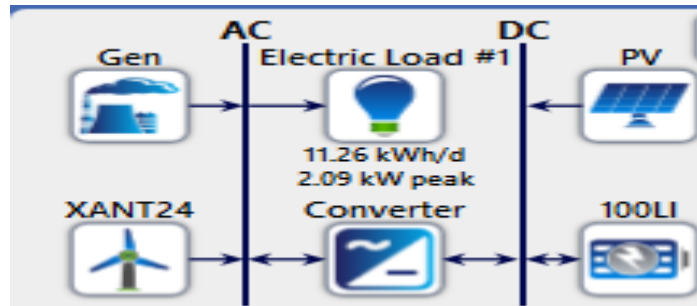


Çizelge 4.4 Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri incelendiği zaman seçilmiş olan bölgenin yüksekliğe göre rüzgâr hızı durumu gösterilmiştir. Rüzgâr hızlarının yıl boyunca çok büyük dalgalanma göstermediği görülmektedir. En yüksek rüzgâr hızları Temmuz ve Haziran aylarında gerçekleşmiştir. Bu dönem yaz aylarına denk geldiği için bölgede yaz döneminde rüzgâr potansiyelinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. En düşük rüzgâr hızları Kasım ve Aralık aylarında görülmüştür. Yıllık çok aşırı değişim olmadığı için sistem tasarımı açısından rüzgâr üretimi istikrarlı kabul edilebilir. Yaz aylarında rüzgâr daha iyi olduğu için Güneş + Rüzgâr hibrit sistem kurulumunda yaz sezonunda hem güneşten hem rüzgârdan yüksek üretim alınacağı öngörülür. Haziran ve Temmuz aylarında rüzgâr potansiyeli yükselerek enerji üretimine daha fazla katkı sağlayacaktır. Bu durum bölgenin hibrit enerji sistemleri için uygunluğunu desteklemektedir.

4.2.3 Hibrit Sistem Modelinin Tasarımı

Farklı enerji kaynaklarını veya teknolojilerini bir arada kullanılan bir sistemdir. Bu tür sistemler, farklı enerji üretim yöntemlerini birleştirerek daha verimli, sürdürülebilir ve güvenilir enerji üretimi sağlamayı amaçlar. Hibrit sistemler, enerjinin sürekli ve kesintisiz bir şekilde sağlanmasını temin etmek için farklı kaynakların güçlü yönlerinden yararlanılır. Hibrit sistemlerin en yaygın kullanım alanlarından biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesidir.

Bu çalışmamda, önerilen hibrit sistem, PV / rüzgâr enerji sistemi, sürdürülebilir enerji üretiminde verimli ve güvenilir bir çözüm sunar. Güneş ve rüzgâr enerjisinin entegrasyonu, enerji üretimini kesintisiz hale getirir ve çevre dostudur. Örnek bir hibrit sistem modeli Şekil 4.12. de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Şebekeye bağlantısız hibrit model tasarımı

Meteorolojik Veriler: 10 yıllık (2015-2024) ortalama rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, sıcaklık ve nem değerleri.

Çizelge 4.5. Muş- Üçevler köyünün rüzgâr hızı (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Aylık Kar Yağışlı Günler Sayısı Ort.	12.0	8.70	5.50	0.10							0.80	5.40	32.5
Aylık Karla Örtülü Gün Sayısı Ort.	21.0	23.4	11.3	0.50							0.90	8.80	65.9
Aylık Ortalama Kar Yüksekliği(cm)	28.8	37.5	14.1	6.8							3.7	14.7	17.6
Aylık Maksimum Kar Yüksekliği(cm)	99	115	54	19							8	90	115
Aylık Maksimum kar kayıt tarihi gün-ay-yıl	28/01/2017	01/02/2017	01/03/2017	01/04/2022							24/11/2017	15/12/2016	01/02/2017
Aylık Yağışlı Gün Sayısı Ortalaması	14.4	10.6	16.1	11.8	15.5	4.8	2.4	1.9	2.1	7.8	7.6	11.5	106.5
Aylık Yağmurlu Günler Sayısı Ortalaması	4.70	3.60	13.2	13.00	16.0	5.70	3.00	2.10	2.40	9.10	8.30	7.50	88.6
Aylık Dolulu Günler Sayısı Ortalaması			0.10	0.30	1.00	0.60				0.10			2.1
Aylık Sisli Günler Sayısı Ortalaması	11.5	8.50	2.00	0.20	0.10					0.20	2.30	7.90	32.7
Aylık Kırğılı Günler Sayısı Ortalaması											0.80	0.20	1.0
Aylık Çiğli Günler Sayısı Ortalaması				0.10						0.60	0.90		1.6
Aylık Orajlı Günler Sayısı Ortalaması	0.20	0.30	1.40	3.30	8.00	4.10	1.80	1.60	1.10	1.90	0.90	0.50	25.1
Aylık Ortalama Rüzgar Hızı(m÷sn)	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.7
Aylık Maksimum Rüzgar Yönü ve Hızı (m÷sn)	SSW 13.9	S 16.1	SSW 18.5	WN W 15.4	S 16.5	SSW 17.6	W 13.4	SW 13.4	SSW 12.3	SW 14.4	SSW 17.0	SW 15.9	SSW 18.5
Aylık Maksimum Rüzgarın Kayıt Edildiği Tarih (Gün-Ay-Yıl)	18/01/2018 21:05	16/02/2021 07:08	29/03/2023 12:49	15/04/2016 21:07	09/05/2021 10:33	02/06/2022 16:41	30/07/2015 12:01	25/08/2016 11:18	06/09/2017 08:28	25/10/2018 07:53	21/11/2017 10:59	23/12/2017 23:57	29/03/2023 12:49
Aylık Kuvvetli Rüzgarlı Gün Sayısı ort.	0.20	0.40	1.80	2.70	1.80	1.40	0.40	0.70	0.80	1.00	0.30	0.70	12.2
Aylık Fırtınalı Günler Sayısı ort.			0.20			0.10							0.3
Aylık N Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	1940	1735	1842	1237	1256	919	804	777	919	1274	1687	1886	16276
Aylık N Yönünde Esme Oranı (%)	26.2 2	25.6 2	24.9 3	17.24	17.0 4	12.7 8	10.8 1	10.4 6	12.7 9	17.1 6	23.6 5	25.8 1	18.7

Çizelgelarda verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Muş- Üçevlerin sıcaklık ortalama değeri (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Maksimum Sıcaklığın -0.1 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ortalaması	16.3	10.4	0.6								0.5	7.5	35.3
Aylık Minimum Sıcaklık (°C)	-28	-24.6	-13	-2.7	2.3	9.0	12	14.2	7.2	0.0	-9.5	-26	-28
Aylık Minimum Sıcaklığın Kayıt Edildiği Tarih (Gün-Ay-Yıl)	28/01/2016	17/02/2023	02/03/2019	01/04/2023	07/05/2015	02/06/2017	01/07/2015	24/08/2020	25/09/2016	20/10/2024	29/11/2024	20/12/2016	28/01/2016
Minimum Sıcaklığın -0.1 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	27.3	23.8	13.5	0.8							6.3	19.3	91.0
Minimum Sıcaklığın -3 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	22.7	17.3	5.9								2.0	11.1	59.0
Minimum Sıcaklığın -5 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	18.0	13	2.1								0.9	7.7	41.7
Minimum Sıcaklığın -10 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	9.2	6.3	0.20									2.4	18.1
Minimum Sıcaklığın -15 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	2.9	3.2										0.9	7.0
Minimum Sıcaklığın -20 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	0.9	0.8										0.3	2.0
Minimum Sıcaklığın 20 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ort.						0.5	7.6	10.8	0.1				19.0
Minimum Sıcaklığın 10 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ortalaması			0.2	2.8	15.9	29.5	31	31	28.4	11.2	0.4		150.4

Çizelgelarda verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Muş - Üçevler Köyünün nem oranı (Meteoroloji, 2024)

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Minimum Sıcaklığın 5 °C ve Üzerinde Olduğu Gün Sayısı Ort.		0.2	3.5	19.4	30.2	30.0	31.0	31.0	30.0	27.3	7.10	0.50	210.2
Aylık Ortalama Toprak Üstü Min. Sıcaklığı (°C)	-4.1	-2.7	0.7	4.0	7.1	11.2	14.7	14.9	11.1	6.4	0.9	-1.5	5.2
Aylık Maksimum Toprak Üstü Min. Sıcaklığı (°C)	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	8.5	13.5	14.1	9.8	14.7	5.0	5.0	14.7
Aylık Minimum Toprak Üstü Min. Sıcaklığı (°C)	-24.3	-24.4	-8.2	-7.2	0.5	3.0	0.0	0.0	2.6	-0.6	-10.2	-19.4	-24.4
Toprak Üstü Min. Sıcaklığın -0.1 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	26.3	22.00	12.70	2.60						0.40	11.5	19.60	95.1
Toprak Üstü Min. Sıcaklığın -3 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	15.9	9.00	4.40	0.60							5.00	10.8	45.7
Toprak Üstü Min. Sıcaklığın -5 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	11.0	5.80	1.50	0.20							2.00	4.90	25.4
Toprak Üstü Min. Sıcaklığın -10 °C ve Altında Olduğu Gün Sayısı Ort.	4.40	2.70									0.10	1.20	8.4
Aylık Ortalama Su Buharı Basıncı (hPa)	3.9	4.1	5.9	7.2	9.2	9.7	9.3	8.7	7.8	7.9	6.5	5.2	7.2
Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	81.9	79.2	73.5	56.8	55.7	40.3	29.8	27.1	32.7	50.1	69.0	82.1	56.5
Aylık Maksimum Nispi Nem ort. (%)	96.3	95.3	96.6	94.1	94.7	88.6	77.8	75.1	82.0	93.0	97.1	97.4	90.7
Aylık Minimum Nispi Nem Ortalaması (%)	38.8	36.4	24.8	14.7	13.1	9.4	7.6	7.6	8.6	13.2	21.1	32.2	19.0
Aylık Ortalama Bulutluluk Miktarı (8 Okta)	3.8	3.7	3.9	3.4	3.6	3.0	2.7	2.7	2.8	3.1	3.4	3.6	3.3

Çizelgelarda verilen veriler T.C. ÇEVRE,ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü UZUN YILLAR TÜM PARAMETRELER BÜLTENİ 2015 – 2024 17204 - MUŞ Enlem: 38.7509 Boylam: 41.5023 Yükseklik: 1322.0 m üzerinden elde edilmiştir.

Teknik Veriler: Kullanılacak rüzgâr türbini, fotovoltaik panel, batarya, invertör ve jeneratör gibi bileşenlerin teknik özellikleri.

Ekonomik Veriler: Yatırım, bakım, yenileme ve birim enerji maliyetleri.

Yazılım Altyapısı: Homer Pro (x64) yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

4.3 Kullanılan Yöntem

Bu tez kapsamında hibrit enerji sistemi tasarımı ve optimizasyonu yapılmıştır. Kullanılan yöntem aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

Veri Toplama: Muş Üçevler bölgesine ait meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve NASA veri tabanından elde edilmiştir. Muş Üçevler köyüne ait saatlik kWh verileri VEDAS tan temin edilmiştir (Vedas, 2024).

Veri Analizi: Rüzgâr hızlarının istatistiksel analizi yapılmış, güneş radyasyon değerleri aylık ortalama temelinde değerlendirilmiştir.

Sistem Tasarımı: Homer Pro yazılımında üç farklı senaryo modellenmiştir.

S1: Yalnız rüzgâr türbin sistemi

S2: Yalnız güneş PV sistemi

S3: Rüzgâr + Güneş + Batarya Hibrit Sistemi

Optimizasyon ve Simülasyon: HOMER her senaryo için enerji üretimi, kapasite faktörü, maliyet ve çevresel etkileri hesaplamıştır. Simülasyonlar 1 yıllık periyot üzerinden saatlik veri çözünürlüğüyle yürütülmüştür.

Sonuçların Değerlendirilmesi: Senaryolar enerji üretimi, verim, ekonomik ve çevresel açılardan karşılaştırmalar yapılarak tasarlanmıştır. En uygun sistem, ekonomik uygulanabilirlik ve yenilenebilir katkı oranı dikkate alınarak belirlenmiştir.

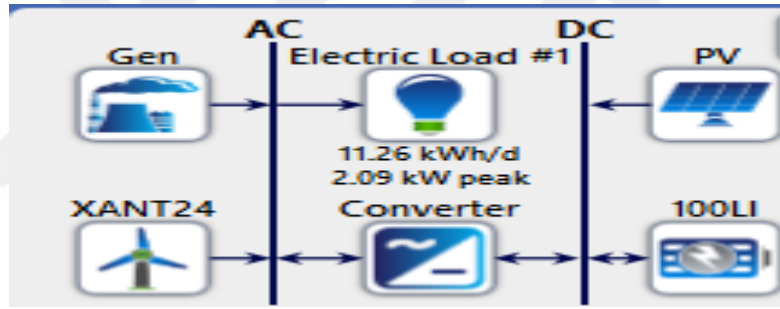
5. ANALİZ

HOMER ana sayfasından çalışılan bölge seçilmiştir. Bu bölge Muş İli Üçevler bölgesi için yapılmıştır. Şekil 4.1.' deki gibi haritadan yer seçimi yapılarak meteorolojik verilerin alınmasına zemin hazırlanmıştır.

Şebekeye bağlantısı olmayan hibrit sistem için HOMER PRO programı kullanılmıştır.

5.1 Şebekeye Bağlantısı Olmayan Sistemlerin Simülasyonları

Şekil 5.1. de HOMER yazılımı kullanılıp yapılan simülasyonda kullanılan tüm bileşenlerin yer aldığı hibrit sistemin bir görüntüsünü ifade etmektedir. Şekil 5.1.' de bileşenlerin kısa isimleri; Güneş Paneli için (PV), rüzgâr türbini için (XANT24), generatör için (Gen), akü için (100 LI), dönüştürücü için (Converter), (Electric Load) enerji sistemi için talep edilen elektrik miktarını ifade eder.

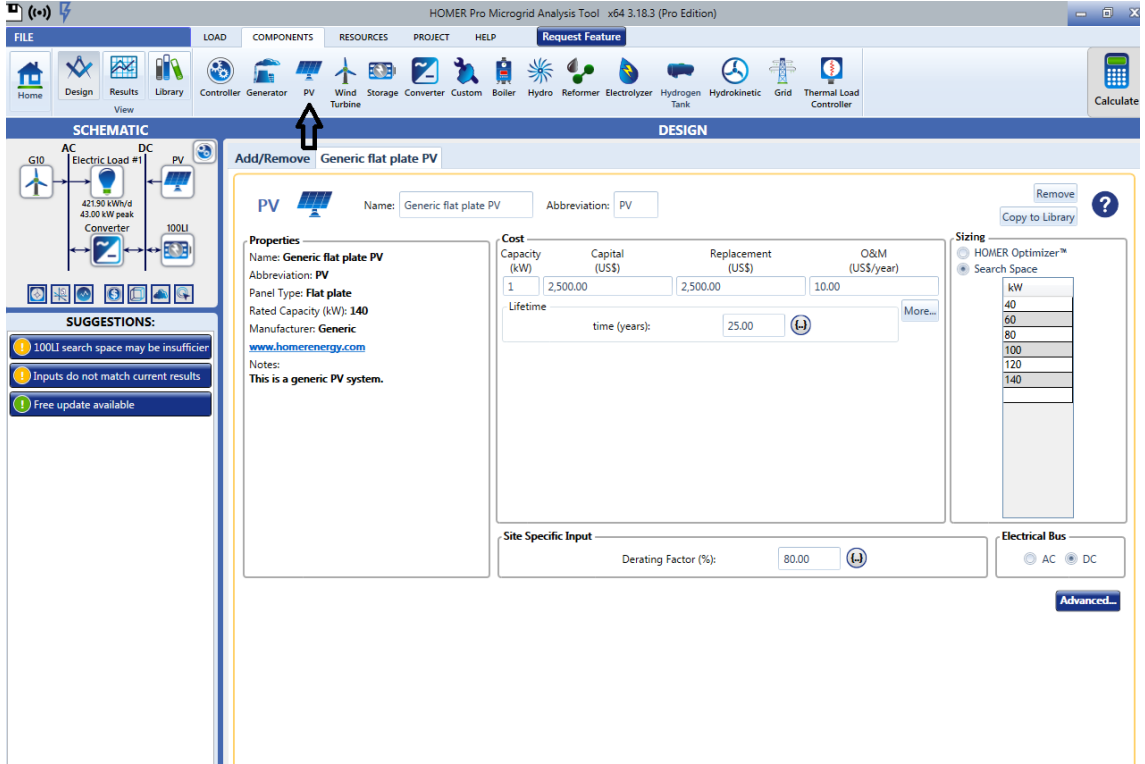


Şekil 5.1. Şebekeye bağlantısı olmayan hibrit sistem

Bu sistemde güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, enerji depolama sistemleri (bataryalar) ve gerektiğinde jeneratörler gibi çeşitli enerji bileşenlerini birleştirerek, enerji üretim kapasitesini optimize etmeye çalışır. Kullanıcı yük profili ve enerji kaynakları gibi verileri girerek sistemin en verimli şekilde çalışmasını sağlayan bir tasarım yapabilir.

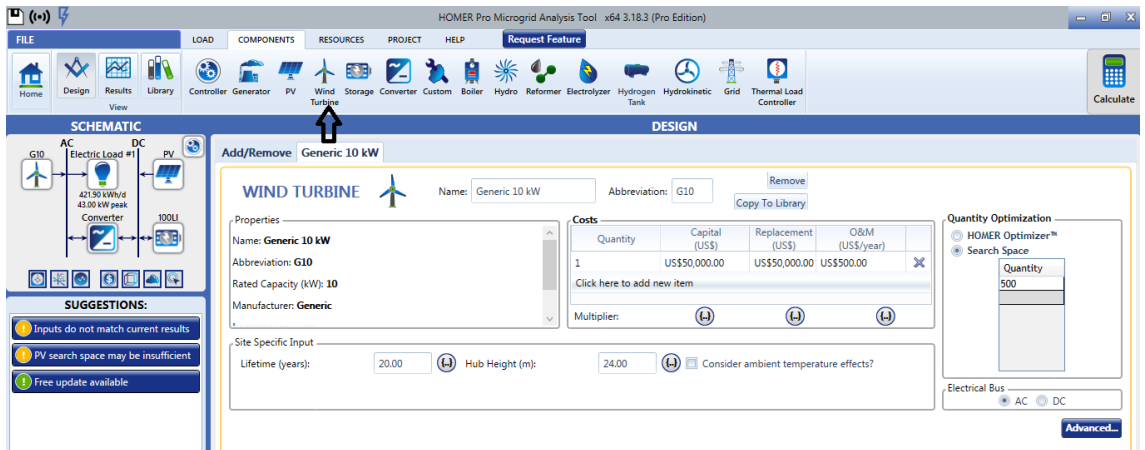
5.1.1 Homer Pro Sisteminde Tasarlanan Hibrit Simülasyon

Tasarlanan simülasyonda Generic flat plate PV güneş panel cinsi kullanılmıştır. Genel düz plakalı fotovoltaik panel cinsi kullanılmıştır. Panel tipi düz plakadır. Nominal kapasitesi 140 kW tır. Homer Pro programında tasarlanan simülasyonda tasarlanan PV Şekil 5.2. de yer almaktadır.



Şekil 5.2. PV seçimi

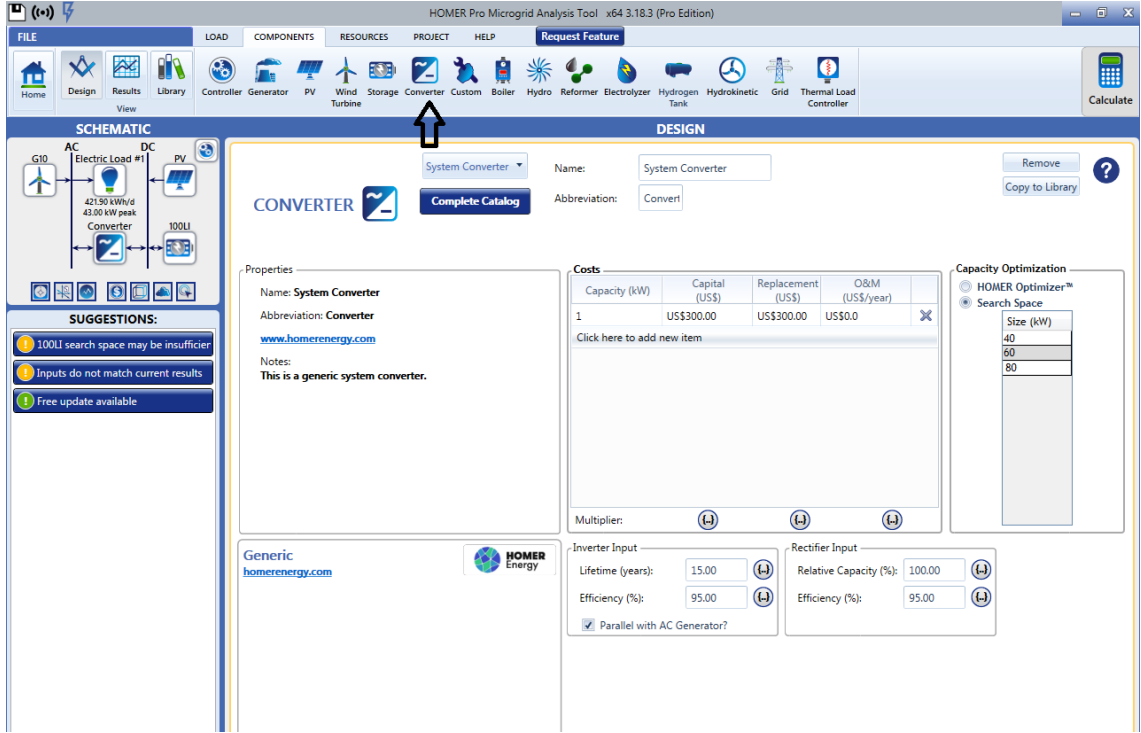
Kullanılan Wind Türbine adı generic 10 kW, Türbinin anma gücü 10 kW, Türbinin göbek yüksekliği 30-50, türbin ömrü 20 yıl, İlk yatırım maliyeti 50.000 \$ olarak belirlenmiştir. Şekil 5.3. de wind türbine eklenme işlemi görülmektedir.



Şekil 5.3. Wind türbin

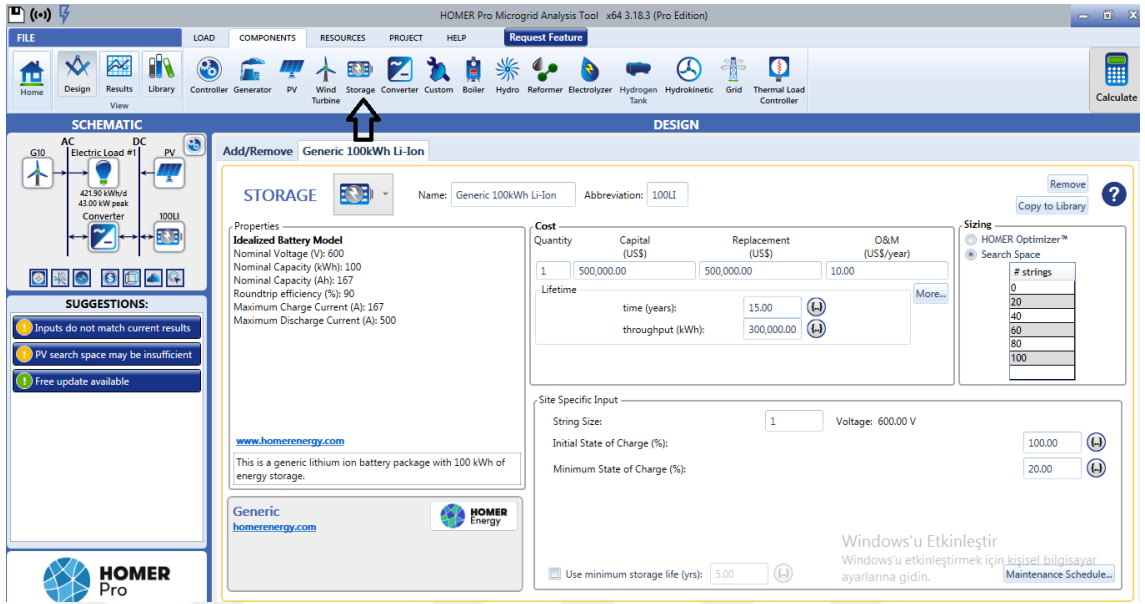
Converter hibrit sistemimizin AC/ DC enerji dönüşümü bu kısımdan ayarlanır. DC / AC (inverter) güneş batarya gibi DC kaynaklardan AC yüklere enerji verir. AC /

DC şebeke veya rüzgâr gibi AC kaynaklardan bataryayı şarj eder. Converter'in anma gücü 40-60-80 kW olarak seçildi. İlk yatırım maliyeti 30.000\$, ömür sonunda yenilenme maliyeti 30.000\$, ömrü 25 yıl, verimi % 95 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4' te converter eklenme işlemi yer almaktadır.



Şekil 5.4. Converter

Seçilen storage (batarya) Generic 100 kWh Li-ion Lityum –İyon 100 kWh kapasiteli genel batarya model tipidir. Ömrü 15 yıl, simülasyonun başlangıcındaki doluluk % 100 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.5. 'te storage eklenme işlemi yer almaktadır.



Şekil 5.5. Storage

Seçilen bölge Muş ili Üçevler köyünde bir yıl içinde tüketilen enerji saatlik veri olarak VEDAS tan alınmıştır. Electric Load ta bir yıl içinde tüketilen 24 saatlik enerji (8760 satırlık veri) Import and Edit tıklanarak Çizelge 5.1 den Csv verisi yüklenir. Yükleme sonrasında veri içeri alınır. İçeri alınan verilerden grafik ve Çizelgeler oluşur. Model yılı 2024 olarak seçilmiştir. Şekil 5.6. da yapılan işlem yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Muş - Üçevler 24 saatlik harcanan enerji değerleri (Vedas, 2024)

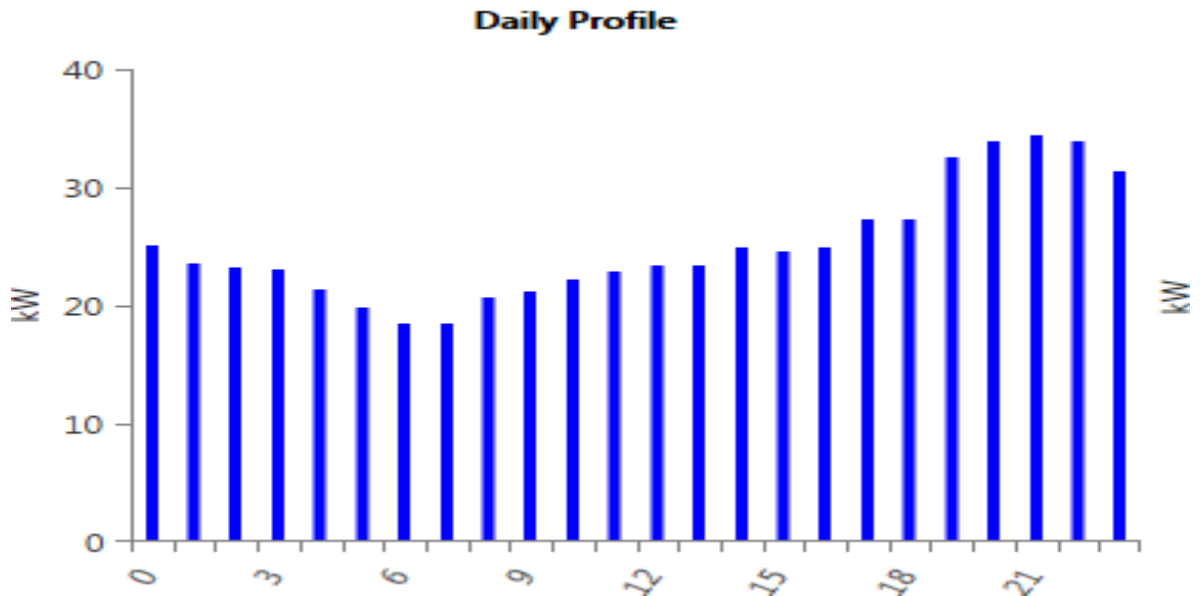
Saat	Tüketilen Enerji (kWh)
00:00	27
01:00	26
02:00	26
03:00	26
04:00	26
05:00	26
06:00	26
07:00	27
08:00	27
09:00	27
10:00	27
11:00	27
12:00	27
13:00	27
14:00	27
15:00	27
16:00	29
17:00	32
18:00	32
19:00	37
20:00	37
21:00	36
22:00	30
23:00	29

Çizelgede bulunan veriler Vangölü Elektirk Dağıtım Anonim Şirketi (VEDAS) tarafından , 2024 yılı Muş ili Üçevler bölgesinden elde edilmiştir.



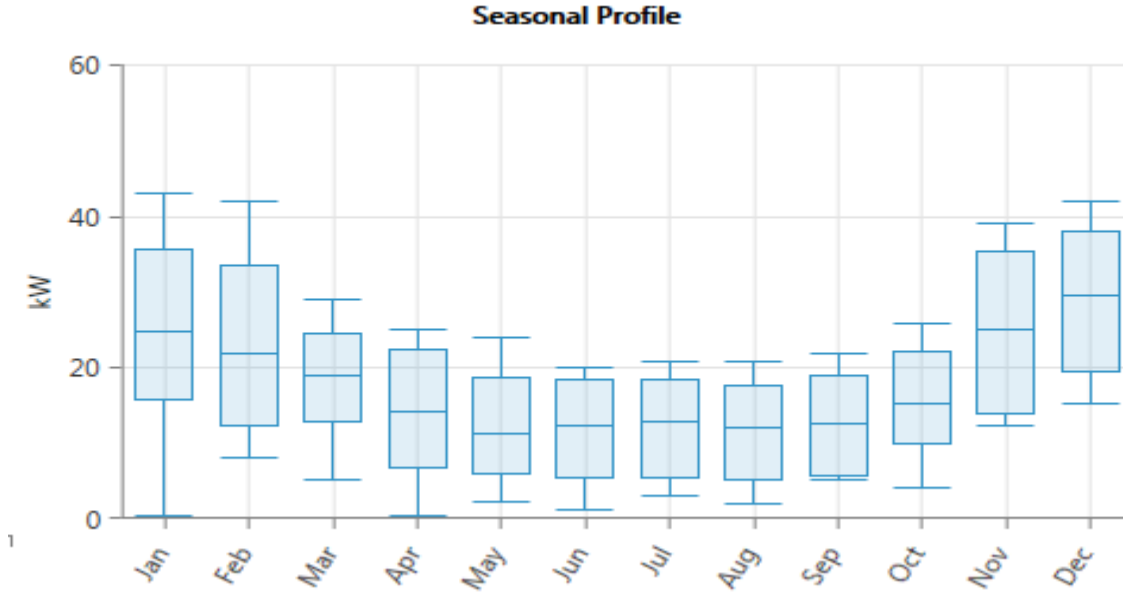
Şekil 5.6. Elektrik load

Çizelge 5.2. Muş- Üçevler günlük profil

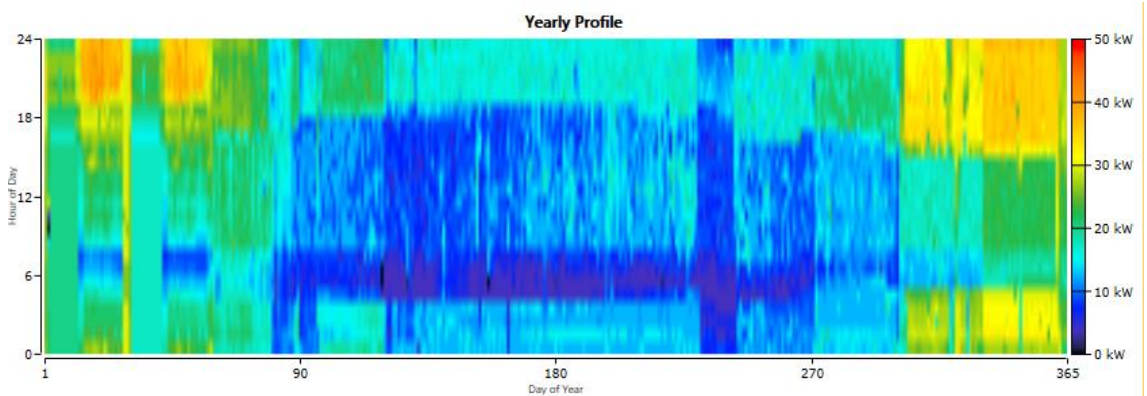


Çizelge 5.2 de X eksenini 0 - 23 saati, Y eksenini elektrik gücü kW ifade eder. Yük gün boyunca nispeten dengelidir. Akşam saatlerine doğru yükte artış olduğunu ifade etmektedir. Bu durum yerleşim alanlarında akşam saatlerinde aydınlatma ve evde kullanılan cihazların kullanılmasına karşılık gelmektedir.

Çizelge 5.3. Muş Üçevler mevsimsel yük profili



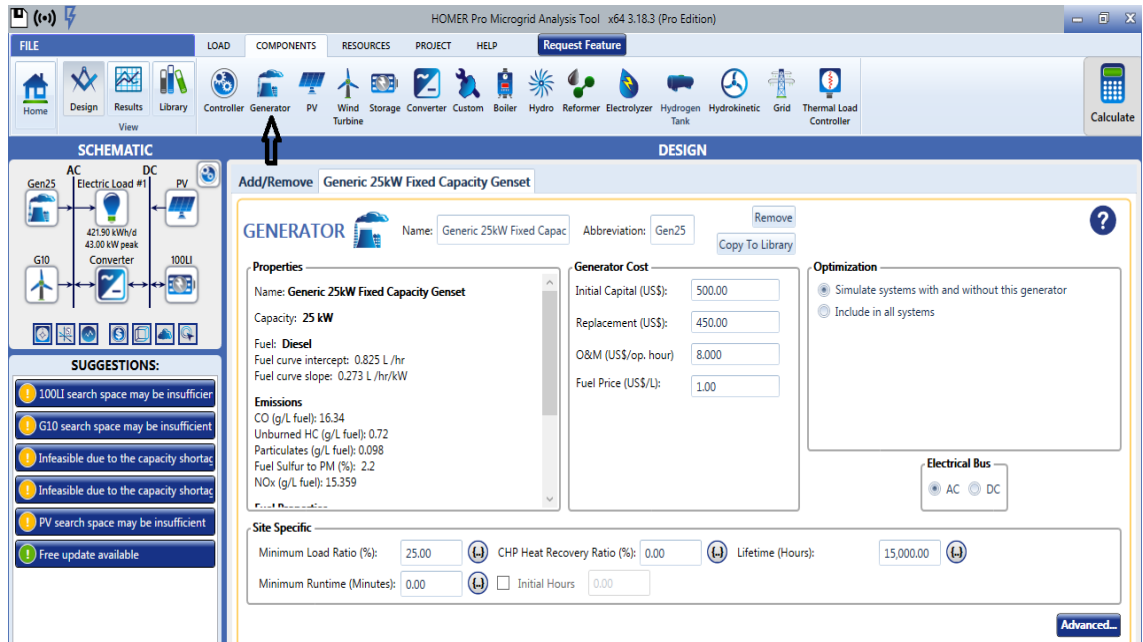
Çizelge 5.3 te aylara göre elektrik yükündeki değişimi göstermektedir. Ocak Şubat, Kasım, Aralık gibi kış aylarında yükün arttığını, yaz aylarında ise nispeten azaldığını ifade etmektedir. Kışın aydınlatma süresinin artması ve elektrikli ısıtıcı ve benzeri cihazların kullanımının artmasıyla açıklanabilir.



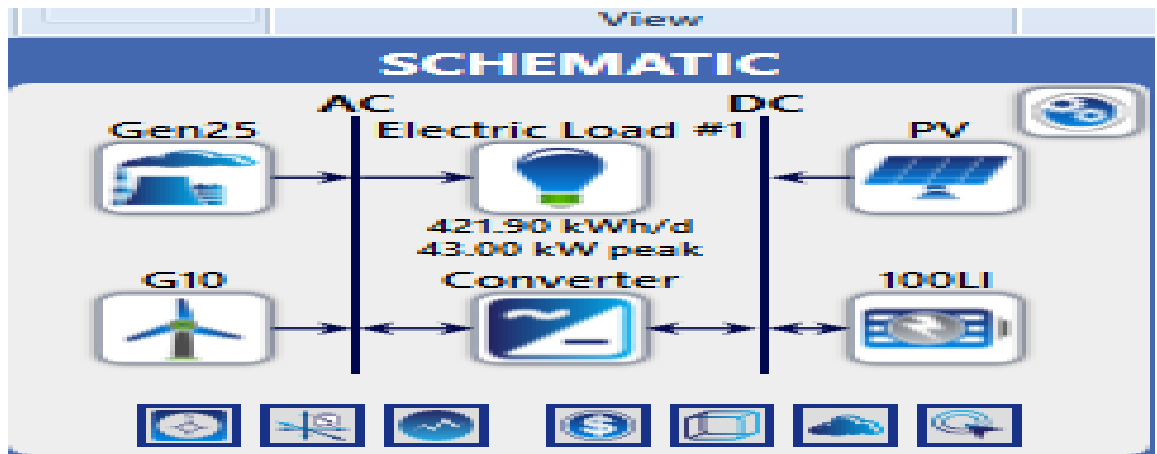
Şekil 5.7. Muş Üçevler yıllık yük haritası

Şekil 5.7. de yılın 365 günü boyunca saatlik yük değişimini göstermektedir. Mavi tonlu renkler düşük yükü, Yeşil – Sarı tonlar orta yük, Turuncu tonlar yüksek yükü ifade etmektedir. Görselde yıl boyunca yükün hangi dönemlerde yoğunlaştığını net biçimde ortaya koyar ve sistemde tasarımında kritik önemli sahiptir.

Şekil 5.8. de 25 kW sabit kapasiteli dizel jeneratör, sistemde ana enerji üreticisi olarak değil, fotovoltaik ve batarya sistemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda devreye giren yardımcı ve dengeleyici bir kaynak olarak görev yapar.

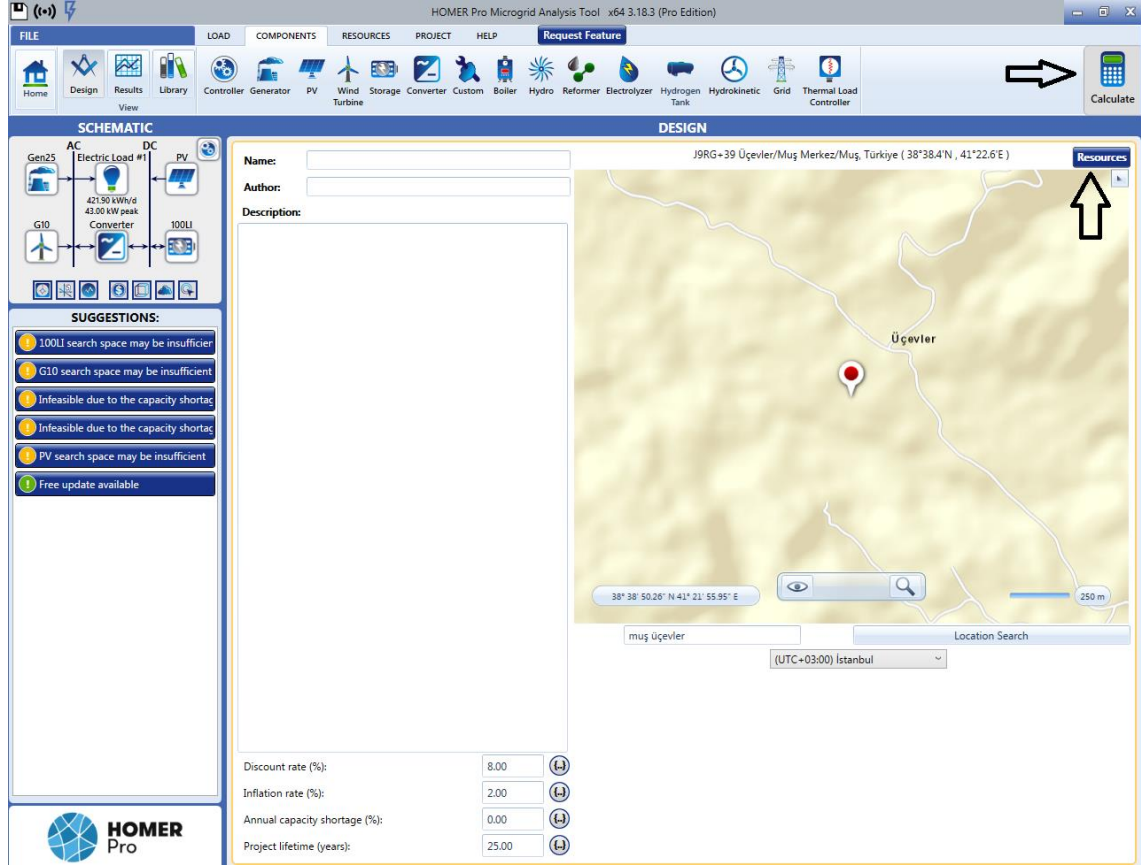


Şekil 5.8. Generic



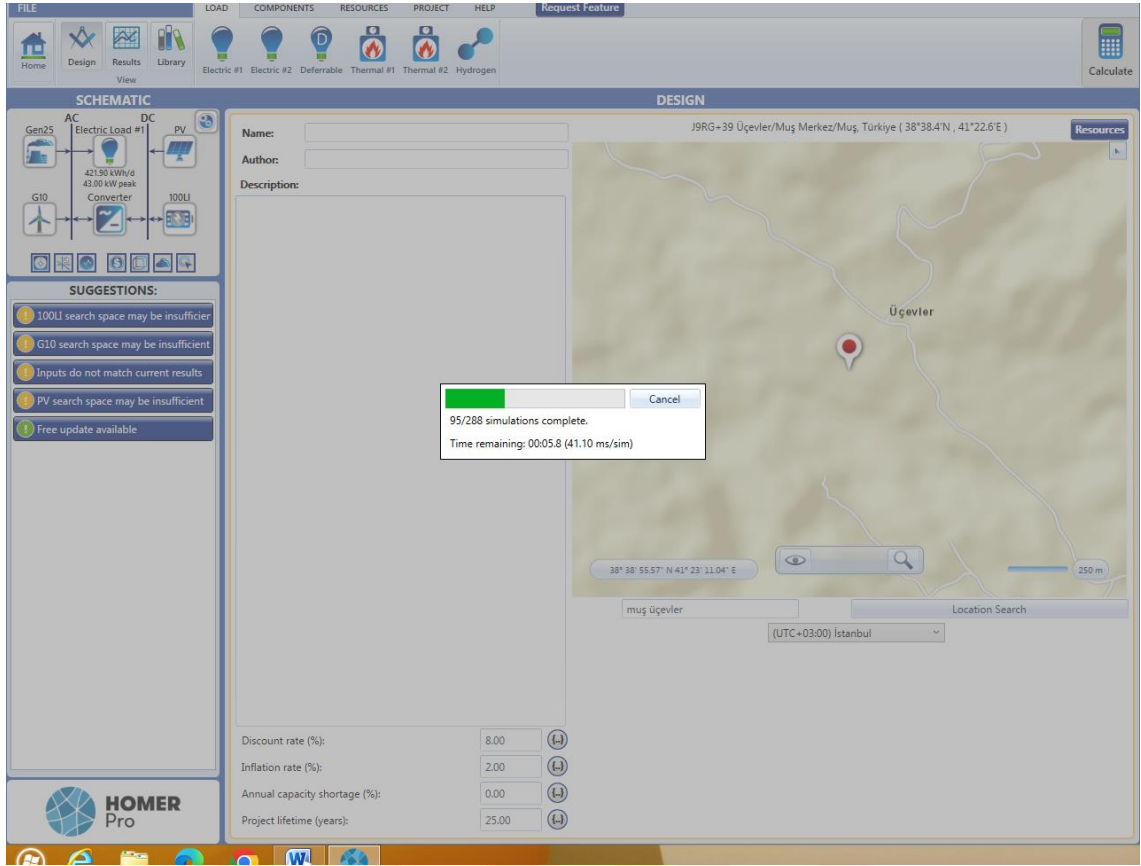
Şekil 5.9. Tasarlanan Simülasyon

Tasarlanan simülasyonun (şekil 5.9.) çalışması için NASA POWER adlı veri tabanından güneş ve rüzgar kaynakları HOMER Pro yazılımının Resources bölümünden çevrimiçi olarak temin edilmiştir. Şekil 5.10. da yapılan işlem yer almaktadır.



Şekil 5.10. Resources ve calculate

NASA dan alınan veriler sonrasında Calculate denilerek program başlatılır. Programın başladığı Şekil 5.11. ekranının gelmesiyle anlaşılmaktadır.



Şekil 5.11. Programı çalıştırma ekranı

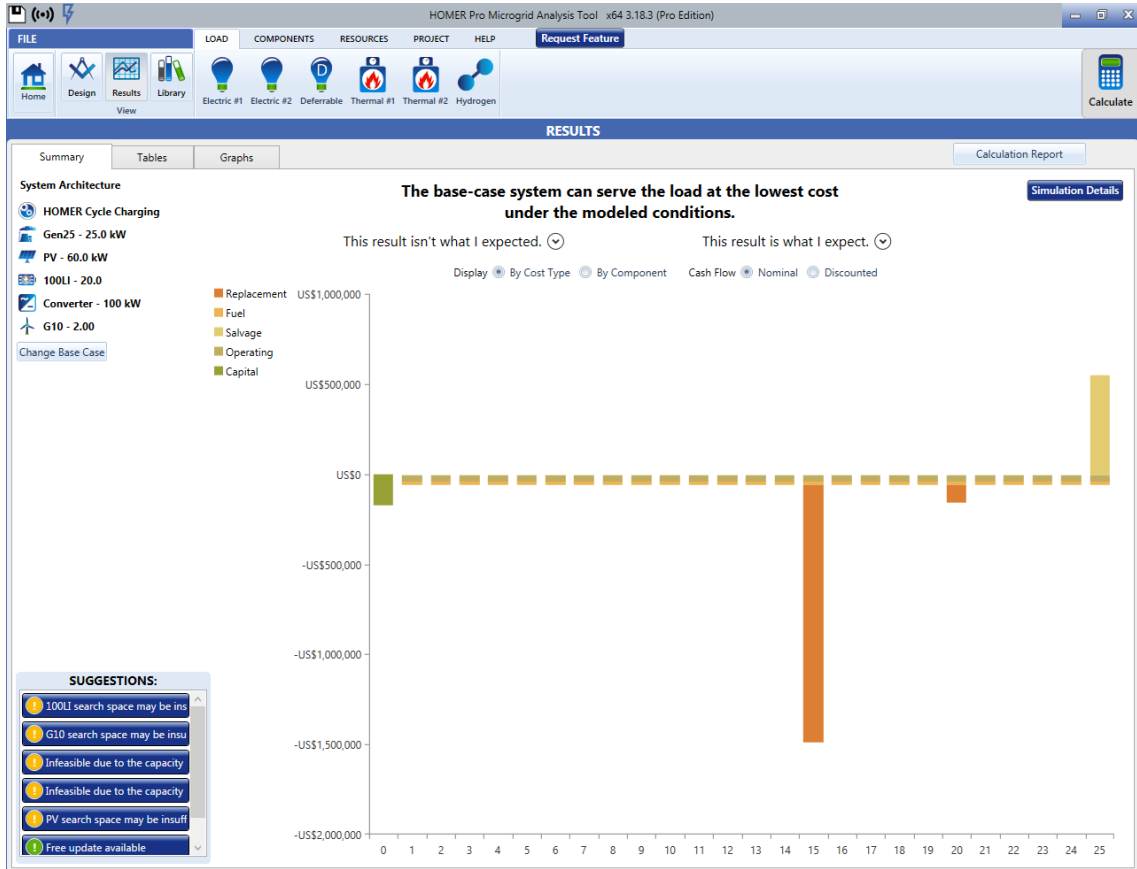
5.1.1.1 Simülasyonun Analizi

Çalışmanın olduğu bölgede Şekil 5.11. de Homer Pro yazılımının yaptığı optimizasyon sonucunda en düşük maliyetle elektrik yükünü karşılayabilen hibrit enerji sistemini göstermektedir. Özetle seçilen optimum sistem şu bileşenlerden oluşmaktadır.

- PV (Fotovoltaik) : 60 kW güce sahip fotovoltaik sistem özellikle yaz aylarında yükün büyük bir kısmını karşılamaktadır.
- Rüzgâr Türbini (G10) : 2 Adet (10 kW) toplamda 2 adet rüzgar türbini bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri özellikle gece saatlerinde ve kış aylarında sisteme katkı sağlamaktadır.
- Batarya: 100LI – 20 (20 adet lityum- iyon) enerji sürekliliği ve yük dengelemek amacıyla kullanılır. Batarya sistemi, yenilenebilir enerji üretimi ile tüketim arasındaki zaman uyumunu gidermektedir.
- Converter (İnverter) : 100 kW bu yapı yenilenebilir kaynak ağırlıklı hibrit bir sistem olduğunu göstermektedir. AC- DC dönüşümü sağlar. Converter

fotovoltaik sistem ve batarya tarafından üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürmesini sağlamaktadır.

- Dizel Jeneratör Gen 25 – 35,0 kW yüksek talep anlarında ve yenilenebilir kaynakların yetersiz olduğu durumlarda devreye girer. Sistemin enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla yedek güç kaynağı olarak sisteme dahil edilmiştir. Replacement: yenileme maliyeti, Fuel: yakıt maliyeti, Capital: İlk yatırım maliyeti , Operating: İşletme bakım



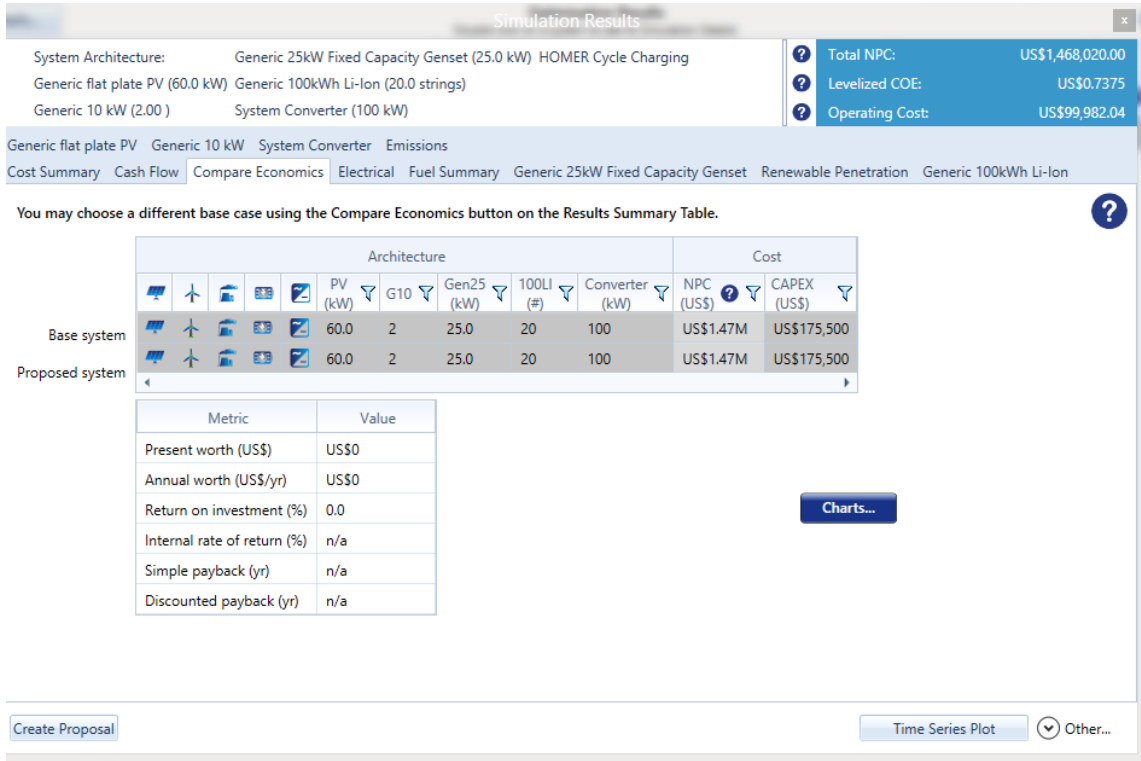
Şekil 5.12. Genel özet 1

Cost Flow (Nakit Akışı) Analizi: Şekil 5.12. de Hibrit enerji sisteminin proje ömrü boyunca yıllara göre oluşan maliyet dağılımını göstermektedir. Analiz sonucuna göre, sistemin ilk yılında fotovoltaik paneller, rüzgâr türbini, batarya, generatör ve güç dönüştürücü bileşenlerin kurulumundan kaynaklanan yüksek bir başlangıç yatırım maliyeti oluşmaktadır. İzleyen yıllarda sistemin işletme ve bakım maliyetleri düşük seviyede seyretmektedir. Bu sistem tanımlanan koşullar altında yükü en düşük maliyetle karşılayabilen bir sistemdir. En büyük maliyet yakıt (turuncu renk) dizel jeneratörün

maliyeti çok yüksek, bu sistemin hala kısmen fosil yakıtla bağımlı olduğunu gösterir. Dizel jeneratör sistemin enerji sürekliliğini sağlamakla birlikte toplam maliyet üzerinde baskı oluşturmaktadır. Capital: (Yeşil renk) PV ve rüzgar türbini için başlangıç maliyeti var. Ancak bu maliyet tek seferliktir. Yenilenebilir enerji bileşenlerinin ilk yatırım maliyeti yüksek görünse de uzun vadede yakıt maliyetini düşürmektedir. Operating: yenilenebilir sistemlerin avantajını gösterir. Replacement : (Kırmızı) Batarya ve jeneratörün ömrü nedeniyle ortaya çıkar.

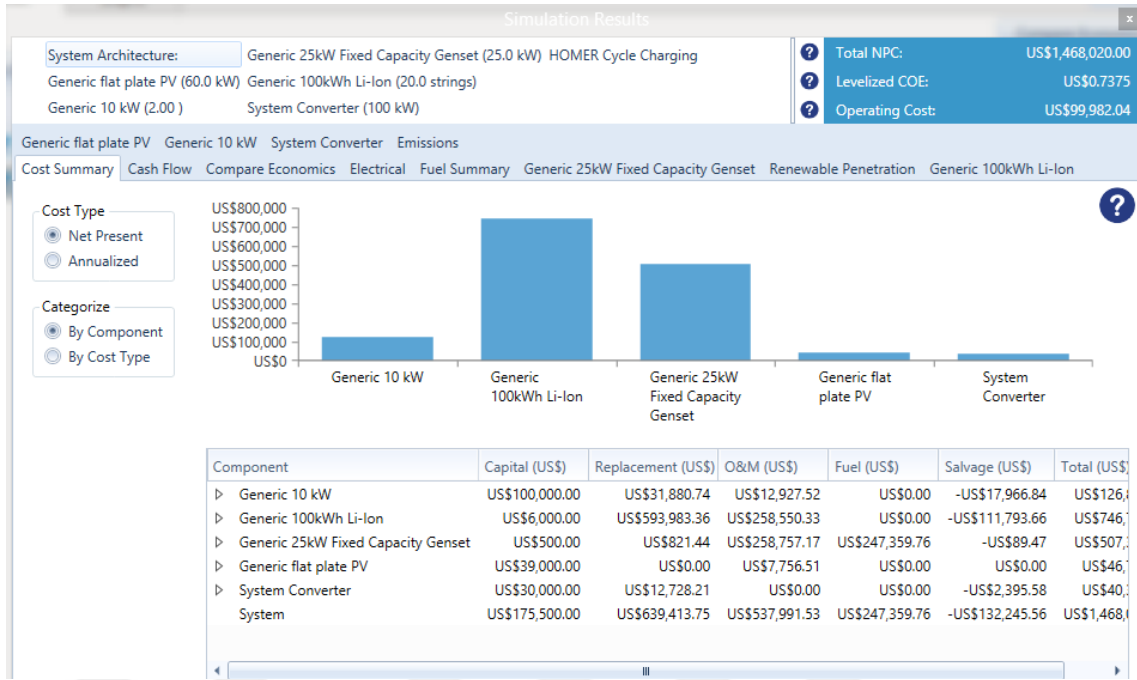
Homer Pro sonuçlarına göre en düşük maliyetli hibrit sistem güneş-rüzgâr-dizel-batarya bileşenlerinden oluşmaktadır. Toplam maliyetin büyük bir kısmı dizel jeneratör yakıt tüketiminden kaynaklanmakta olup, yenilenebilir enerji payının artması maliyetleri ve emisyonları azaltacaktır.

Compare Economics: Şekil 5.13.te ekonomik performansı ifade etmektedir. PV: 60 kW, Rüzgâr Türbini (G10) : 2 Adet, Dizel Jeneratör (Gen 25):25 Kw, Batarya (100 LI): 20 adet Konvertör: 100 kW yükü kesintisiz karşılayan ve en düşük maliyetli yapı olarak seçilmiştir.Net maliyeti 1.47 USD dir. Bu değer sistemin proje ömrü boyunca oluşacak tüm maliyetlerinin bugünkü değerini ifade eder. İlk yatırım maliyeti (CAPEX) 175.500 USD. Yenilenebilir enerji bileşenleri nedeniyle ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla beraber, uzun vadede yakıt maliyetlerinin azalması sayesinde sistem ekonomik hale gelmektedir. Yıllık işletme giderleri, dizel jeneratör yakıt tüketimine bağlıdır. Homer Pro ekonomik analiz sonuçlarına göre Muş ili Üçevler köyü için tasarlanan hibrit enerji sisteminin net bugünkü maliyeti yaklaşık 1.47 milyon USD olarak hesaplanmıştır. İlk yatırım maliyeti 175.500 USD olup, sistemin ekonomik performansı ağırlıklı olarak dizel jeneratörün yakıt maliyetlerine bağlıdır.



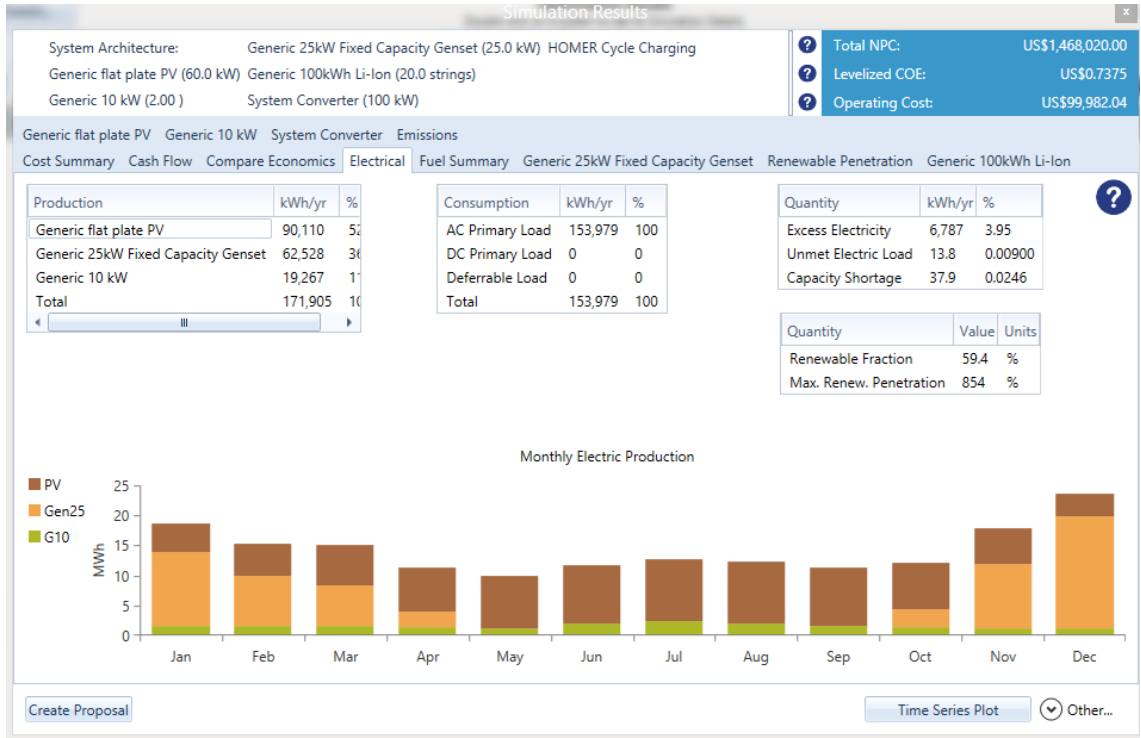
Şekil 5.13. Genel özet 2

Homer Pro simülasyonunda Şekil 5.14 te sonuçlarına göre, Muş ili Üçevler köyü için tasarlanan hibrit enerji sisteminin toplam net bugünkü maliyeti 1.468.020 USD olarak hesaplanmıştır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti 0.7374 USD / kWh olup, yıllık işletme maliyeti yaklaşık 99,982 USD dir. Toplam maliyet içerisinde en büyük pay batarya depolama sistemine ait olup, bunu dizel jeneratör yakıt maliyeti izlemektedir. Fotovoltaik ve rüzgâr enerji sistemleri ise yakıt maliyeti içermemeleri nedeniyle uzun vadede sistemin ekonomik sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.



Şekil 5.14. Genel özet 3

Şekil 5.15’ te yıllık elektrik üretimini, kaynaklara göre dağılımını, yükün ne kadarının karşılandığını, yenilenebilir enerji payını göstermektedir. Elektrik üretiminin büyük bölümü fotovoltaik sistemlerden sağlanmakta, dizel jeneratör ise destekleyici kaynak olarak çalışmaktadır. Yıllık enerji ihtiyacının yaklaşık % 60’ı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Kış aylarında jeneratör katkısı artıyor, yaz aylarında PV üretimi baskın, Rüzgar yıl geneline yayılmış destekleyici kaynaktır. Hibrit yapı sayesinde mevsimsek üretim dalgalanmaları dengelenmiştir. Simülasyon sonucuna göre tasarlanan hibrit sistem yıllık 171.905 kWh elektrik üretmektedir. Bu enerjinin 90.110 kWh ‘ı fotovoltaik sistemlerden, 19.267 kWh ‘ı rüzgâr türbinlerinden ve 62.528 kWh ‘ı dizel jeneratörden sağlamaktadır. Yıllık enerji tüketimi 153.979 kWh olup, sistem enerji ihtiyacını büyük ölçüde karşılayabilmektedir. Yenilenebilir enerji oranı % 59,4 olarak hesaplanmış ve maksimum yenilenebilir penetrasyon % 85,4 e ulaşmıştır.



Şekil 5.15. Genel özet 4

Şekil 5.16' te sistem yenilenebilir ağırlıklı olduğu için jeneratör destekleyici olarak çalışmaktadır. Toplam yakıt tüketimi: 19.134 litre / yıl, günlük ortalama: 52,4 L/ gün, Saatlik ortalama 2,18 L/ saat . Jeneratör yalnızca yenilenebilir kaynakların yetersiz kaldığı zamanlarda devreye girmekte ve yıllık yakıt tüketimim sınırlı seviyede kalmaktadır.

Ocak- Mart: Yakıt tüketimi yüksektir. Kış koşulları güneşlenme azdır.

Nisan – Eylül: jeneratör nerdeyse hiç çalışmıyor. PV ve rüzgâr yükü karşılıyor.

Ekim- Aralık: Tüketimler tekrar artış eğilimindedir. Mevsimsel enerji dengesini gösterir.

Fuel Consumption

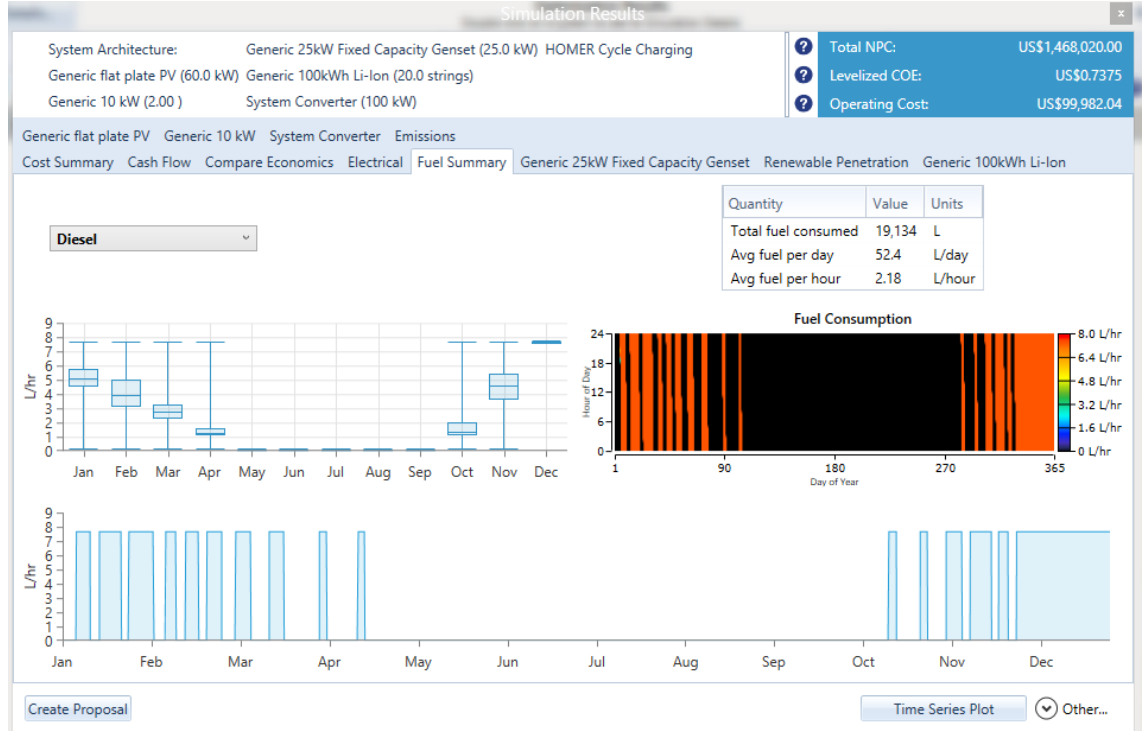
Siyah alanlar: Jeneratörün kapalı olduğunu,

Sarı / turuncu çizgiler: jeneratör çalışıyor,

Yoğunluk: yılın başı ve sonu. Jeneratör yıl boyunca sürekli çalışmamakta, yalnızca ihtiyaç anlarında devreye girmektedir.

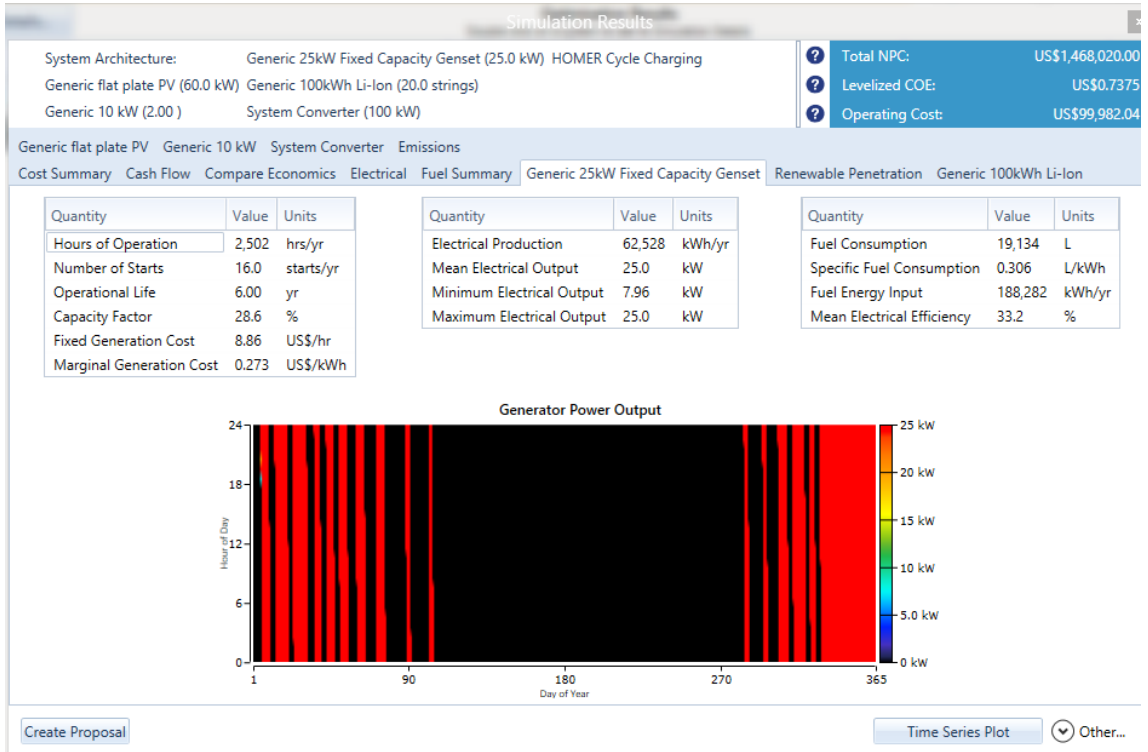
Yenilenebilir kaynaklar yükün büyük kısmını karşılamaktadır. Jeneratör sürekli değil, akıllı kontrolle çalışıyor. Yakıt tüketimi makul seviyede. Sistem ekonomik ve çevresel açıdan avantajlı. Simülasyon sonuçları, jeneratörün özellikle kış aylarında devreye girdiğini, yaz aylarında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının yükü büyük ölçüde

karşıldığını göstermektedir. Bu durum hibrit sistemin fosil yakıt bağımlılığını azalttığını ortaya koymaktadır.



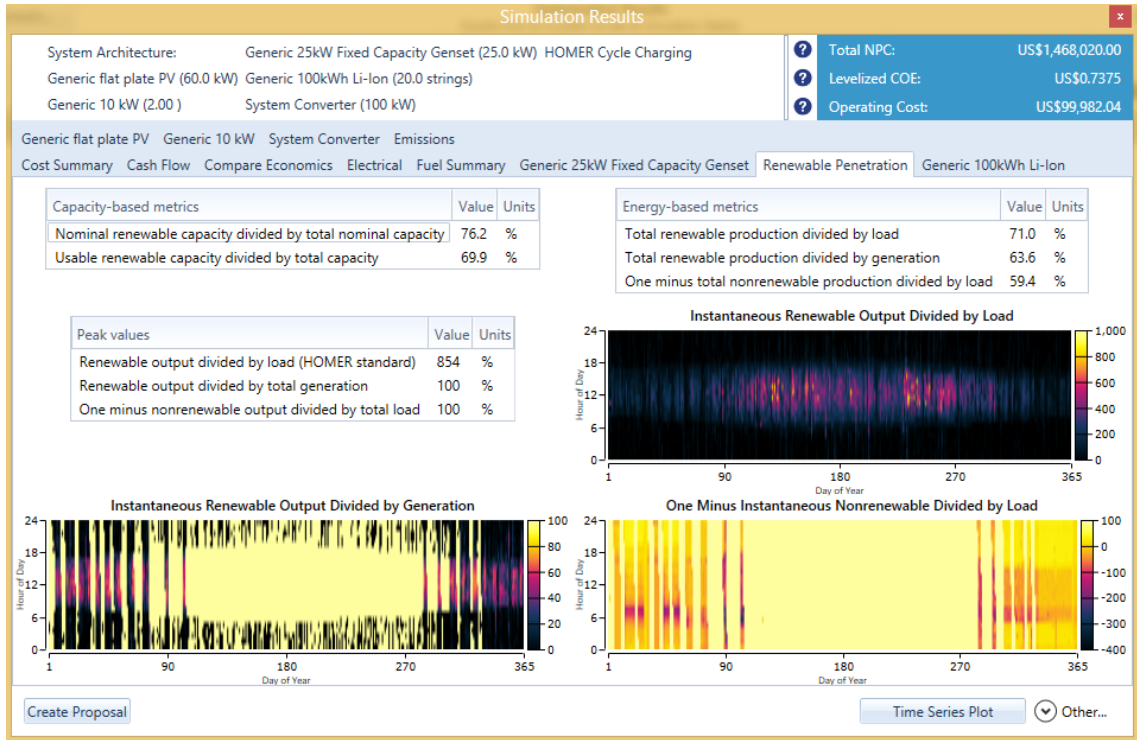
Şekil 5.16. Genel özet 5

Şekil 5.17' de grafikten kırmızı dikey çizgiler jeneratörün çalıştığı zamanları ifade etmektedir. Yılın büyük bir bölümünde jeneratör kapalıdır. Özellikle kış aylarında, güneşin yetersiz olduğu dönemlerde, batarya boşaldığında devreye girer. Bu grafik, sistemin yenilenebilir ağırlıklı olduğunu gösteriyor. Homer Pro simülasyon sonuçlarına göre 25 kW dizel jeneratör sistemde yedek enerji kaynağı olarak çalışmaktadır. Jeneratör yılda 2.502 saat çalışarak 62.528 kWh elektrik üretmiş ve toplam enerji ihtiyacının kritik dönemlerde karşılanmasını sağlamıştır. Ancak yıllık 19.134 litre yakıt tüketimi ve yüksek işletme maliyetleri, sistem maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle batarya kapasitesinin veya PV gücünün artması durumunda jeneratör çalışma süresinin ve toplam sistem maliyetinin azalabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 5.17. Genel özet sonuçları

Şekil 5.18’ de yenilenebilir ağırlık düzeyini gösterir. Sistemin kurulu gücünün % 76’ sı yenilenebilirdir. PV gücü sistemde baskındır. Kurulu güç açısından sistem yenilenebilir ağırlıklıdır. Tüketilen enerjinin % 71 ‘i yenilenebilirden karşılıyor. Bu da gösteriyor ki köy yerleşim için iyi bir yenilenebilir orandır. Jeneratör sadece destek amaçlı kullanılmıştır. Üretilen toplam elektriğin % 63,6 ‘ sı yenilenebilirdir. Geri kalan yaklaşık % 36,4’ ü jeneratördür. Jeneratör hala sistemde önemli ama baskın değildir. Renewable: siyah boşluklar jeneratör devrede renkli alanlar yenilenebilir baskın olduğunu gösterir. Nonrenewable: Sarı alanlar yenilenebilir yükü karşılıyor. Mor koyu alanlar ise jeneratör katkısı artırıyor. Kış aylarında jeneratör daha sık devrededir. Sistemde tüketilen enerjinin % 71’i yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır. Kurulu güç açısından yenilenebilir enerji oranı % 76,2 olup, sistem yenilenebilir ağırlıklı olarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak jeneratör, sistemde yedek ve destekleyici bir kaynak olarak çalışmaktadır.



Şekil 5.18. Genel özet sonucu

Şekil 5.19' da batarya sayısı 20 adet her batarya 100kWh tır. Toplam nominal kapasite 2.000kW h, Kullanılabilir kapasite 1.600kWh'tır. % 80 ni kullanılabilir. Li-ion için normal ve güvenlidir. Yaz aylarında batarya çoğunlukla dolu % 70, % 100. Kış aylarında daha sık boşalma ve jeneratör devreye giriyor. Batarya analiz sonuçlarına göre sistemde toplam 2.000kWh nominal ve 1.600kWh kullanılabilir kapasiteli lityum-iyon batarya grubu bulunmaktadır. Sistem yenilenebilir üretimin olmadığı durumlarda yaklaşık 91 saat otonomi sağlayabilmektedir. Bataryanın yıllık enerji verimi yaklaşık % 90 olup, 15 yıllık ömür beklentisi sistem güvenilirliğini arttırmaktadır. Sonuçlar, batarya kapasitesinin sistem için yeterli ve dengeli olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.19. Genel sonuç

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Son yıllarda enerji talebindeki artış, fosil yakıtların çevresel etkileri ve sürdürülebilir enerji ihtiyacı hibrit enerji sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır. Bu çalışmada, Muş ili özelinde, özellikle Üçevler bölgesine yönelik yapılmış olan detaylı analiz ve modelleme çalışmaları yapılmıştır. Muş ili özellikle Üçevler bölgesi ve çevresinde, ortalama 6 m/s düzeyinde rüzgâr hızlarıyla küçük ve orta ölçekli rüzgâr türbinleri için uygun bir potansiyele sahiptir. Rüzgâr enerjisinin güneş enerjisiyle birlikte hibrit sistemlerde değerlendirilmesi, hem enerji üretim sürekliliğini artıracak hem de bölgenin enerji maliyetini düşürecektir. Bu nedenle Muş ili gelecekte yerel ölçekte sürdürülebilir enerji yatırımlarına uygun ve stratejik bir bölge olarak değerlendirilebilir.

Bölgeye özgü rüzgâr verilerinin incelenmesi, hibrit enerji üretim potansiyelinin değerlendirilmesi ve uygun modelleme önerilerinin sunulması açısından literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışma rüzgâr ve güneş potansiyelinin eş zamanlı analiz edilmesini sağlayarak, hibrit sistemlerin bölgesel uygulanabilirliği üzerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

6.2 Öneriler

Muş Üçevler bölgesinde rüzgâr ve güneş kaynaklarının mevsimsel olarak birbirini tamamlayıcı yapıda olması nedeniyle hibrit sistem uygulamalarının bölgesel enerji üretiminde yüksek potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bölgedeki rüzgâr hızlarının özellikle sonbahar ve kış dönemlerinde artış göstermesi, güneşlenme süresinin ise ilkbahar ve yaz aylarında yüksek olması hibrit sistemin enerji sürekliliği açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu nedenle Üçevler bölgesinde rüzgâr ve PV sistemlerinin birlikte planlanması önerilmektedir. Bölgeye yönelik yapılacak tasarım çalışmalarında HOMER yazılımı ile farklı yazılımların test edilmesi, optimum türbin gücü, PV kapasitesi ve batarya depolama oranlarının maliyet açısından analiz edilmesi uygun olacaktır. Ayrıca uzun dönem rüzgâr ve güneş veri setlerinin kullanılması, sistem performans tahminlerinin doğruluğunu artıracaktır. Bölgenin kırsal dokusu göz önüne alındığında hibrit sistemin özellikle yerleşim yerlerinin elektrik ihtiyacını karşılamada, enerji bağımsızlığını artırmada ve bakım-onarım maliyetlerini azaltmada önemli katkı

sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle Üçevler bölgesi için hibrit enerji projelerinin hem teknik hem ekonomik açıdan fizibilite çalışmaları desteklenmelidir.



KAYNAKLAR

- Akman, E. (2019). *Dikey eksenli bir rüzgâr türbinin kanat tasarımının deneysel ve sayısal incelenmesi*. Sakarya Üniversitesi (Turkey).
- M.Aktacir, M. A., Yeşilata, B., ve Işıker, Y. 2008. Fotovoltaik-rüzgâr hibrid güç sistemi uygulaması. *Yeni Enerji Yenilenebilir Enerji Teknolojileri*, 3(1), 56-62.
- Arıkan, Y., ve Çam, E. 2017. Rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin fizibilite analizlerinin web tabanında gerçekleştirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 1-10.
- Atik, İ., ve Sekin, A. 2022. Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(3), 517-529.
- Başaran, K., Çetin, N., ve Çelik, H. 2011. *Rüzgar-güneş hibrit güç sistemi tasarımı ve uygulaması*. Paper presented at the 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- Bekar, N. 2020. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3(1), 37-54.
- Biyokütle. 2024. Enerji Döngüsü. doi: google.com.tr
- Bozkurt, Y., ve Kurtoğlu, A. (1980). Yenilenebilir enerji kaynakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 30(2), 93-104.
- Bulut, M. (2013). *Hidroelektrik enerji ve hidroelektrik santrallerde türbin tipi seçiminin verime etkisinin incelenmesi*. Gümüşhane Üniversitesi.
- Büyükzeren, R., Kaya, M. N., Bacakoğlu, A. A., Uçar, M., Altıntaş, H. B., Öztürk, A., ve Bilici, A. Y. 2024. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kule Yüksekliği ve Türbülans Yoğunluğu Etkisinin İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 566-582.
- Çakmak, Ç., Kurban, M., ve Dokur, E. 2020. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi. *Elektrik Mühendisleri Odası*: https://www.emo.org.tr/ekler/887f3eae0a7eff_ek.pdf adresinden alındı.
- Çelik, İ., Yıldız, C., ve Şekkeli, M. 2018. Rüzgâr Enerji Santrali kurulumunda rüzgâr türbinlerinin mikro yerleşimi için bir optimizasyon modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 898-908.
- Çelik, İ., Yıldız, C., ve Şekkeli, M. 2019. Deniz üstü Rüzgâr Enerji Santrallerinde Rüzgâr Türbini Çıkış Gücü Hesabında Temel İz Etkisinin Değerlendirilmesi için Bir Model. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 1-9.
- Çetin, S. K., Genç, M. S., ve Daldaban, F. 2019. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri-küçük ölçekli uygulamalar. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 539-551.
- Çukurçayır, M. A., ve Sağır, H. 2008. Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(20), 257-278.
- Dalgın, T., Oruç, M. C., Karadağ, L., ve Ekiztepe, B. A.(2015) Agro-Turizm, Tarım ve Yenilenebilir Enerji Kapsamında Bir Girişimcilik Önerisi. 9(5)

- Demircan, N., ve Bayraktar, B. 2020. Rüzgâr Enerjisi Ve Balıkesir Bölgesindeki Potansiyeli. *Balıkesir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 84-105.
- Dinçer, F. 2011. Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli-ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1).
- Doğan, K. (2014). *Yatay eksenli rüzgar türbin kanatlarının akışkan-yapı etkileşimi yönünden incelenmesi*. Bursa Uludag University (Turkey).
- Dursun, Y., ve Yılmaz, M. 2025. Van ili için Şebekeden Bağımsız Rüzgâr, Güneş ve Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemlerinin Tasarımı ve Karşılaştırmalı Analizi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(2), 771-797.
- Engin, M., Özdamar, A., ve Çolak, M.(2005). Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Üretimi Sisteminin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi* 11.2, 225-230
- Epdk. 2021. Enerji Üretim Grafikleri. *Enerji Dağılımı*. doi: 01.12.2024
- Ergür, Ö. (2006). *Rüzgar türbinleri ile enerji üretimi*. Sakarya Üniversitesi (Turkey).
- Ersoy, U. C. (2025). *Çekme karavanlar için rüzgâr-güneş hibrit enerji sistemi uygulamaları*.
- Gepa. 1988-2017. doi: <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi>
- Girgin, M. H. (2011). Bir fotovoltaiik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi.
- Google. 2024. Yenilenebilir enerji kaynakları grafik. doi: [google.com](https://www.google.com)
- Güneş, p. 2024. doi: [google.com.tr](https://www.google.com.tr)
- Günhan, N. E. M. (2020). *Küçük ölçekli dikey eksenli rüzgar türbinlerinin sayısal analizi*. Bursa Uludag University (Turkey).
- Güven, A. F., ve Mete, M. (2021). Balıkesir İli Erdek İlçesi İçin Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Fizibilite Çalışması Ve Ekonomik Analizi. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 9(4), 1063-1076.
- Hibrit. 2024. Sistemler. doi: [google.com.tr](https://www.google.com.tr)
- Huvaj Sarıhan, N., ve Baidol, Y. (2019). Deniz Üstü Rüzgar Türbinleri: Temel Tipi Seçimi ve Deniz Tabanı Zemin Araştırmaları.
- İçel, Y. 2023. Mikro Rüzgâr Türbin Modelleri Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(47), 47-52.
- İlkılıç, Z. 2016. Türkiye’de rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerji sistemlerinin gelişimi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/2), 1-13.
- Kabalıcı, Ö. G. E., Çiçek, Ö. G. S., ve Keven, Ö. G. G. 2010. Türkiye’de rüzgâr enerjisi ve gelişimi. *Uluslararası Strateji ve Güvenlik Araştırmaları Sempozyumu*.
- Kanoğlu, M. 2005. Jeotermal elektrik üretim sistemleri ve kojenerasyon. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 289-299.
- Kaplan, F. A. 2023. İklim Değişikliğinin Hidroelektrik Santraller Üzerindeki Etkisi ve Hes, Ges Hibrit Modeli. *Dsi Technical Bulletin/Dsi Teknik Bülteni*(141).

- Karadağ, H. İ. (2009). *Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin önemi ve rüzgar türbini tasarımı*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, K., ve Koç, E. (2015). Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Kanat Profil Tasarımı ve Üretim Esasları. *Mühendis ve Makina*, 56(670), 38-48.
- Kırbaş, İ., ve Kocakulak, T. 2021. Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: Maku-Tbmyo Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 127-135.
- Koç, E., ve Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koroğlu, M. Ö., ve Ülgen, K. 2018. Denizüstü Rüzgâr Enerji Santralleri: Çanakkale Örneği Offshore Wind Energy Plant: A Case study of Çanakkale. *Güç Sistemleri Konferansı*, 15-16.
- Kutlu, Y. (2011). Deniz Üstü Rüzgar Türbini Temel Tasarımı Ve Türkiye'de Kazıklı Bir Uygulaması.
- Meteoroloji. 2024. Genel Müdürlüğü. doi: <https://mgm.gov.tr>
- Mikro. 2025. Rüzgar Türbini. doi: google.com.tr
- Monokristal.2025 (Güneş P.). doi: google.com.tr
- Nurbay, N., ve Çınar, A. 2005. Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. III. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- Özdamar, A. 2000. Dünya ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine bir Araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 133-145.
- Parlak, M., ve Turan, R. (2011). İnce Film Güneş Gözeleri. *Bilim Teknik ve*, 54.
- REPA. 2024. Enerji İşleri. doi: <https://repa.enerji.gov.tr>
- Rüzgar, t. 2024. Türbin. doi: google.com.tr
- Sağlam, M., Uyar, T. S., ve Göztepe, İ. 2005. Dalga enerjisi ve Türkiye'nin dalga enerjisi teknik potansiyeli. *Elektrik Mühendisleri Odası*, 19, 2020.
- Şenaktaş, B. (2005). *Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şenel, M. C., ve Koç, E. 2014. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dinamik davranışı-teorik bir model. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 69-80.
- Tabii, E. v. 2024. Kaynaklar Bakanlığı. doi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisansli-elektrik-uretimi>
- Teiaş. 2024. doi: teias.gov.tr
- Temurçin, K., ve Aliagaoglu, A. 2003. Nükleer Enerji Ve Tartışmalar Işığında Türkiye'de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- Terzioğlu, H., Arslan, M., ve Demirok, H. 2019. Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi. *Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri*, 221.
- Topal, M., ve Arslan, E. I. 2008. Biyokütle enerjisi ve Türkiye. VII. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17, 19.

- Topal, M., ve Topal, E. I. A. 2012. Elazığ İli biyokütle enerji potansiyeli üzerine: 2000-2010. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 21-30.
- Türbini, R. 2023. Yatay Eksenli. doi: google.com
- Türbini, R. 2024. Dikey Eksenli. doi: google.com.tr
- Us, S. 2003. Yatay Eksenli Rüzgar Türbini Rotoru Tasarımı.
- Üstü, D. 2025. Rüzgar Türbini. doi: google.com.tr
- Üze, S., Çelen, S., ve Moralar, A. 2008. Rüzgar Türbini Tasarımını Etkileyen Parametreler ve Etkilerinin İncelenmesi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 97-103.
- Vedas. 2024. Dağıtım Şirketi. doi: <https://www.vedas.com.tr>
- Yavuz, İ., ve Özbay, H. 2020. Rüzgar türbinlerinde kurulum ve bakım süreçleri: bandırma örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 58-68.
- Yıldız, Ö. B. (2024). *Akış Üzerindeki Periyodik Düzensizlikler Tarafından Üretilen Titreşim ile Rezonansa Girerek Oluşan Mekanik Enerjiyi Elektrik'e Dönüştürebilen Aerojeneratör Tasarımı ve Optimizasyonu*. Necmettin Erbakan University (Turkey).
- Zaim, A., ve Çavşı, H. (2018). Türkiye'deki jeotermal enerji santrallerinin durumu. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 45-58.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mavi KAPLAN DURANLI

EĞİTİM

Derece	Adı,	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Melik Ahmet Lisesi ,	Diyarbakır	2005
Üniversite	: Tunceli Üniversitesi,	Tunceli	2014
Yüksek Lisans	: Muş Alparslan Üniversitesi,	Muş	2026

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2026	VEDAŞ	Müşteri Hiz. Başmüh.
2016-2017	EMİ GRUP BİLGİ TEK.	Yerinde Destek Müh.
2014-2016	DEMSAN RESTORASYON	Saha Kontrol Müh.

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji, Hibrit Enerji Sistem Tasarımları