

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT (GÜNEŞ + RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ:
VAN ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus DURSUN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

MAYIS 2025

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT (GÜNEŞ + RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ:
VAN ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus DURSUN
36193618005

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

MAYIS 2025

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**HİBRİT (GÜNEŞ + RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ:
VAN ÖRNEĞİ**

**Tezi Hazırlayan: Yunus DURSUN
Yüksek Lisans Tezi**

TEŐEKKÖR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedenden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a,

Çalışmalarımda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince debenden her türlü desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Hibrit (Güneş + Rüzgâr) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Van Örneği” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yunus DURSUN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı	3
1.3 Tezin Organizasyonu	4
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli Konusuna İlişkin Araştırmalar	6
2.2 Hibrit (Güneş/Rüzgâr) Enerji Sistemleri Konusuna İlişkin Araştırmalar	7
2.2.1 Dünyada hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar....	7
2.2.2 Ülkemizde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar	10
2.2.3 Van ilinde güneş, rüzgâr ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar	13
2.2.3.1 Van ilinde güneş enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar	13
2.2.3.2 Van ilinde rüzgâr enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar	17
2.2.3.3 Van ilinde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar	17
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ.....	18
3.1 Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları	20
3.2. Van İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerji Santralleri	22
3.2.1. Van ili güneş enerjisi potansiyeli.....	22
3.2.2 Van ili güneş enerji santralleri.....	25
3.3 Van İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Rüzgâr Enerji Santralleri	26
3.3.1 Van ili rüzgâr enerjisi potansiyeli.....	26
3.3.2 Van ili rüzgâr enerji santralleri	29
3.4 Van İli Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Jeotermal Enerji Santralleri	30
3.4.1 Van ili jeotermal enerji potansiyeli	30
3.4.2 Van ili jeotermal enerji santralleri	31
3.5 Van İli Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Biyokütle Enerji Santralleri.....	32
3.5.1 Van ili biyokütle enerji potansiyeli	32
3.5.2 Van ili biyokütle enerji santralleri	33
3.6 Van İli Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Hidroelektrik Enerji Santralleri	33
3.6.1 Van ili hidroelektrik enerji potansiyeli	33
3.6.2 Van ili hidroelektrik enerji santralleri	34
4. HİBRİT (GÜNEŞ/RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMLERİ	37
4.1. Güneş Enerjisi Sistemleri	37
4.1.1 Şebekeye bağlı güneş enerjisi (on-grid solar) sistemleri	38
4.1.2 Şebekeden bağımsız güneş enerjisi (off-grid solar) sistemleri.....	38
4.1.3 Hibrit güneş enerjisi (hybrid solar) sistemleri	39
4.2 Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	40

4.2.1 Rüzgâr türbinleri ve çalışma prensibi	40
4.2.2 Rüzgar santralleri	42
4.2.3 Rüzgâr türbini bileşenleri	42
4.2.3.1 Rotor	43
4.2.3.2 Tahrik sistemi	43
4.2.3.3 Elektrik aksamı	44
4.2.3.4 Kontrol ünitesi	44
4.2.3.5 Destek yapıları	45
4.2.3.6 Anemometre	45
4.2.3.7 Transformatör	45
4.2.3.8 Rüzgâr yönü	46
4.2.3.9 Rüzgâr göstergesi (wind vane)	46
4.3 Hibrit (Güneş-Rüzgâr) Enerji Sistemleri	46
4.3.1 Hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sisteminin bileşenleri	47
4.3.1.1 Rüzgâr türbini ve kulesi	47
4.3.1.2 Güneş panelleri	48
4.3.1.3 Aküler (batarya sistemi)	48
4.3.1.4 Şarj kontrol cihazı	48
4.3.1.5 Evirici (İnverter)	48
4.3.1.6 Kablolar ve bağlantı ekipmanları	48
4.3.2 Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin avantajları	48
4.3.3 Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin dezavantajları	49
5. MALZEME VE YÖNTEM	50
5.1 Van İli ve Akdamar Adası	50
5.2 Ortalama Bir Evin Elektrik Tüketimi	51
5.3 Analiz Edilen Bina ve Konumu	53
5.4 HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) Programı	53
5.4.1 Simülasyon (Benzetim)	55
5.4.2 Optimizasyon (İyileştirme)	55
5.4.3 Fiziksel modelleme	56
5.4.4 Ekonomik modelleme	56
5.4.5 HOMER değer belirleme metodu	57
5.5 HOMER ile Tasarım ve Modelleme	57
5.5.1 Konumun seçilmesi ve elektrik talebinin belirlenmesi	58
5.5.2 Rüzgâr kaynağı	58
5.5.3 Güneş kaynağı	59
5.5.4 Rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin konfigürasyonu	59
5.6 Ekonomik analiz	64
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	65
6.1 Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Enerji Sistemleri	65
6.1.1 Şebekeden bağımsız (off-grid) temel senaryoların analizi	66
6.1.1.1 Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sisteminin (RT-1) analizi	66
6.1.1.2 Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerji sisteminin (PV-1) analizi	70
6.1.1.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) (HT-1) analizi	73
6.1.2 Şebekeden bağımsız (off-grid) temel senaryoların sonuçlarının karşılaştırılması	79
6.1.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) alternatif senaryoların analizi ve temel senaryolar ile karşılaştırılması	80
6.2. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Enerji Sistemleri	82

6.2.1 Şebekeye bağlı (on-grid) temel senaryoların analizi	83
6.2.1.1 Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin (RT-6) analizi	83
6.2.1.2 Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin (PV-6) analizi	86
6.2.1.3 Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) (HT-6) analizi	89
6.2.2 Şebekeye bağlı (on-grid) temel senaryoların sonuçlarının karşılaştırılması	92
6.2.3 Şebekeye bağlı (on-grid) alternatif senaryoların analizi ve temel senaryolar ile karşılaştırılması	93
6.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler ile şebekeye bağlı (on-grid) sistemlerin karşılaştırılması	95
6.4 Diğer Literatürle Karşılaştırma	97
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
7.1 Sonuçlar	99
7.1.1 Van İli Yenilenebilir Enerji Potansiyeline İlişkin Sonuçlar	99
7.1.2 Van İlinde Rüzgâr, Güneş ve Hibrit (Güneş/Rüzgâr) Enerji Sistemleri ile Elektrik Üretim Olanaklarına İlişkin Sonuçlar	100
7.2 Öneriler	102
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Türkiye toplam birincil enerji arzı içinde kaynakların miktar ve payları	20
Çizelge 3.2: Türkiye toplam birincil enerji arzı, üretimi, ithalatı ve ihracatı.....	21
Çizelge 3.3: Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların miktar ve payları.....	21
Çizelge 3.4: Kaynaklara göre birincil enerji tüketimi	22
Çizelge 3.5: Van ilinde işletmedeki GES santralleri.....	25
Çizelge 3.6: Van ilinde ön lisans alan GES santralleri	25
Çizelge 3.7: Van ilinde güneş enerji santralleri (MWe)	25
Çizelge 3.8: Van ili için minimum/maksimum/ortalama rüzgâr hızı değerleri	28
Çizelge 3.9: Van ili için minimum/maksimum/ortalama güç yoğunluğu değerleri.....	28
Çizelge 3.10: Van ili için minimum/maksimum/ortalama kapasite faktörü değerleri.....	29
Çizelge 3.11: Van ilinde işletmedeki Rüzgâr Enerji Santralleri	30
Çizelge 3.12: Van ilinde ön lisans alan Rüzgâr Enerji Santralleri.....	30
Çizelge 3.13: Van ili için rüzgâr enerji santrali potansiyeli verileri	30
Çizelge 3.14: Van ili biyokütle enerji potansiyeli	33
Çizelge 3.15: Van ili coğrafik ve hidrolik verileri	34
Çizelge 3.16: Van ilinde işletmedeki hidroelektrik santraller.....	35
Çizelge 3.17: Van ilinde ön lisans alan hidroelektrik santraller	36
Çizelge 5.1: Evlerde kullanılan cihazların tahmini günlük elektrik tüketimleri	52
Çizelge 5.2: Van ili Akdamar Adası için aylık ortalama güneş küresel yatay ışınlam ve rüzgâr hızı verileri.....	58
Çizelge 5.3: Rüzgâr türbini teknik özellikleri.	60
Çizelge 5.4: Dizel jeneratör teknik özellikleri.	60
Çizelge 5.5: Dönüştürücü teknik özellikleri.....	60
Çizelge 5.6: Batarya teknik özellikleri.....	60
Çizelge 5.7: PV dizisi teknik özellikleri.	61
Çizelge 5.8: Şebeke güç ve geri ödeme fiyatları.....	63
Çizelge 6.1: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler.	67
Çizelge 6.2: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.	70
Çizelge 6.3: Şebekeden bağımsız rüzgar enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.	70
Çizelge 6.4: Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.....	71
Çizelge 6.5: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.	73
Çizelge 6.6: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.....	74
Çizelge 6.7: Şebekeden bağımsız rüzgar enerji sisteminin gaz emisyon sonuçları.	78
Çizelge 6.8: Sistemin ekonomik analizi.....	78
Çizelge 6.9: Şebekeden bağımsız temel senaryo sonuçlarının karşılaştırılması.	80
Çizelge 6.10: Farklı kapasiteler içeren alternatif şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri sonuçlarının karşılaştırılması.	81
Çizelge 6.11: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler.	84
Çizelge 6.12: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.	86
Çizelge 6.13: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgar enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.	86
Çizelge 6.14: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.	87

Çizelge 6.15: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.	89
Çizelge 6.16: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.	89
Çizelge 6.17: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.	90
Çizelge 6.18: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) ekonomik analizi.	92
Çizelge 6.19: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) gaz emisyon sonuçları.	92
Çizelge 6.20: Şebekeye bağlı temel senaryo sonuçlarının karşılaştırılması.	93
Çizelge 6.21: Farklı kapasiteler içeren alternatif şebekeye bağlı rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri sonuçlarının karşılaştırılması.	94
Çizelge 6.22: 15 adeti şebekeden bağımsız sistemler, 15 adeti şebekeye bağlı sistemler olmak üzere incelenen tüm senaryolara ait sonuçlar.	96
Çizelge 6.23: Bu çalışma sonuçlarının literatürdeki bazı hibrit enerji sistemi sonuçlarıyla karşılaştırılması.	98



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Hibrit PV/rüzgâr sisteminin blok diyagramı.....	2
Şekil 2.1: Akdamar adası güneş enerjisi uygulaması.....	14
Şekil 2.2: Van ili güneş ışınlamı uygunluk haritası	16
Şekil 2.3: Van ili için GES uygunluk haritası	16
Şekil 3.1: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	23
Şekil 3.2: Van ili güneş enerjisi potansiyeli atlası	24
Şekil 3.3: Van ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	24
Şekil 3.4: Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı – 100 Metre	27
Şekil 3.5: Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı – 100 Metre	27
Şekil 3.6: Türkiye için kapasite faktörü dağılımı – 100 Metre	27
Şekil 3.7: Van ili için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı – 100 Metre.....	28
Şekil 3.8: Van ili için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı – 100 Metre	28
Şekil 3.9: Van ili için kapasite faktörü dağılımı – 100 Metre	29
Şekil 3.10: Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası.....	31
Şekil 3.11: Türkiye toplam biyokütle potansiyeli (kWh/yıl)	32
Şekil 4.1: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemi.	38
Şekil 4.2: Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemi.	39
Şekil 4.3: Rüzgâr türbinlerinin zamanla değişimi.....	41
Şekil 4.4: Rüzgâr türbini bileşenleri	43
Şekil 4.5: Hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sistemi (a) şebekeye bağlı (on- grid) sistem (b) şebekeden bağımsız (off-grid) sistem	47
Şekil 5.1: Van ili ve Akdamar Adası.	51
Şekil 5.2: Van-Akdamar Adası HOMER görünümü.	53
Şekil 5.3: HOMER yönetsel aşamaları.	57
Şekil 5.4: Simülasyon çalışmasının akış diyagramı.....	58
Şekil 5.5: Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü.	59
Şekil 5.6: Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü.	61
Şekil 5.7: Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit enerji sistemi HOMER şematik görünümü.	62
Şekil 5.8: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi HOMER şematik görünümü.....	62
Şekil 5.9: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü... ..	63
Şekil 5.10: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji (rüzgâr/güneş) sistemi HOMER şematik görünümü.	63
Şekil 6.1: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerjisi sistem elemanları ve sistemin tümüne ait maliyet.....	67
Şekil 6.2: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemi aylık ortalama elektrik üretimi.	68
Şekil 6.3: Şebekeden bağımsız rüzgâr türbini aylık rüzgâr hızı ortalamaları.	68
Şekil 6.4: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemi batarya simülasyon sonuçları.	69
Şekil 6.5: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.	69
Şekil 6.6: Şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminin elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.....	71
Şekil 6.7: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.	72
Şekil 6.8: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin PV dizisi güç çıkışı aylık ortalamaları.	72

Şekil 6.9: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin batarya simülasyonu sonuçları. ..	73
Şekil 6.10: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgâr) elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.	75
Şekil 6.11: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.	75
Şekil 6.12: Şebekeden bağımsız rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları.	76
Şekil 6.13: Şebekeden bağımsız PV dizisi güç çıkışı aylık ortalamaları.	76
Şekil 6.14: Şebekeden bağımsız dizel jeneratör sisteminin güç çıkışı aylık ortalamaları. .	77
Şekil 6.15: Şebekeden bağımsız toplam güç çıkışı aylık ortalamaları.	77
Şekil 6.16: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin batarya simülasyon sonuçları.	78
Şekil 6.17: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerjisi sistem elemanları ve sistemin tümüne ait maliyet.	84
Şekil 6.18: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi aylık ortalama elektrik üretimi.	85
Şekil 6.19: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin şebeke elektrik alım-satım değerleri.	85
Şekil 6.20: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.	87
Şekil 6.21: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.	88
Şekil 6.22: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin şebeke elektrik alım-satım değerleri.	88
Şekil 6.23: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgâr) elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.	90
Şekil 6.24: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) aylık ortalama elektrik üretimi.	91
Şekil 6.25: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (rüzgâr/güneş) şebeke elektrik alım-satım değerleri.	91

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
BES	: Biyogaz ve Biyokütle Enerji Santrali
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COE	: Birim Enerji Maliyeti (\$/kWh)
CRF	: Sermaye Geri Kazanım Faktörü
DAKA	: Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı
DC	: Doğru Akım
DJ	: Dizel Jeneratör
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GA	: Genetik Algoritma
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GFE	: Cam Elyafı Epoksi
GFP	: Cam Elyafı Takviyeli Polyester
ha	: Hektar
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
HRES	: Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi
HSS	: Yüksek Hızlı Mil
HT	: Hibrit
IC	: Başlangıç Maliyeti
i	: Faiz Oranı
JEPA	: Jeotermal Enerji Potansiyeli Atlası
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
KTB	: Kültür ve Turizm Bakanlığı
LSS	: Düşük Hızlı Mil
MMO	: Makina Mühendisleri Odası
MTEP	: Milyon TEP
n	: Bileşenlerin Ömrü (yıl)
NPC	: Toplam Net Bugünkü Maliyet

OC	: İşletme Maliyeti
On-Grid	: Şebekeye Bağlı
Off-Grid	: Şebekeden Bağımsız
PV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgâr Enerjisi Santrali
RPM	: Devir/Dakika
RT	: Rüzgâr Türbini
TEA	: Toplam Birincil Enerji Arzı
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TYE	: Yıllık Toplam Enerji Üretimi
TYM	: Toplam Yıllık Maliyet
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT (GÜNEŞ + RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ: VAN ÖRNEĞİ

YUNUS DURSUN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı33

110+xiii Sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Hibrit enerji sistemleri, maliyetleri azaltmak ve bağımsız alternatiflere kıyasla kapasiteyi, değeri, verimliliği veya çevresel performansı iyileştirmek için çeşitli enerji üretimi, depolama ve/veya dönüştürme teknolojilerini fiziksel veya kavramsal olarak birleştiren sistemlerdir. Güneş-rüzgâr hibrit sistemi, iki tip güç üretim ekipmanı, yani rüzgâr türbini ve güneş paneli dizisi tarafından elektriğin eş zamanlı üretilmesini ifade eden, elektrik üretme ve tedarik etmeye yönelik bir uygulama sistemidir.

Bu tezin temel amacı, Van ilinde rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri ile elektrik üretim olanaklarını araştırmaktır. Tezin ilk kısmında Türkiye'nin yenilenebilir enerji görünümü verilmiş ve Van ili enerji profili araştırılmıştır. Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi kapsamında değerlendirilmiştir. Van ilinde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji santrallerinin kurulu güçleri ve enerji santrali potansiyeli verileri incelenmiştir. Tezin ikinci kısmında Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgar enerjisi sistemleri, güneş enerjisi sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (rüzgar/güneş) şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak simülasyonla modellenmiştir. Simülasyonlar HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen sistemlerin ekonomik ve ekolojik analizleri yapılarak toplam net bugünkü maliyet (NPC), birim enerji maliyeti (COE), fazla elektrik miktarı, geri ödeme süresi bakımından uygun sonuçları veren sistemler araştırılmıştır.

Van ilinde güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle enerji potansiyelinin yüksek, jeotermal enerji potansiyelinin ise düşük olduğu değerlendirilmesine varılmıştır. Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1681-0.4457 \$/kWh arasında, güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1356-0.3987 \$/kWh arasında, hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0804-0.2108 \$/kWh arasında değişmiştir. Şebekeden bağımsız sistemlerin COE değerleri şebekeye bağlı sistemlerin COE değerlerinden çok yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir enerji, Güneş, Rüzgâr, Hidroelektrik, Jeotermal, Biyokütle, Hibrit, HOMER, Akdamar, Van

ABSTRACT

Master Thesis

ELECTRICITY GENERATION FROM HYBRID (SOLAR + WIND) ENERGY SYSTEM: THE CASE OF VAN

YUNUS DURSUN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

110+xiii Pages

2025

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Hybrid energy systems are systems that physically or conceptually combine various energy generation, storage and/or conversion technologies to reduce costs and improve capacity, value, efficiency or environmental performance compared to stand-alone alternatives. A solar-wind hybrid system is an application system for generating and supplying electricity that involves the simultaneous production of electricity by two types of power generation equipment, namely a wind turbine and a solar panel array.

The main purpose of this thesis is to investigate the electricity generation possibilities with wind, solar and hybrid (wind/solar) energy systems in Van province. In the first part of the thesis, Turkey's renewable energy outlook is given and Van province energy profile is investigated. Renewable energy potential of Van province is evaluated within the scope of solar, wind, geothermal, biomass and hydroelectric energy. Installed capacities of solar, wind, geothermal, biomass and hydraulic energy plants in Van province and energy plant potential data are examined. In the second part of the thesis, wind energy systems, solar energy systems and hybrid energy systems (wind/solar) are modeled as on-grid and off-grid with simulation in order to meet the electricity needs of a duplex house on Akdamar Island. Simulations are carried out using HOMER software. Economic and ecological analyzes of the designed systems are made and systems that give appropriate results in terms of total net present cost (NPC), unit energy cost (COE), excess electricity amount and payback period are investigated.

It has been concluded that the solar, wind, hydroelectric and biomass energy potential is high and the geothermal energy potential is low in Van province. The COE values of off-grid wind energy systems ranged between 0.1681-0.4457 \$/kWh, the COE values of solar energy systems ranged between 0.1356-0.3987 \$/kWh, and the COE values of hybrid (wind/solar) energy systems ranged between 0.0804-0.2108 \$/kWh. The COE values of off-grid systems have been found to be much higher than the COE values of on-grid systems.

Keywords: Energy, Renewable energy, Solar, Wind, Hydroelectric, Geothermal, Biomass, Hybrid, HOMER, Akdamar, Van

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Sürdürülebilir ekonomik ve sosyal kalkınma açısından enerji, ekonominin en kritik girdilerinden biri olmaya devam etmektedir. Ülkemizdeki ithalat bağımlılık oranı %72 düzeyindedir; petrol ve doğalgazın neredeyse tamamı, kömürün ise yaklaşık beşte biri ithal edilmektedir. Enerji ihtiyacımızı karşılamak için sınırlı doğal kaynaklarımızın verimli kullanımı, enerji üretimini yeni teknolojilerle çeşitlendirmek ve mevcut teknolojilerin etkinliğini artırmak, ayrıca alternatif enerji kaynaklarını değerlendirmek adına politika ve stratejilerin uygulanmasına büyük önem verilmektedir. Enerji arz güvenliğimizi sağlamak için toplumda enerji verimliliği bilincinin yerleşmesi ve geliştirilmesi de öncelikli konular arasında yer almaktadır.

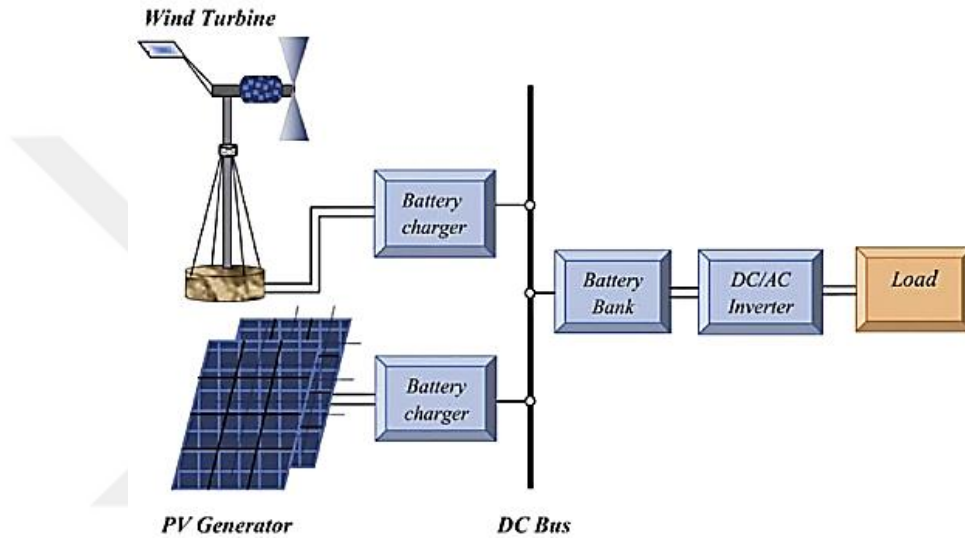
Hibrit enerji sistemleri, maliyetleri azaltmak ve bağımsız alternatiflere kıyasla kapasiteyi, değeri, verimliliği veya çevresel performansı iyileştirmek için çeşitli enerji üretimi, depolama ve/veya dönüştürme teknolojilerini fiziksel veya kavramsal olarak birleştiren sistemlerdir. Entegre hibrit enerji sistemlerinin geliştirilmiş esnekliği, şebekeye daha fazla yenilenebilir enerjinin entegre edilmesini hızlandırabilir ve sıfır karbonlu enerji şebekeleri hedefine yaklaşmaya yardımcı olabilir (Nazari-Heris ve diğ, 2023).

Güneş ve rüzgâr enerjisi kaynakları, insanlar için en kolay ulaşılabilir ve tükenmez temiz enerjidir ve güç üretim süreci herhangi bir kirlilik üretmez ve yerel çevre kaynaklarına zarar vermez.

Rüzgâr-güneş hibrit sistemi, iki tip güç üretim ekipmanı, yani rüzgâr türbini ve güneş paneli dizisi tarafından elektriğin eş zamanlı üretilmesini ifade eden, elektrik üretme ve tedarik etmeye yönelik bir uygulama sistemidir. Sistem rüzgar türbinleri, güneş panelleri, akıllı MPPT kontrolörleri (entegre veya bölünmüş), pil paketleri (lityum veya jel piller), çok işlevli eviriciler, kablolar, güneş paneli montajları, yardımcı aksesuarlar vb. içerir (Şekil 1.1). Bu sistemler tarafından üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilebilir ve kârla satılabilir.

Rüzgâr-güneş hibrit güç kaynağı sistemi, fotovoltaik ve rüzgâr gücünün temiz enerji kaynaklarını tam olarak kullanır ve düşük işletme ve bakım maliyetleriyle gece-gündüz ve mevsimsel tamamlayıcılık özelliklerine sahiptir.

Fotovoltaik güç kaynağının ve rüzgâr güç kaynağının tamamlayıcı doğası, maliyet açısından etkili olan güç kaynağı sisteminin istikrarını ve güvenilirliğini de sağlar. Makul tasarım ve eşleştirme yoluyla, hızlı inşaatın, istikrarlı performansın, düşük maliyetin, düşük enerji tüketiminin, güvenli çalışmanın, basit bakımın ve çevre korumanın olumlu önemini f33 ettirir.



Şekil 1.1: Hibrit PV/rüzgâr sisteminin blok diyagramı (Kaabeche ve diğ, 2011).

Rüzgâr-güneş hibrit sistemleri aşağıda belirtilen sistemler için kullanılabilir (PVMars, 2024):

- Şehir Aydınlatma Sistemleri:** Lambaları ve fenerleri çalıştırmak için rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalanma (şebekeye bağlanmaya gerek yok). Akıllı şehir aydınlatma sistemleri; çalışma süresini, parlaklığı, renk sıcaklığını vb. uzaktan kontrol etme imkânı sağlar. Hepsi bir arada güneş enerjili sokak lambaları, insan ve trafik akışını otomatik olarak algılayarak daha fazla güç tasarrufu sağlar ve 3-5 yağmurlu güne güç hazırlar.
- Ev Güç Kaynağı Sistemleri:** Çoğunlukla elektriği olmayan kırsal haneler, villalar ve tatil evleri, balıkçı tekneleri ve yatlar ve ev şebekesine bağlı elektrik satış sistemleri için kullanılır.
- Dağıtık Güç İstasyonu Sistemleri:** Çoğunlukla dağıtık güç istasyonlarında, kullanıcı tarafı şebekeye bağlı, adalar, sınır karakolları, elektriksiz köyler için merkezi güç kaynağında kullanılır.

- (d) Şebekeden Bağımsız Güç Sistemleri: Çoğunlukla iletişim baz istasyonlarında, akaryakıt istasyonlarında, gişelerde, çiftliklerde vb. kullanılır.
- (e) İzleme ve Gösterge Sistemleri: Çoğunlukla trafik izleme ve göstergede; güvenlik ve savunma izlemede; petrol, gaz ve elektrik hattı izlemede; orman yangını izlemede vb. kullanılır.

1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı

Bu tezin iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç Van ili enerji profilini incelemektir. İkinci amaç Van ilinde rüzgâr, güneş ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri ile elektrik üretim olanaklarını araştırmaktır.

Tezin ilk kısmında Türkiye'nin yenilenebilir enerji görünümü verilmiş ve Van ili enerji profili araştırılmıştır. Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi kapsamında değerlendirilmiştir. Van ilinde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji santrallerinin kurulu güçleri ve enerji santrali potansiyeli verileri incelenmiştir. Van ili yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulmuş, bu doğrultuda tespitler ve öneriler yapılmıştır.

Tezin ikinci kısmında Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgar enerjisi sistemi, güneş enerjisi sistemi ve hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgar) şebekeden bağımsız olarak simülasyonla modellenmiştir. Simülasyonlar HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen sistemlerin ekonomik ve ekolojik analizleri yapılarak toplam net bugünkü maliyet (NPC), birim enerji maliyeti (COE), fazla elektrik miktarı, geri ödeme süresi bakımından uygun sonuçları veren sistemler araştırılmıştır.

Van ilinde hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sistemlerinden elektrik üretimi konusunda daha önce herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu tez kapsamında yürütülecek çalışmaların özgün ve yenilikçi olduğu düşünülmektedir.

Fosil yakıt kaynaklı enerji sistemlerinin artan maliyetleri karşısında enerji ihtiyacının karşılanması, üretim maliyetlerinin azaltılması ve karlılığın arttırılması amacıyla hibrit (rüzgar/güneş) sistemlerinin kullanım olanaklarının araştırılması sonucunda önemli ekonomik ve çevresel kazanımların elde edilmesi beklenmektedir. Yapılacak çalışmaların şu hedeflere ulaşılmasına katkı sağlaması öngörülmektedir:

- (i) Rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini aktif hale getirerek milli gelire katkı sağlamak.

- (ii) Simüle edilecek hibrit sistemle, şebekeyle enerji sağlanamayan ailelere daha kullanışlı bir çözüm sunmak.
- (iii) Hibrit (rüzgar/güneş) enerji sistemi, rüzgâr ve güneş enerjisini bir arada kullanarak enerji ihtiyacını karşılamak.
- (iv) Bazı binaların elektrikteki üretim fazlasını şebekeye verebilmelerinin önünü açmak. Bu durum, türbin ve panellerin çoğalmasında yardımcı olacaktır. Kişisel hibrit sistemlerin yaygınlaşması maliyete dayalı yükleri hafifletecektir.

1.3 Tezin Organizasyonu

“Hibrit (Güneş+Rüzgâr) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Van Örneği” başlıklı bu tezde Van ili enerji profili araştırılmış, hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip illerimiz arasında yer alan Van ilinde kullanım olanakları araştırılmıştır.

Tez “1. Giriş”, “2. Literatür Taraması”, “3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli”, “4. Hibrit (Güneş/Rüzgâr) Enerji Sistemleri”, “5. Malzeme ve Yöntem”, “6. Bulgular ve Tartışma”, “7. Sonuç ve Öneriler” olmak üzere yedi bölümden oluşmaktadır.

Tezin ilk ve şu anki bölümü, çalışmanın amacını, kapsamını ve tezin organizasyonunu açıklamaktadır.

Tezin ikinci bölümünde ilk olarak ülkemizde yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına ilişkin araştırmalar incelenmiş, ardından hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Son olarak Van ilinde güneş, rüzgâr ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar konusunda literatür taraması yapılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde Türkiye’nin yenilenebilir enerji görünümü verilmiş ve Van ili enerji profili araştırılmıştır. Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi kapsamında değerlendirilmiştir. Van ilinde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji santrallerinin kurulu güçleri ve enerji santrali potansiyeli verileri incelenmiştir. Van ili yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulmuş, bu doğrultuda tespitler ve öneriler yapılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde güneş enerji sistemleri (GES) ve rüzgâr enerji sistemleri (RES) konularında öz bilgi verilmiştir. Hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin karakteristikleri, avantajları/dezavantajları açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde Van İli ve Akdamar Adası tanıtılmış, simülasyon için kullanılan HOMER programı hakkında bilgi verilmiş, HOMER ile tasarım ve modelleme adımları detaylandırılmıştır. Bu adımlar, konumun seçilmesi ve elektrik talebinin belirlenmesi; Van ili rüzgâr ve güneş kaynağı verilerinin sunulması; rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin konfigürasyonu ile ekonomik analiz adımlarını içermektedir.

Tezin altıncı bölümünde çalışma sonucunda elde edilen bulgular sunularak tartışılmıştır.

Tezin yedinci, dolayısıyla son bölümü sonuçlara ve önerilere ayrılmıştır. Bu bölümde çalışmada yapılan araştırmaların sonucu ve konuyla alakalı öneriler yer almaktadır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde ilk olarak ülkemizde yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına ilişkin araştırmalar incelenmiş, ardından hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Son olarak Van ilinde güneş, rüzgâr ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar konusunda literatür taraması yapılmıştır.

2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli Konusuna İlişkin Araştırmalar

Ülkemizde yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına ilişkin çok sayıda araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalardan bir kısmı ülkemizin genelindeki yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin araştırmalardır. Makine Mühendisleri Odası tarafından yayınlanan “Türkiye’nin Enerji Görünümü” kitabı (MMO, 2024) konuya ilişkin önemli ve güncel bilgiler içermektedir. Bu konuya ilişkin Bilen ve diğ. (2008), Cicek ve diğ. (2009), Toklu (2013), Acar ve diğ. (2015), Erdil and Akbıyık (2015), Ozcan (2018), Sirin and Yilmaz (2020), Topcu ve diğ. 2019, Özgul ve diğ. (2020), Saygin ve diğ. (2021), Sahin ve Esen (2022), Soylu ve diğ. (2024), Karipoğlu ve Denizli (2025) tarafından yapılan çalışmalar diğer örnekler olarak sayılabilir.

Öte yandan il bazında yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin araştırmalar da bulunmaktadır. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Dicle Kalkınma Ajansı ve Şırnak Üniversitesi’nce desteklenen proje kapsamında “Şırnak İli Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Araştırılması Projesi” başlıklı projenin sonuç raporu yayınlanmıştır (Polat, 2012).

Arslan (2016) Manisa ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin ortaya çıkartılması amacıyla bir çalışma yapmıştır. Manisa ilinin rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle enerji potansiyelinin yüksek, hidroelektrik enerji potansiyelinin ise düşük olduğu belirlenmiştir.

Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı tarafından “Güneş Enerjisi Sektör Raporu” hazırlanmıştır (DAKA, 2019). Raporda Van ilinin dâhil olduğu TRB2 bölgesinin (Bitlis, Hakkari, Muş,

Van) güneş enerjisi potansiyeli, bölgenin fiziki ve iklim koşullarının GES'nin fizibilite şartlarına uygunluğu, güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılmasına ilişkin yasal mevzuat, yatırımcıların izlemesi gerekli yollar ve yatırımlarla ilgili oluşabilecek problemler açıklanmıştır.

Çırak (2019) tarafından Karaman ilinin enerji profili araştırılmış ve ildeki yenilenebilir enerji uygulamaları incelenmiştir. Bölgenin yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyogaz ile mikro ve küçük ölçekli HES'ler konusunda üretim potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır.

Demirgil (2024) Sivas ilinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgâr, hidrolik ve biyokütle enerji santrallerinin kurulu güçlerini ve potansiyellerini incelemiştir.

Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin çalışmalara göz atıldığında bu çalışmaların genellikle tek bir yenilenebilir enerji kaynağına yönelik çalışmalar olduğu görülebilir. Yapılan çalışmalardan bir kısmı rüzgâr enerjisi potansiyeli ve rüzgar enerjisi uygulamalarına (Yayla ve diğ, 2010; Yumak ve diğ, 2012; Yeler ve diğ, 2016; Yayla ve Harmancı, 2019); bir kısmı güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisi uygulamalarına (Rüstemli ve Dinçer, 2011; Yaman ve diğ, 2019; Yalılı, 2021; Matpay, 2024); bir kısmı jeotermal enerjisi potansiyeli ve jeotermal enerjisi uygulamalarına (Açıkgöz ve Manav, 2003; Yeler ve diğ, 2016; Mert ve Aydın, 2017); bir kısmı biyokütle (biyogaz) enerjisi potansiyeli ve biyokütle (biyogaz) enerjisi uygulamalarına (Yeler ve diğ, 2016) yöneliktir.

2.2 Hibrit (Güneş/Rüzgâr) Enerji Sistemleri Konusuna İlişkin Araştırmalar

2.2.1 Dünyada hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Hibrit enerji sistemlerinin kullanımının fizibilite çalışması son yıllarda dünya çapında önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmalarda hibrit enerji sistemlerinin kapsamlı araştırması yapılmış, belirli saha koşullarına göre uyarlanmış rüzgâr enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri ve diğer tamamlayıcı sistemlerin çeşitli kombinasyonları analiz edilmiştir.

Kolhe ve diğ. (2013) Sri Lanka'da kırsal bir bölge için HOMER pro yazılımını kullanarak farklı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. 20 kW güneş paneli (PV), 40 kW rüzgar türbini (RT), 20 kW dizel jeneratör seti (DJ) ve 40 akü bankasına sahip PV/RT/DJ/akü konfigürasyonunun en ekonomik konfigürasyon olduğu ve bu sistemin birim enerji maliyetinin 0.36 \$/kWh olduğu belirlenmiştir. Enerji fiyatının Sri

Lanka'daki şebeke fiyatından daha pahalı olmasına rağmen çalışma alanında kamu şebekesinin olmaması nedeniyle hibrit sistemin kırsal yaşam tarzını iyileştireceği ve sera gazı emisyonlarını azaltacağı vurgulanmıştır.

Tawfik ve diğ. (2018) PV, RT, DJ ve bataryalardan oluşan şebekeden bağımsız hibrit sistemleri modellemek için genetik algoritmaya (GA) dayalı iHOGA yazılımını kullandılar. Mısır'ın Noubarya kentindeki bir çiftliğe kurulan bir tuzdan arındırma ünitesi için gereken enerjiyi karşılamak üzere çeşitli olası konfigürasyonların performansını araştırdılar. Optimizasyon sonunda birim enerji maliyeti (COE) 0.17 \$/kWh ve karşılanmayan yük (enerji açığı) toplam ihtiyaç duyulan enerjinin %1.3'ü, yenilenebilir enerji payı yaklaşık %75 olarak belirlenmiştir.

Jenkins ve diğ. (2019) tarafından HOMER yazılımı kullanılarak Libya Al-Marj Üniversitesi'ndeki (MARJU) bir bina için hibrit (RT-PV) güç sistemi tasarlandı. Simülasyon yapılarak on adet 100 kW'lık rüzgâr türbini ve 150 kW'lık güneş PV kurulumu değerlendirildi. Geri ödeme süresi 2.6 yıl olan bu tasarım, en uygulanabilir ekonomik tasarım olarak belirlendi.

Abdin ve Mérida (2019) tarafından yenilenebilir enerji sistemlerine dayalı olarak beş farklı küresel lokasyon için (Squamish, Kanada; Los Angeles ve Golden, ABD; Brisbane ve Adelaide, Avustralya) minimum enerji maliyetini belirlemek amacıyla HOMER Pro yazılımı kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. PV, RT ve bunların kombinasyonlarına dayalı olarak, pil bankaları ve hidrojen teknolojileri de dâhil olmak üzere dokuz farklı yenilenebilir enerji sistemi incelenmiştir. PV, RT, bir pil bankası, bir elektrolizör ve bir hidrojen tankından oluşan sistemin COE'sinin Golden, Colorado, ABD'de 0.50 \$/kWh olduğu belirlenmiştir. Hidrojenin uzun vadeli enerji tasarrufu için akülerden daha ekonomik olduğu, ancak akü bankası aynı yerde kullanılmazsa, hidrojen teknolojisinin yüksek maliyeti nedeniyle minimum COE'nin 0.78 \$/kWh'ye yükseldiği bulunmuştur.

Nassar ve diğ. (2021) hibrit PV-RT yenilenebilir enerji sisteminin dinamik analizini ve boyutlandırma optimizasyon çalışmasını gerçekleştirdiler. Entegre sistemin yıllık yük enerjisi talebinin yaklaşık %15'ini karşılayarak önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini buldular. Araştırma, PV ve RT gibi hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin, özellikle uygun topografik koşullar ve yenilenebilir enerji üretimi için yüksek potansiyel ile karakterize edilen kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji arzını sağlamak için rekabetçi ve güvenilir bir alternatif olduğunu vurgulamaktadır.

Zhang ve diğ. (2022) tarafından İran'ın Ardabil kentindeki bir sanayi bölgesinde orta büyüklükteki bir atölyenin ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü karşılamak için rüzgâr türbini ve fotovoltaiik sistemli hibrit yenilenebilir enerji kaynağının optimum konfigürasyonu HOMER yazılımı kullanılarak araştırılmıştır. En iyi PV dizisi, rüzgâr türbini, jeneratör, dönüştürücü ve batarya konfigürasyonu belirlenmiş ve bu konfigürasyonun birim enerji maliyetinin 0.462 \$/kWh olduğu bulunmuştur.

Muller ve diğ. (2023) rüzgâr ve güneş enerjisi konfigürasyonlarını ve bunların çıktılarını HOMER yazılımı ile analiz ederek fizibilite ve maliyet değerlendirmesi yapmıştır. Manipal, Hindistan'daki bir akademik kampüs için 3007 PV dizisi, iki adet 1.5 MW rüzgâr türbini ve 1927 kW dönüştürücüden oluşan bir sistemin en uygun olduğu tespit edilmiştir. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin bir akademik kampüste kurulmasının uygulanabilir olduğu, maliyetinin mevcut sistemden %40.8 daha düşük olduğu, sistemin geri ödeme süresinin 10.11 yıl olduğu belirlenmiştir.

Patil ve diğ. (2023) tarafından HOMER yazılımı kullanılarak yapılan hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin performans analizi, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji karışımına entegrasyonunun pratikliği ve potansiyeli hakkında faydalı bilgiler sunmaktadır. Genel olarak, çalışma, hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin incelenen bölgenin enerji taleplerini karşılamak ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Güneş, rüzgâr ve biyokütle kaynaklarının birleşimi, enerji güvenliği ve karbon emisyonlarını azaltmak için sürdürülebilir bir yol sunmaktadır. Bu performans çalışmasının sonuçları, sürdürülebilir enerji üretimi için çok yönlü bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır ve farklı yenilenebilir kaynakların entegrasyonunun optimize edilmesi, daha yeşil ve sürdürülebilir bir enerji geleceği için yolu açabilir.

Nazari-Heris ve diğ. (2023) ekonomik, çevresel ve teknik bakış açılarına odaklanarak binalardaki hibrit enerji sistemlerinin tasarımı ve uygulamalarına ilişkin güncellenmiş bir literatür taraması yapmıştır. Çalışmada, binalar için hibrit enerji sistemlerine yönelik mevcut ve gelecekteki eğilimler ve elektrik enerjisi ağlarındaki işlevler gelecek için potansiyel araştırma çalışma konuları olarak analiz edilmiştir.

Ariaei ve diğ. (2024) önemli güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan İran'ın Zahedan kasabası için tek kaynaklı ve hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin performansını araştırmıştır. TRNSYS yazılımı kullanılarak, iki tek kaynaklı (PV ve RT) ve PV'ler, RT'ler, alkali yakıt hücreleri ve dizel jeneratörlerinin kombinasyonlarını içeren altı hibrit sistemden

oluşan sekiz konfigürasyon simüle ve analiz edilmiştir. Analiz, özellikle PV ve RT'yi birleştiren hibrit sistemlerin, tek kaynaklı sistemlerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Ahmed ve diğ. (2024), Bangladeş'teki üçra bir ada için güvenilir ve uygun maliyetli elektrik, tatlı su ve pişirme gazı sağlamak amacıyla NSGA-II kullanarak PV, RT, DJ, batarya ve yakıt hücresi konfigürasyonlarını optimize etmişlerdir.

Roy ve diğ. (2024), Hindistan'daki Henry Adası için en uygun entegre bir PV/RT/Biyogaz Jeneratörü/Batarya/Dönüştürücü konfigürasyonunu araştırdılar. En uygun konfigürasyon için COE değeri 0.4224 \$/kWh olarak belirlendi.

2.2.2 Ülkemizde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Ülkemizde de şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemleri önemli bir araştırma konusu olmuştur ve konuya ilgi gittikçe artmaktadır. Bu çalışmalarda hibrit enerji sistemlerinin kapsamlı araştırması yapılmış, farklı iller için belirli saha koşullarına göre uyarlanmış rüzgâr enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri ve diğer tamamlayıcı sistemlerin çeşitli kombinasyonları analiz edilmiştir.

Köse (2010) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampus alanı için şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit enerji (güneş/rüzgâr) sistemleri ile elektrik üretim imkânlarını araştırmıştır.

Baran (2012) tarafından Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneş ve rüzgar verileri kullanılarak güneş-rüzgar hibrit sistem tasarımı için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Güneş pili sayısı, rüzgar türbini sayısı, batarya sayısı ve rüzgar türbini kurulum yüksekliği optimizasyon sürecindeki karar değişkenleri olarak seçilmiştir.

Dursun ve diğ. (2013) Edirne'de güneş/rüzgâr hibrit sistemlerinden elektrik elde etme olasılığını araştırdı. Bağımsız bir dizel sisteminin işletilmesinin yüksek maliyetini düşürmeye ve önemli miktarda yakıt tasarrufu elde etmeye çalıştı.

Sharifishourabi ve diğ. (2016) tarafından İstanbul'da bulunan tipik bir konut için 22 kWh/gün elektrik yükü ve 11.26 kWh/gün ısı yükünü karşılayabilen güneş panelleri, bir rüzgâr türbini, dizel jeneratör, batarya, dönüştürücü ve kazan içeren bir hibrit enerji sistemi önerilmiştir. Hibrit enerji sisteminin enerji üretimi enerji ve ekonomik yönlerden analiz edilmiştir. Sonuçlar, önerilen sistemin 25 yıllık bir ömür süresi göz önünde bulundurularak hem enerji hem de ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Korkmaz (2016) yaptığı yüksek lisans tezinde İnönü Üniversitesinin enerji gereksinimini yenilenebilir enerji (güneş, rüzgar, hibrit güneş/rüzgar) sistemleri ile karşılamak amacıyla HOMER yazılımını kullanarak simülasyon çalışmaları yapmıştır. Simülasyonlarda sistem kapasitesi olarak İnönü Üniversitesi yerleşkesinin elektrik yükünün %10'una karşılık gelen 2,966 kWh/gün değeri kullanılmıştır. Bu sistemlerin yıllık enerji üretim ve tüketim miktarları, birim enerji ve toplam net maliyetleri, işletme maliyetleri, yatırım maliyetleri ve atmosfere yayılan zehirli gaz miktarları incelenmiştir. Şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin (güneş/rüzgâr) tümünün birim enerji maliyetinin şebeke elektrik fiyatını aştığı, ilk yatırım ve toplam net maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Şebekeye bağlı hibrit sistemler için (güneş enerjisi sistemi hariç) ise birim enerji maliyetinin şebeke elektrik fiyatından düşük olduğu tespit edilmiştir.

Arıkan ve Çam (2017) Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın ilinin küçük bir ilçesi olan Amasra için rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin potansiyel, enerji üretimi ve ekonomik analizlerini web tabanında bir yazılım hazırlayarak yapmıştır.

Jafarzadeh (2017) yaptığı yüksek lisans tezinde İTÜ Ayazağa kampüsünde kurulabilecek bir rüzgâr/güneş hibrit enerji santralının optimizasyonunu yapmış ve yıl içinde bu santraldan elde edilebilecek elektrik enerjisini hesaplamıştır. Yılın her günü için rüzgâr ve güneşten elde edilebilecek elektrik enerjileri hesaplanarak tüm yıl için üretilen enerjiyi maksimize edecek rüzgâr-güneş kurulu güç oranı belirlenmiştir. Rüzgâr-güneş hibrit sistemi için genel olarak %72 fotovoltaik (650 kW güneş) ve %28 (250 kW) rüzgâr bileşeni kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Aktar (2017) hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sisteminin evsel ihtiyacı karşılaması konusunda bir yüksek lisans tez çalışması yapmıştır.

Bozok (2017) Düzce ilinde tipik bir konutun elektriksel enerji ihtiyacını karşılayabilecek şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sistemlerini modellemiştir. Modelde rüzgâr hızı ve ışıyım seviyesi gibi meteorolojik veriler kullanılarak incelenen sistemlerin ekonomik performansı belirlenmiştir.

Mamur ve diğ. (2019) tarafından Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin elektrik gereksiniminin hibrit güneş/rüzgâr sistemleri ile karşılanması amacıyla bir fizibilite çalışması yapılmıştır.

Akan (2021) Tekirdağ ili Süleyman Paşa ilçesindeki güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeline dayalı olarak tasarlanan şebekeden bağımsız bir hibrit sistemin teknik ve ekonomik analizini

HOMER Pro yazılımı kullanılarak yapılmıştır. İncelenen sistemdeki enerjinin %61.8'inin güneş enerjisinden, %38.2'sinin ise rüzgâr enerjisinden sağlanacağı belirlenmiştir. Yatırımın geri ödeme süresin 14 yıl olarak bulunmuştur.

Adan ve Filik (2021) Eskişehir Teknik Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü için şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmak amacıyla HOMER Pro programını kullanarak simülasyonlar yapmıştır. Bu sistemler net bugünkü maliyete (NPC) ve birim enerji maliyetine (COE) göre en ekonomik olanı belirlemek amacıyla birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün maksimum yük talebi 2 MWh/gün olup, HOMER optimizasyon sonuçları, PV/Dizel Jeneratör/Batarya kombinasyonunun yeterli güç sağladığını ve şebekeye bağlı hibrit sistem için ise PV/Şebeke kombinasyonunun en uygun yapı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, iki sistemin en optimum konfigürasyonunun 198 kW PV panel ve şebekeye sahip PV/Şebeke hibrit sistemi olduğunu göstermiştir. Bu sistemin 1.68 milyon \$ NPC ve 0.176 \$/kWh COE'ye sahip olduğu, ancak düşük yenilenebilir fraksiyonu (RF) nedeniyle bağımsız bir sistem olarak çevre dostu olmadığı belirlenmiştir. Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit sistemin NPC'si ve COE'si daha yüksek (4.29 milyon \$ ve 0.455 \$/kWh) bulunmuştur.

Kırbaş ve Kocakulak (2021) tarafından hibrit (güneş/rüzgâr) sistemlerin Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu yerleşkesine kurulması tasarlanmıştır. Tasarım için Homer Pro simülasyon programı kullanılmıştır. Kampüsün aylık enerji tüketim değerleri kullanılarak farklı güçler için (60 kW, 80 kW, 100 kW) sadece güneş, sadece rüzgâr ve farklı kombinasyonlarda hibrit santrallerin kurulması durumunda enerji verimliliği incelenmiştir. 100 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW güneş paneli ve 50 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu belirlenmiştir.

Coban (2022) Somali'deki Beledweyne'nin elektrik talebini karşılamak için hibrit enerji sistemlerini incelemiş ve dizel jeneratör, batarya, hidro, rüzgâr ve güneş enerjisi kaynaklarından oluşan sistemlerin performanslarını değerlendirmiştir. HOMER programı ile yapılan simülasyonlarda, rüzgâr enerjisi ile enerji talebinin karşılanmasının uygun bir yatırım olacağı ve Somali'nin zengin kaynakları ile gerekli enerji talebinin karşılanabileceği belirlenmiştir. Seçilen sistemin kurulum maliyeti 215,958 \$, işletme maliyeti 18,029 \$ ve net cari maliyeti 598,958 \$ olarak hesaplanmış, birim enerji maliyeti ise 0.164\$'a düşürülmüştür. Ayrıca, 20 farklı senaryo simüle edilip duyarlılık analizi yapılmış, bu

bulguların Somali'nin diğer bölgeleri ve komşu ülkelerdeki benzer topluluklar için de uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Pürlü ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada Sarayköy, Denizli'deki konut alanları için Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi'nin (HRES) tasarımı ve performansını detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmanın özgün yönü, güneş panelleri (PV), rüzgar türbini (RT) ve dizel jeneratörün (DG) entegre edildiği HRES modellerinin oluşturulması ve bu sistemin HOMER yazılımı kullanılarak kapsamlı simülasyon ve analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu bağlamda, maliyet, karbon salınımı ve yenilenebilir enerji kullanım oranları gibi çeşitli parametrelerin, şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler arasında ayrıntılı bir karşılaştırması yapılmıştır. Özellikle, CO₂ emisyonları, enerji maliyetleri ve yenilenebilir enerji oranlarındaki farklılıklar, enerji üretimi ve tüketimi stratejilerinin sürdürülebilirlik için nasıl geliştirilebileceğine dair yenilikçi bir perspektif sunmuşlardır.

Aydın ve Karabey (2023) tarafından Dünya'da ve Türkiye'de bulunan hibrit enerji sistemleri incelenmiştir. Enerji verimliliğinde hibrit güneş-rüzgâr enerji sistemlerinde %11-%18, hibrit güneş-hidrolik enerji sistemlerinde %14-%58 iyileşme olduğu belirlenmiştir. Hibrit sistemlerde enerji verimliliğindeki iyileşmeler sonucunda ülkemizdeki enerji santralleri için farklı hibrit modellerin tasarlanabileceği belirtilmiştir.

Erdal ve diğ. (2024) İzmir'deki Havza Atık Su Arıtma Tesisi için RT/PV/DJ/batarya içeren hibrit mikro şebeke tasarlamışlardır. Toplam enerji talebi, tasarlanan mikro şebeke tarafından karşılanmış, fazla güç üretilmiştir. Bu gücün şebekeye satılabileceği, tarımsal sulamada kullanılabileceği vurgulanmıştır.

2.2.3 Van ilinde güneş, rüzgâr ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Bazılarına yukarıda değinilen çalışmalar olmak üzere ülkemizde hibrit güneş-rüzgâr enerji sistemlerine ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Ancak Van ilinde yenilenebilir enerjinin kullanılmasına ilişkin araştırmalar sınırlı sayıdadır.

2.2.3.1 Van ilinde güneş enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Van ili Gevaş ilçesinde bulunan Akdamar Adasının enerji gereksiniminin tümü güneş enerji sistemlerinden üretilen elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır (Şekil 2.1). PV sistemi gücü 135 W olan 145 adet polikristal PV panel içermektedir. PV sistemi kışın adanın elektrik

gereksiniminin tümünü, yazın ise mevcut gereksinimin yaklaşık 2.5 katı kadar bir elektrik enerjisi üretmektedir (Rüstemli ve Dinçer, 2011).



Şekil 2.1: Akdamar adası güneş enerjisi uygulaması (Rüstemli ve Dinçer, 2011).

Rüstemli ve Dinçer (2011) Van ilinin yüksek güneş enerjisi potansiyelini dikkate alarak ildeki güneş enerjisi uygulamalarını değerlendirmiş ve güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması için çeşitli öneriler sunmuştur:

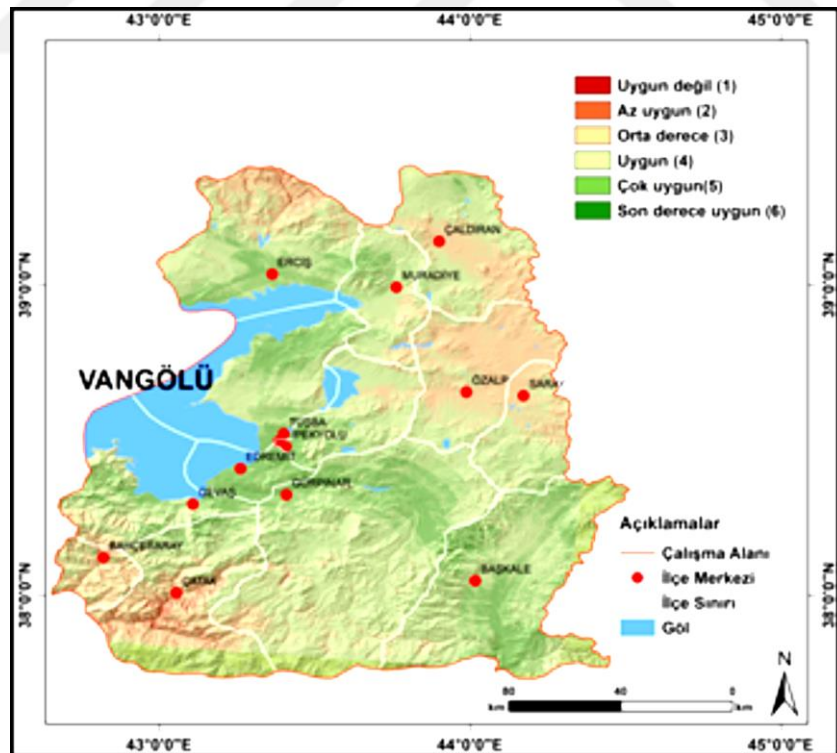
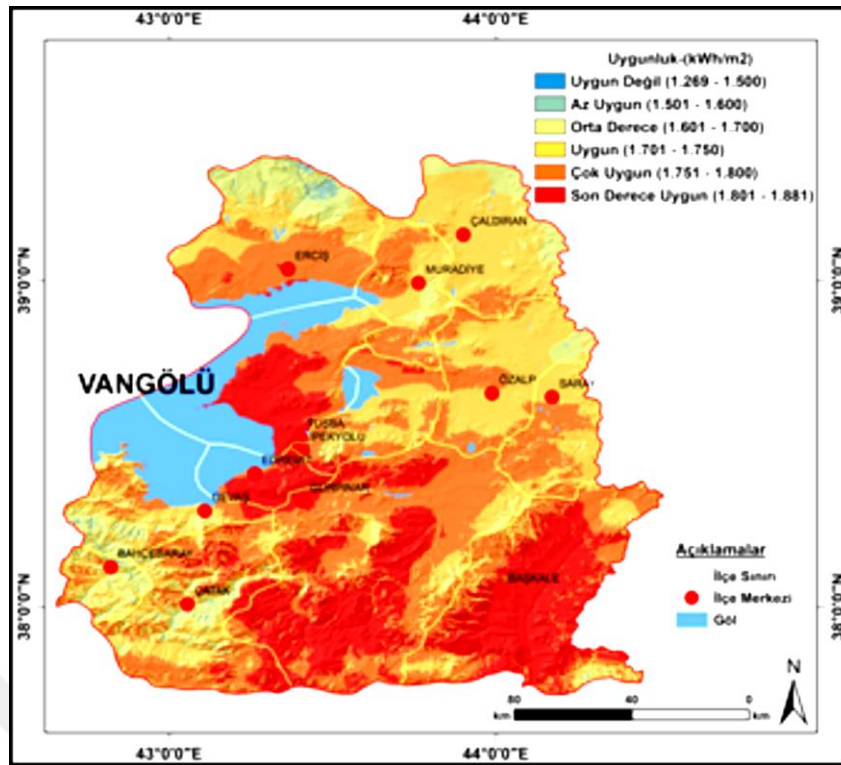
- Konutların elektrik enerjisi gereksiniminin güneş enerjisi ile sağlanmasının yaygınlaştırılması;
- Baz istasyonlarının elektrik enerjisi gereksiniminin güneş enerjisi ile sağlanması;
- Park ve bahçelerde elektrik enerjisinin güneş enerjisinden sağlanmasının yaygınlaştırılması;
- Cadde ve sokaklarda aydınlatma amaçlı güneş enerjisi uygulamalarının yaygınlaştırılması;
- Tarımsal sulamada elektrik enerjisinin güneş enerjisinden sağlanmasının yaygınlaştırılması;
- Sinyalizasyon sistemlerinde elektrik enerjisinin güneş enerjisinden sağlanmasının yaygınlaştırılması;
- Van Gölü'ne enerjisini tamamen güneş enerjisinden alan bir tekne uygulaması yapılarak hem ulusal hem de uluslararası çapta önemli bir tanıtım yapılması.

Yeler ve diğ. (2016) Van ilinde bulunan seraların ısıtılmasında kullanılabilecek doğal enerji kaynakları arasında olan güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle (biyogaz) enerji kaynaklarının bölgedeki potansiyeli, sera ısıtma sistemlerinde kullanılma olanakları ile ilgili bilgiler vermiş ve karşılaşılabilecek olası sorunları incelemiştir.

Yaman ve diğ. (2019) Van ilinin güneş ve hidroelektrik enerji potansiyellerini araştırmış ve bu enerji potansiyellerinin ilin ekonomisine katkısını incelemiştir. Van ilinin, güneş enerjisi açısından Türkiye geneli göz önüne alındığında oldukça avantajlı bir konumda olduğu, global radyasyon değerleri açısından üçüncü il, güneşlenme süreleri açısından ise ikinci il durumunda olduğu belirtilmiştir.

Yalılı (2021) tarafından lisanslı ve şebekeye bağlı 1 MW gücündeki fotovoltaik GES yatırımının ekonomik analizi yapılarak yatırımın karlılığı araştırılmıştır. Van ili Edremit ilçesinin GES kurulumuna uygun olup olmadığı incelenerek arazi seçimi yapılmıştır. Van ilinde gerçekleştirilecek 1 MW GES yatırımının öz sermaye ile yapılması durumunda uygun olabileceği, ilk yatırım maliyetlerinin tümüyle kredi ile karşılanması durumunda ise yatırımın uygun olmayacağı belirlenmiştir.

Matpay (2024) tarafından yapılan çalışmada GES panellerinin yer seçiminde birçok faktörün etkili olduğu ve bu faktörlerin coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarına entegre edilerek santralin kurulabileceği yerlerin belirlenebileceği vurgulanmıştır. Güneş ışınımının yüksek olduğu Van ili (Şekil 2.2) için sahanın kendine özgü fiziki coğrafi koşulları göz önüne alınarak on faktör (güneş ışınımı, yükselti, göl, eğim, bakı, yol, akarsu, enerji hatları, fay hatları, yerleşim yerleri) kullanılarak altı sınıftan oluşan uygunluk haritaları üretilmiştir. GES kurulumuna müsait olan ve olmayan yerleri gösteren uygunluk haritası hazırlanmıştır (Şekil 2.3). GES için son derece uygun ve çok uygun yerlerin 635 Ha alan kapladığı belirlenmiş; Gevaş, Gürpınar-Başkale arasında GES için topoğrafyanın uygun olduğu anlaşılmıştır.



2.2.3.2 Van ilinde rüzgâr enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Yayla ve diğ. (2010) Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla kampüs alanına bir adet rüzgâr ölçüm direği kurmuşlardır. Direk üzerine 30 m yüksekliğe bir anemometre ve rüzgâr yön sensörü takarak bir yıl boyunca (Nisan 2004-Mart 2005) rüzgâr hız ve yön değerlerini ölçerek bölgenin rüzgâr potansiyelini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgâr hızı ve ilgili parametrelerin ortalamasının Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Yumak ve diğ. (2012) Van Gölü'nün kuzeydoğu kıyısının Mamedik rüzgâr koridorunda bulunan rüzgâr potansiyelini bir rüzgar ölçüm direği kurup rüzgar hızı sensörlerini yerden 10 m ve 30 m yüksekliğe (AGL) ve 30 m yüksekliğe bir rüzgar gülü yerleştirerek ölçmüşlerdir. Rüzgâr ve meteorolojik parametreler Mart 2004-Temmuz 2007 arasında 28 aylık bir süre boyunca ölçülmüştür. Ölçülen veriler WAsP yazılımı ile analiz edilerek söz konusu saha için rüzgâr gücü potansiyeli belirlenmiştir. Van Gölü kıyısının rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için ölçülen rüzgâr hızlarının Türkiye genelinde tahmin edilen rüzgâr hızlarının ortalamasından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Yayla ve Harmancı (2019) Van ilinin belirli ilçeleri için hesaplanan rüzgâr potansiyellerini karşılaştırmıştır.

2.2.3.3 Van ilinde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri konusuna ilişkin araştırmalar

Van ilinde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemlerinden elektrik üretimi konusunda daha önce herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı, Van ilinin yüksek güneş enerjisi potansiyelini kullanarak hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemi ile elektrik üretim olanaklarını araştırmaktır. Van ili için şebekeden bağımsız rüzgar, güneş ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemlerinin tasarımı gerçekleştirilerek ekonomik ve ekolojik analizler yapılmıştır. HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda toplam net bugünkü maliyet (NPC), birim enerji maliyeti (COE), fazla elektrik miktarı, geri ödeme süresi bakımından uygun sonuçları veren sistemler araştırılmıştır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Fosil yakıt, kömür, kömür ürünleri, doğal gaz, türetilmiş gaz, ham petrol, petrol ürünleri ve yenilenemeyen atıklar gibi yenilenemeyen enerji kaynakları için kullanılan genel bir terimdir. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce hayvanların ve bitkilerin karbon açısından zengin kalıntılarının ayrışması ve yer altında sıkıştırılıp ısıtılmasıyla oluşmuştur. Fosil yakıtlar ayrıca diğer fosil yakıtlardan endüstriyel işlemlerle de üretilmektedir (Eurostat, 2025).

Dünyada enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil kaynaklardan elde edilen enerji birincil öneme sahiptir. 18. yüzyılın ikinci yarısında Büyük Britanya'da Sanayi Devrimi'nin başlamasından bu yana, fosil yakıtlar giderek artan bir oranda tüketilmektedir ve günümüzde fosil yakıtlar dünya enerjisinin yaklaşık yüzde 80'ini sağlamaktadır. Fosil yakıtlar karbon bazlıdır ve yakıldığında, depolanan karbon ve diğer sera gazları atmosfere salınır. Tüm insan yapımı CO₂ ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %80'inin fosil yakıtların yanmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Eurostat, 2025). Fosil enerji kaynaklarının çevre üzerinde yarattığı ciddi tahribatlar ve yakın gelecekte rezervlerinin önemli ölçüde tükenecek olması enerjide ülkeleri yeni arayışlara yöneltmiştir.

Yenilenebilir enerji, tüketildiklerinden daha yüksek bir oranda yenilenen doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları bol miktarda ve çevremizde her yerde bulunmaktadır. Doğaldır, kendini yeniler ve genellikle düşük veya sıfır karbon ayak izine sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerji, dalga enerjisi, okyanus enerjisi ve hidrojen enerjisi sayılabilir. Geleneksel enerji üretim tekniklerinin yol açtığı iklim krizini aşmak ve artan enerji talebini karşılamak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekelere entegre edilmesi ve yüksek yenilenebilir fraksiyon sağlanması oldukça önem kazanmıştır.

2023 yılında Dubai'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 28.Taraflar Konferansı'nda (COP 28) bir araya gelen yaklaşık 200 ülkenin temsilcileri, dünya ekonomilerinin fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişini başlatma konusunda bir antlaşma imzalamışlardır. Konferansta, yenilenebilir enerji kapasitesinin üç katına

ıkarılması; enerji verimliliğinin iki katına çıkarılması; 2050 ortalarına kadar sıfır ve d karbonlu yakıtlar kullanan net sıfır emisyonlu enerji sistemlerine çabaların hızlandırılması; enerji sistemlerinde fosil yakıtlardan adil, düzenli ve hakkaniyetli bir şekilde 2050 yılına kadar birime uygun olarak uzaklaşılmasının hızlandırılması kararları alınmıştır (COP 28, 2023).

Ülkemizde 2005 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi retimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ıkarılmıştır (YEK, 2005). Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yapılan yatırımları artırmak amacıyla yenilenebilir enerji mevzuatında teşvikler içeren düzenlemeler yapılmaktadır. Alım ve fiyat garantileri verilerek yenilenebilir enerjilerin elektrik üretimi amaçlı kullanımını teşvik edilmektedir. Fosil yakıtlı enerji üretiminin kısa vadede azaltılması, uzun vadede bitirmeye yakın bir noktaya getirilmesi için yenilenebilir enerji üretimini desteklemek amacıyla Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) adıyla bir destek mekanizması oluşturulmuştur (YEKDEM, 2011). Ülkemizde YEKDEM kapsamında GES (Güneş), RES (Rüzgâr), JES (Jeotermal), BES (Biyogaz ve Biyokütle) ve HES (Hidroelektrik) retimleri yenilenebilir enerji üretim kaynakları olarak değeriendirilmektedir. Bu destek mekanizması her devlet tarafından farklı şekilde finanse edilirken ülkemizde bu mekanizma elektrik satış tarifelerinin içine monte edilerek finanse edilmektedir. YEKDEM kapsamında ilk desteklemeler 2010 yılında başlamış, 10 yıl süreyle her bir enerji kaynağı için ayrı ayrı kWh başına sabit bir destekleme fiyatı belirlenmiştir. Bu destek mekanizmasından kamu kuruluşu olan EAş dışındaki neredeyse bütün özel elektrik üretim şirketleri yararlanmıştır ve yararlanmaya devam etmektedir. Öte yandan ETKB tarafından 2022 yılında Ulusal Enerji Planı yayınlanmıştır. Bu planda 2020 yılsonu kurulu gücü esas alınarak beşer yıllık dönemler açısından devreye alınması gereken yenilenebilir enerji yeni kapasite miktarları belirlenmiştir (ETKB, 2022).

Ülkemizdeki enerji kaynaklarının potansiyellerinin bilinmesi ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi son derece önemlidir. Literatür taraması Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve Van ilinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin kapsamlı bir çalışma bulunmadığını göstermektedir. Tezin bu kısmında Türkiye’nin yenilenebilir enerji görünümü verilmiş ve Van ili enerji profili araştırılmıştır. Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi kapsamında değeriendirilmiştir. Van ilinde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerji santrallerinin kurulu güçleri ve enerji santrali potansiyeli verileri

incelenmiştir. Van ili yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulmuş, bu doğrultuda tespitler ve öneriler yapılmıştır.

3.1 Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye’de toplam birincil enerji arzı 2022 yılında 157.7 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) olmuştur (Çizelge 3.1). Bu arzın kaynaklara dağılımında, ilk sırayı 45,11 MTEP ile petrol almıştır. Petrolü, 43,54 MTEP ile doğalgaz; 41.38 MTEP ile kömür, 11,51 MTEP ile jeotermal; 5,75 MTEP ile hidrolik; 4,51 MTEP ile biyoyakıtlar; 3,01 MTEP ile rüzgâr; 2,32 MTEP ile güneş izlemiştir. Çizelgeye göre birincil enerji arzında yenilenemez enerji kaynaklarının payı %82,4 (petrol: %28,6; doğalgaz: %27,6; kömür: %26,2) iken yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %17,6 (jeotermal: %7,3; hidrolik: %3,6 pay; biyoyakıtlar: %2,9; rüzgâr: %1,9 pay; güneş: %1,5) seviyesinde gerçekleşmiştir (MMO, 2024).

2002-2022 yılları arasındaki son 20 yılda Türkiye’de toplam enerji arzı %104,7 oranında artmıştır. Petrolün arzı %45,3; kömürün arzı %95,7; doğalgazın arzı %198,2; hidroliğin arzı %98,3; jeotermal/güneş/rüzgârın arzı %1375 artmıştır. Biyoenerji, odun, çöp ve atıkların toplamının arzı ise %24,5 azalmıştır (Çizelge 3.1) (MMO, 2024). 2002-2022 yılları arasında Türkiye toplam enerji arzı içinde kaynakların paylarında ise, petrolün payı %11,7; biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı %4,9; kömürün payı %1,2; hidroliğin payı %0,2 azalırken; doğalgazın payı %8,7, jeotermal, güneş, rüzgârın payı %9,2 artmıştır (Çizelge 3.1). Günümüzde yenilenebilir kaynak payı hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir.

Çizelge 3.1: Türkiye toplam birincil enerji arzı içinde kaynakların miktar ve payları (ETKB/EİGM, 2022).

Kaynaklar	2002		2010		2015		2020		2022	
	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)
Kömür	21,144	27.4	30,969	29.2	34,671	26.8	40,721	27.7	41,376	26.2
Petrol	31,049	40.3	31,937	30.2	39,238	30.4	42,190	28.6	45,113	28.6
Doğalgaz	14,598	18.9	31,456	29.7	39,651	30.7	39,806	27.0	43,538	27.6
Hidrolik	2,897	3.8	4,454	4.2	5,775	4.5	6,716	4.5	5,745	3.6
Biyoyakıtlar ¹	5,974	7.8	4489	4.2	2,964	2.3	3,369	2.3	4,513	2.9
Jeotermal, Güneş, Rüzgâr	1,142	1.5	2,581	2.4	6,635	5.1	14,495	10.0	16,844	10.7
Stok Kullanım	271	0.4	2	0	264	0.2	160	0.1	-	-
Toplam Enerji Arzı	77,075		105,888		129,198		147,168		157,770	

¹ Biyoyakıt = Biyoenerji, Odun, Çöp, Atık

Çizelge 3.2, Türkiye toplam birincil enerji arzı, üretimi, ithalatı ve ihracatı miktarlarını göstermektedir. 1990-2022 yılları arasındaki 32 yılda; ülkemizin toplam enerji üretimi %103.2 oranında, toplam enerji arzı ise %200.6 oranında artmıştır. Aynı dönemde toplam enerji ithalatı ise %307.5 oranında, enerji ihracatı ise %419 oranında artış göstermiştir. Türkiye'nin toplam enerji arzında dışa bağımlılığı, 1990'da %52 iken, 2002 yılında %68, 2010'da %70 ve 2015 yılında %76'ya kadar yükselmiştir. Son yıllarda özellikle güneş, rüzgâr ve jeotermaldeki artış ile 2020'de %70'e, 2022'de %68'e gerilemiştir (MMO, 2024). Enerji güvenliği ve güvenilirliğini sağlamak için enerji üretiminin artırılması ve yerli enerji arzının karşılama oranının yükseltilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Çizelge 3.2: Türkiye toplam birincil enerji arzı, üretimi, ithalatı ve ihracatı (ETKB/EİGM, 2022; Yılmaz, 2024)

	1990	2002	2010	2020	2021	2022
Toplam Birincil Enerji Arzı (MTEP)	52.5	77.1	105.9	147.2	159.4	157.8
Toplam Birincil Enerji Üretimi (MTEP)	25	24.4	31.5	44.1	46.7	50.8
Toplam Birincil Enerji İthalatı (MTEP)	30.7	57.2	84.6	114.3	124.3	125.1
Toplam Birincil Enerji İhracatı (MTEP)	2.1	3.2	7.9	8.8	9	10.9
Toplam Birincil Enerji Üretimi / Toplam Birincil Enerji Arzı (%)	47.6	31.6	29.7	29.8	29.3	32.2

Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların miktar ve payları Çizelge 3.3'de verilmiştir. 2022 yılındaki toplam üretimin %39'unu, %90'ı linyit olan kömür üretimi oluşturmuştur. Kömürü %23 oranı ile jeotermal, %11 payı ile hidrolik, %9 payı ile biyoyakıt, %7 payı ile petrol, %6 ile rüzgâr, %4 ile güneş ve %1 payı ile doğalgaz izlemiştir (Yılmaz, 2024).

Çizelge 3.3: Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların miktar ve payları (2022 Yılı) (TMMOB, 2024).

Enerji Türü	Miktar (MTEP)	Pay (%)
Kömür	19.6	39
Jeotermal	11.5	23
Hidrolik	5.7	11
Biyoyakıt	4.5	9
Petrol	3.8	7
Rüzgâr	3.0	6
Güneş	2.3	4
Doğalgaz	0.3	1
Toplam	50.7	100

Çizelge 3.4'te 2020-2035 yılları kaynaklara göre birincil enerji tüketimi arzları ve toplam enerji arzı içindeki payları beşer yıllık periyotlar halinde verilmiştir. Ülkemizin 2020 yılında birincil enerji tüketimi 147,2 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Ulusal Enerji Planı

2022'ye göre birincil enerji tüketimi 2025 yılında 177,0 MTEP; 2030 yılında 199,0 MTEP; 2035 yılında 205,3 MTEP olarak gerçekleşecektir. Birincil enerji tüketimi 2000-2020 döneminde yıllık ortalama %3,1 oranında artış göstermiştir; 2020-2035 döneminde ise %2,2 düzeyinde artması öngörülmektedir. 2020 yılında 1,7 TEP/kışı olan kışı başı birincil enerji tüketimi 2035 yılında 2,1 TEP/kışı düzeyine çıkmaktadır. Birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2020 yılında %16,7 iken 2035 yılında %23,7 düzeyine yükselmektedir. Nükleer enerjinin ise 2035 yılına kadar %5,9'luk paya ulaşması öngörülmektedir. Fosil kaynakların payı 2020 yılında %83,3 iken 2035 yılında %70,4 oranına kadar azalmaktadır" (ETKB/EİGM, 2022; Yılmaz, 2024).

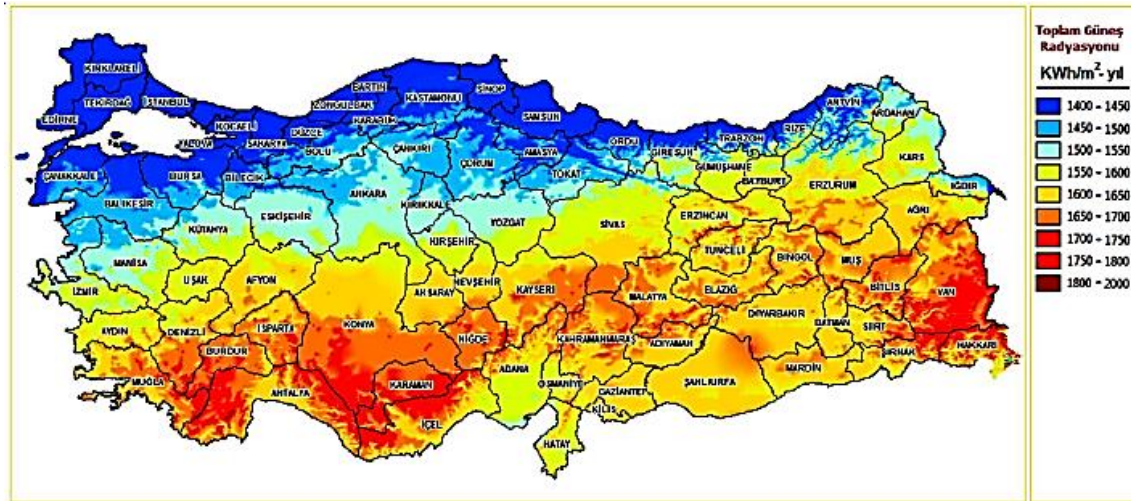
Çizelge 3.4: Kaynaklara göre birincil enerji tüketimi (ETKB, 2022).

Kaynaklar	2020		2025		2030		2035		2020-2035 Artışı (%)	
	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz (Bin TEP)	TEA Payı (%)	Arz Mikt. Değişim (%)	TEA Payı (%)
Kömür	40,6	27,6	47,0	26,6	47,9	24,1	43,9	21,4	8,1	-6,5
Petrol	42,2	28,7	50,5	28,5	54,8	27,5	54,5	26,5	29,2	-2,2
Doğalgaz	39,8	27,0	42,9	24,2	47,7	23,9	46,2	22,5	16,1	-4,5
Yenilenebilir	24,6	16,7	32,6	18,4	40,6	20,4	48,7	23,7	98,0	7,0
Nükleer	0	0	4,0	2,3	8,0		12,0	5,9	5,9	2,9
Toplam Enerji Arzı	147,2		177,0		199,0		205,3			

3.2. Van İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerji Santralleri

3.2.1. Van ili güneş enerjisi potansiyeli

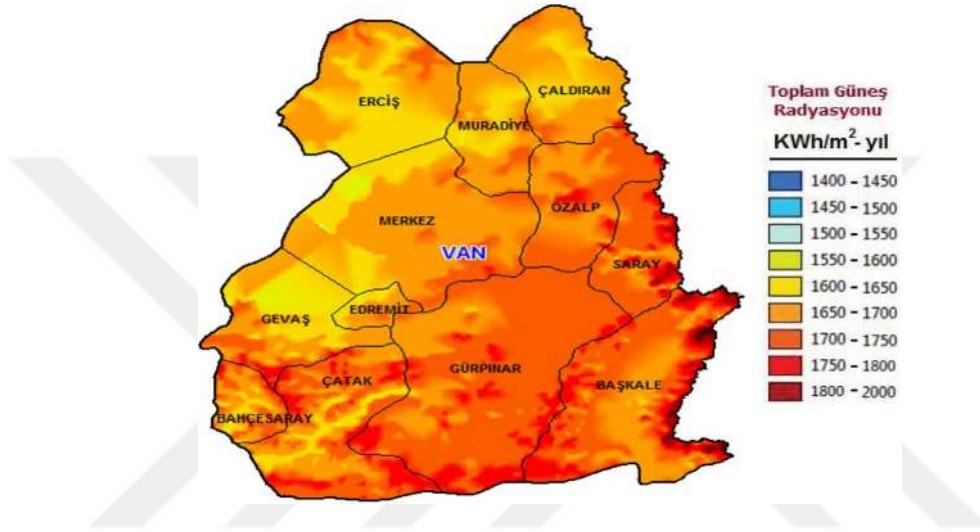
36°-42° kuzey paralelleri ile 26°- 45° doğu meridyenleri arasında yer alan Türkiye, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat, ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1,527.46 kWh/m² değerindedir (GEPA, 2025).



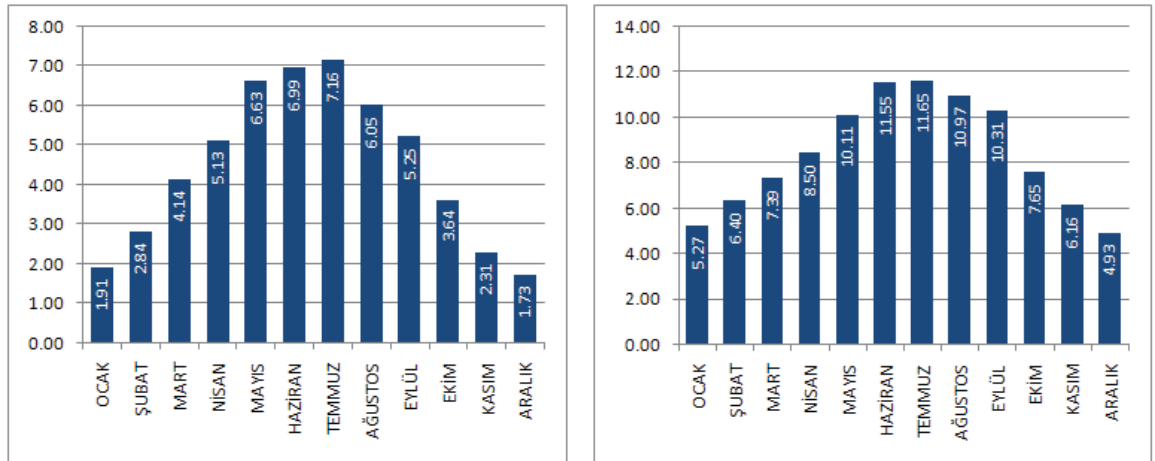
Şekil 3.1: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2025).

Şekil 3.2’de Van ili güneş enerjisi potansiyeli atlası, Şekil 3.3’de Van ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir. Şekil 3.2’de verilen güneş enerjisi potansiyeli atlasında kahverengi, koyu ve açık kırmızı renkler güneş enerjisi global radyasyon değerlerinin yüksek olduğu alanları göstermektedir. Haritada bu renklerin yaygın olması Van ilinde global radyasyon değerlerinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Van ilinin güney bölgelerine doğru global güneş radyasyonunun arttığı görülmektedir. Van ili için aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerlerini gösteren Şekil 3.3a incelendiğinde global radyasyon değerinin en yüksek olduğu ayın $7.16 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Temmuz ayı, en düşük olduğu ayın $1.73 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile Aralık ayı olduğu görülür. Aylık bazda ortalama günlük ışıınım şiddeti $4.48 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ olarak belirlenmiştir, bu değer 365 ile çarpılırsa yıllık ortalama toplam global radyasyon değerinin $1,635.20 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ olduğu görülür. Bu değer ortalama yıllık toplam ışıınım değeri $1,527.46 \text{ kWh/m}^2$ olan Türkiye’nin oldukça üzerinde bir değerdir ve Van ilinin Türkiye’de güneş enerjisi global radyasyon değerinin en yüksek olduğu bölgelerden birisi olduğunu göstermektedir. Aylık bazda ortalama güneşlenme sürelerini veren Şekil 3.3b incelendiğinde güneşlenme süresinin en yüksek olduğu ayın 11.65 saat ile Temmuz ayı, en düşük olduğu ayın 4.93 saat ile Aralık ayı olduğu görülür. Aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süresi 8.41 saat-gün olarak belirlenmiştir, bu değer 365 bile çarpılırsa yıllık ortalama toplam güneşlenme süresinin ise 3,068.65 saat-yıl olduğu görülür. Bu değer yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat olan Türkiye’nin oldukça üzerinde bir değerdir ve Van ilinin Türkiye’de yıllık toplam güneşlenme süresinin yüksek olduğu bölgelerden birisi olduğunu göstermektedir (Sarıkaya, 2010; Aydıncioğlu, 2019). Van, yıllık toplam 3,068 saatlik güneşlenme süreleri ile Türkiye’nin en çok güneşlenen 2. ili iken $1,635.20 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ’lık ışıınım değeri bakımından ise 3. sırada yer almaktadır (Yaman

ve diğ, 2019). Bu değerler güneş enerjisi üretimi için uygun koşullar sunmaktadır. Eski ismi Tuşba (Güneş Şehri) olan Van'da GES kurulumu için yeterli alan mevcuttur. Van-Gevaş arası, Akdamar Adası ve farklı lokasyonlarda GES bulunmaktadır (Rüstemli ve Dinçer, 2011; Yaman ve diğ, 2019; DAKA, 2019; Matpay, 2024). Öte yandan 6094 Sayılı Kanun ile izin verilen 600 MW'lık Lisanslı GES (Güneş Enerjisi Santrali) kotası 28 ile tahsis edilmiş ve iller arasında verilen en yüksek (77 MW) ikinci kota Van İline verilmiştir. Van'da 4000 ha alana sahip Van Güneş Enerjisi İhtisas Endüstri Bölgesi Projesi'nin başlanması için çalışmalar devam etmektedir (DAKA, 2023).



Şekil 3.2: Van ili güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2024).



(a) Van ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün).

(b) Van ili güneşlenme süreleri (saat).

Şekil 3.3: Van ili global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (GEPA, 2024).

3.2.2 Van ili güneş enerji santralleri

Çizelge 3.5'te Van ilinde işletmedeki GES santralleri, Çizelge 3.6'da ön lisans alan GES santralleri sunulmuştur. Van'daki GES'nin kurulu gücü 121.35 MW iken, ön lisans alan GES'lerin gücü ise 294 MW'dır. Van ilindeki toplam GES gücü 415 MW'dır (Çizelge 3.7). Van'ın kurulu güç açısından en büyük güneş enerji santrali Van'ın Tuşba ilçesi Arısu Mahallesi bölgesinde bulunan "Van Arısu GES" dir. 45 MWe kurulu gücü ile Türkiye'nin 320. Van'ın ise 2. büyük enerji santrali olan "Van Arısu GES", ayrıca Türkiye'nin 9. büyük Güneş Enerji Santrali'dir. Santral 32,517 konutun elektrik enerjisi gereksinimini karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır. Panellerin güneş takip sistemli olduğu "Van Arısu GES", 2023 yılında Van ili elektrik tüketiminin %7.9'unu karşılamıştır.

Çizelge 3.5: Van ilinde işletmedeki GES santralleri (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	Güç (MW)
1	Van Arısu GES	45.00
2	Omicron Engil 208 GES	9.95
3	Omicron Erciş GES	9.95
4	PSI Engil 207 GES	9.95
5	Van YYÜ GES	0.35
6	Çatak Belediyesi GES	0.15
7	Van'daki diğer lisanssız GES'ler	46
	Toplam	121.35

Çizelge 3.6: Van ilinde ön lisans alan GES santralleri (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	Güç (MW)
1	Spon Van GES	64
2	Alabayır 2 GES	40
3	Erciş 2 GES	40
4	Yumrutepe GES	30
5	Zümrüt GES	25
6	G3 Van 1-2 GES	20
7	G3 Van 2-1 GES	20
8	Erciş 5 GES	20
9	Karluna Enerji Van GES	15
10	G3 Van 3-1 GES	10
11	Başkale 2 GES	10
	Toplam	294

Çizelge 3.7: Van ilinde güneş enerji santralleri (MWe) (Enerji Atlası, 2025).

İl	Kurulu Güç	İnşaHalinde	Lisans Alınan	Ön Lisans Alınan	Toplam
Van	121	0	0	294	415

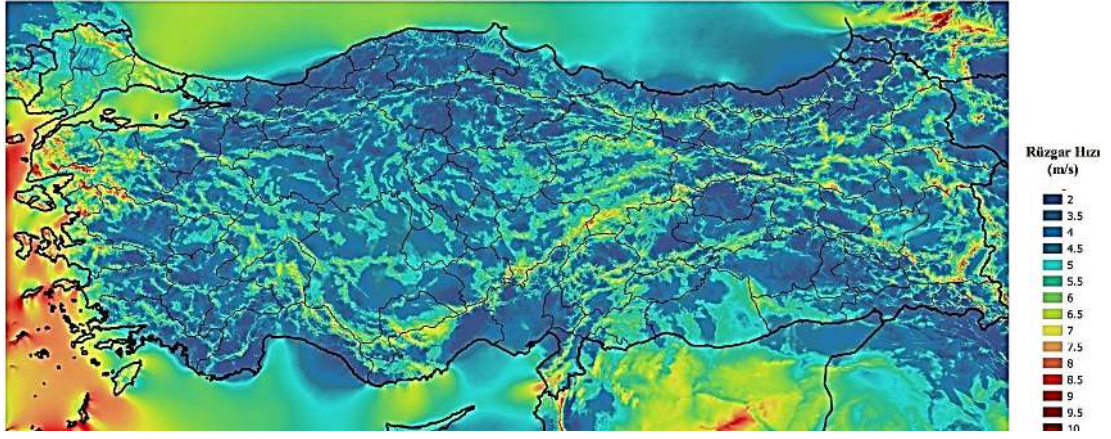
3.3 Van İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Rüzgâr Enerji Santralleri

3.3.1 Van ili rüzgâr enerjisi potansiyeli

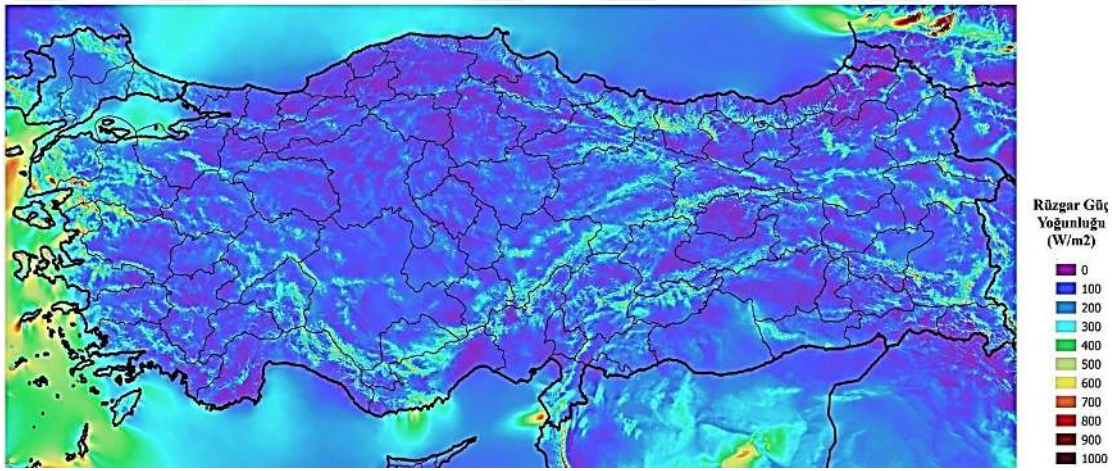
Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımını gösteren Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi Türkiye, rüzgâr açısından zengin bölgelere sahip bir ülkedir. EİGM'ye göre "Rakımı 0-3.000 metre arasında olan ve yer seviyesinden 100 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 6.5 m/s değerinden fazla olduğu rüzgâr santrali kurulabilir niteliklerdeki tüm karasal alanların her bir kilometrekare büyüklüğündeki kısmına 5.3 MW gücündeki rüzgâr türbinlerinin kurulması halinde toplam 57,786 MW gücünde karasal rüzgâr santrallerinin işletmeye alınabileceği değerlendirilmektedir. Deniz seviyesinden 100 metre yüksekliğindeki yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 7.5 m/s den fazla ve deniz derinliğinin 0 - 200 metre arasındaki tüm deniz üstü sahaların 8.0 MW gücündeki rüzgâr türbinleri ile değerlendirilmesi halinde toplam 20,788 MW kapasitesinde deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulabileceği değerlendirilmektedir" (EİGM, 2025). Şekil 3.5, Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımını, Şekil 3.6 Türkiye için kapasite faktörü dağılımını vermektedir.

Şekil 3.7 Van ili için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımını, Şekil 3.8 Van ili için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımını, Şekil 3.9 Van ili için kapasite faktörü dağılımını göstermektedir. Van ili için minimum/maksimum/ortalama rüzgâr hızı değerleri Çizelge 3.8'de, minimum/maksimum/ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değerleri Çizelge 3.9'da, minimum/maksimum/ortalama kapasite faktörü değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

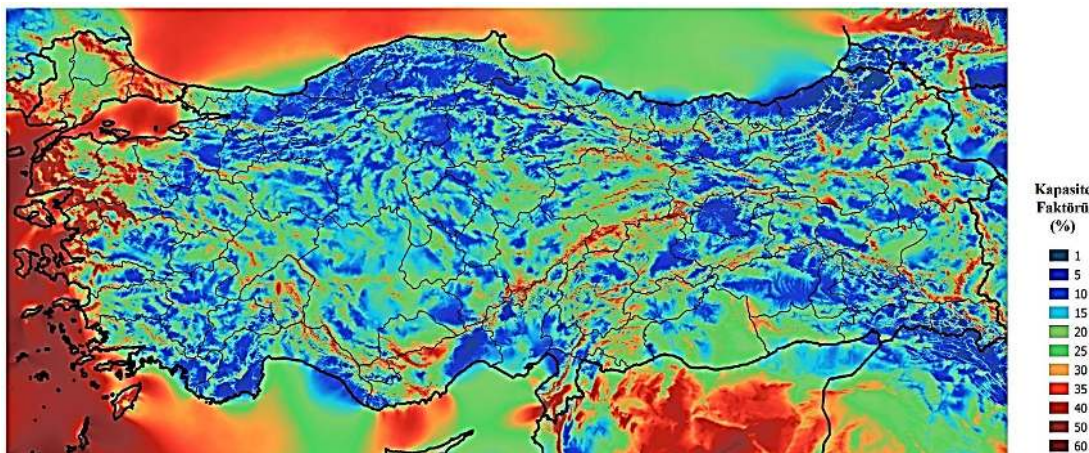
Doğu Anadolu Bölgesi'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli düşük olarak görülse de Van ili diğer Doğu illerine nazaran RES Santrali yatırımları ve rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından ilk sıralardadır. Buna örnek olarak son yıllarda Van Gevaş ilçesinde yapılan rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi panelleri yatırımları örnek olarak gösterilebilir. Yayla ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgâr hızı ve ilgili parametrelerin ortalamasının Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu belirlenmiştir.



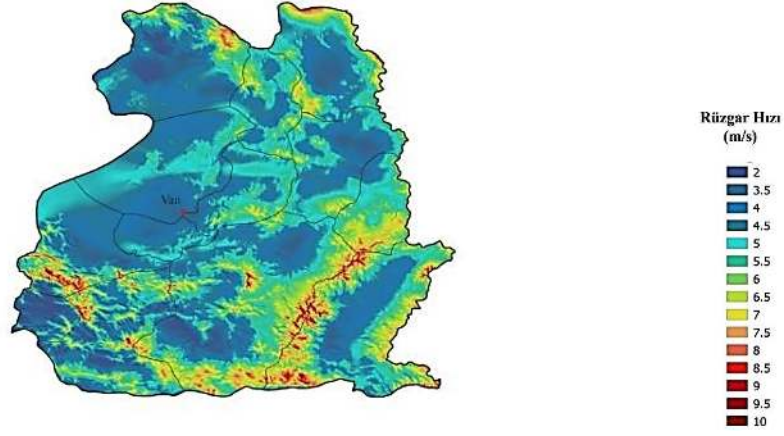
Şekil 3.4: Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).



Şekil 3.5: Türkiye için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).



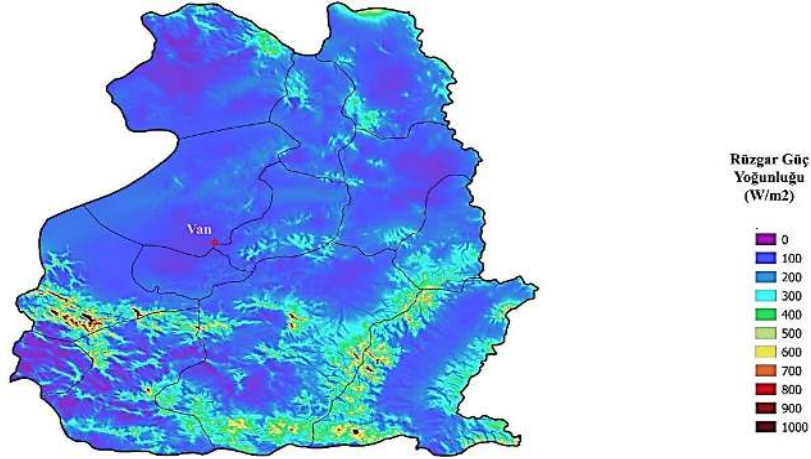
Şekil 3.6: Türkiye için kapasite faktörü dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).



Şekil 3.7: Van ili için yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).

Çizelge 3.8: Van ili için minimum/maksimum/ortalama rüzgâr hızı değerleri (REPA, 2025).

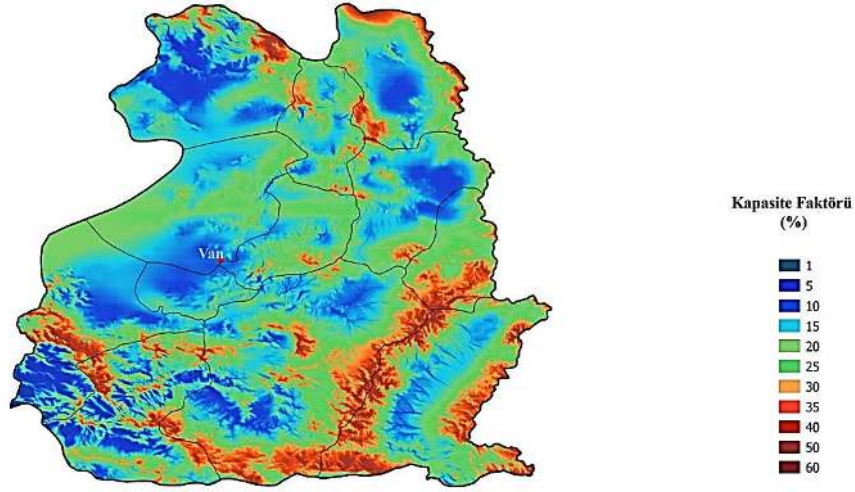
Minimum rüzgâr hızı (m/s)	1.32
Maksimum rüzgâr hızı (m/s)	10.33
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	4.98
Varyans	1.28
Standart Sapma	1.13



Şekil 3.8: Van ili için yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).

Çizelge 3.9: Van ili için minimum/maksimum/ortalama güç yoğunluğu değerleri (REPA, 2025).

Minimum güç yoğunluğu (W/m²)	4.55
Maksimum güç yoğunluğu (W/m²)	1,426.43
Ortalama güç yoğunluğu (W/m²)	180.47
Varyans	11,761.40
Standart Sapma	108.45



Şekil 3.9: Van ili için kapasite faktörü dağılımı – 100 Metre (REPA, 2025).

Çizelge 3.10: Van ili için minimum/maksimum/ortalama kapasite faktörü değerleri (REPA, 2025).

Minimum kapasite faktörü (%)	0.39
Maksimum kapasite faktörü (%)	51.64
Ortalama kapasite faktörü (%)	20.50
Varyans	64
Standart Sapma	8.00

3.3.2 Van ili rüzgâr enerji santralleri

Çizelge 3.11’de Van ilinde işletmedeki Rüzgâr Enerji Santralleri, Çizelge 3.12’de ön lisans alan Rüzgar Enerji Santralleri verilmiştir. Van’daki RES’nin kurulu gücü 50 MW iken, ön lisans alan RES’lerin gücü ise 30 MW’dır. Hâlihazırda Gevaş ilçesinde 50 MW kapasitede işletmede olan “Bağlama RES” rüzgâr enerji santrali bulunmaktadır. Çatak ilçesinde 30 MW kapasitede “R3 Van 2 RES” santrali ön lisans almıştır. Çizelge 3.13 Van ili için rüzgâr enerji santrali potansiyeli verilerini göstermektedir. Van ili için rüzgâr enerji santrali teorik potansiyelinin 152 MW olduğu belirlenmiştir (REPA, 2025). Doğu Anadolu Bölgesi’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli düşük olarak görülse de Van ili diğer Doğu illerine nazaran RES Santrali yatırımları ve rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından ilk sıralardadır. Buna örnek olarak son yıllarda Van Gevaş ilçesinde yapılan rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi panelleri yatırımları örnek olarak gösterilebilir.

İşletmedeki Bağlama Rüzgâr Enerji Santrali Gevaş ilçesi, Balaban mevkiinde bulunmaktadır. 2.900 m rakıma sahip bölgede kurulu RES Türkiye’de en yüksek rakımda

kurulan rüzgâr santralidir. 50 MWe kurulu gücü ile Türkiye'nin 269. Van'ın ise en büyük enerji santrali olan Bağlama RES, ayrıca Türkiye'nin 80. büyük Rüzgar Enerji Santrali'dir. 14 adet GE rüzgâr türbininin kullanıldığı santral kısmen devreye alınmış olup tam kapasite ile üretime geçtiğinde 122 MWe kurulu güce ulaşacaktır. Bağlama RES 51,527 konutun elektrik enerjisi gereksinimini karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır. 2023 yılında Van ili elektrik tüketiminin %7.9'unu karşılamıştır.

Çizelge 3.11: Van ilinde işletmedeki Rüzgâr Enerji Santralleri (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
1	Bağlama RES	Gevaş	50
	Toplam		50

Çizelge 3.12: Van ilinde ön lisans alan Rüzgâr Enerji Santralleri (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
1	R3 Van 2 RES	Çatak	30
	Toplam		30

Çizelge 3.13: Van ili için rüzgâr enerji santrali potansiyeli verileri (Enerji Atlası, 2025).

İl	Teorik Potansiyel	Devrede	İnşaat	Lisans Alınan	Ön Lisanslı	Toplam İşlem	İşlem/Teorik Oranı
Van	152	50	72	0	30	152	100 %

3.4 Van İli Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Jeotermal Enerji Santralleri

3.4.1 Van ili jeotermal enerji potansiyeli

Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası Şekil 5'de verilmiştir. Oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip ülkemizde yüksek potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde bulunmaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %90'ının düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan ısı eldesine yönelik uygulamalara (ısıtma, termal turizm, endüstriyel uygulamalar vb.), %10'unun ise elektrik enerjisi üretimine uygun olduğu değerlendirilmektedir. Ülkemizde jeotermal elektrik üretimine 1975 yılında Kızıldere JES (0,5 MWe) ile başlanılmıştır. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü çalışmalarına göre;

Van ilinde, jeotermal kaynak aramaları için ilk çalışmalara MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1988 yılında başlanılmış, günümüze kadar 6 sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm bu sondaj çalışmaları kapsamında toplam 3.350 metre sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. 60-98°C aralığında sıcaklığa ve 110 l/s toplam debiye ulaşan jeotermal su elde edilmiştir (DAKA, 2023). Bu sondaj kuyularından 4 adedi Erciş-Zilan jeotermal alanında bulunmaktadır. MTA tarafından açılan bu sondaj kuyularında elde edilen jeotermal suyun sıcaklıkları 80 ila 98°C, debileri ise 4 ila 40 l/s aralığında değişmektedir. Çaldıran-Ayrancılar/Muradiye jeotermal alanında 1 adet sondaj kuyusu açılmış olup çıkarılan suyun sıcaklığı 83°C, debisi, 15 l/s'dir. Özalp Çaybağı sahasında yapılan 1 adet sondaj kuyusunda ise 75 °C sıcaklığında jeotermal sıcak su elde edilmiştir. Söz konusu her üç jeotermal alan yatırımcılara devredilmiştir.

Van ili jeotermal kaynakları düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan ısı eldesine yönelik uygulamalarda kullanılmaktadır. Elde edilen jeotermal su sıcaklıkları doğrudan elektrik enerjisi üretimine uygun olmadığından Van ilinde kurulu jeotermal enerji santrali bulunmamaktadır.

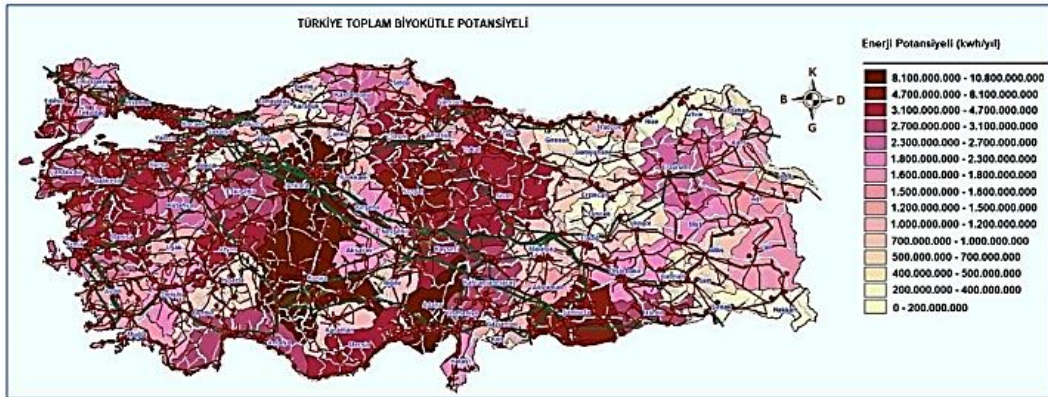


3.5 Van İli Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Biyokütle Enerji Santralleri

3.5.1 Van ili biyokütle enerji potansiyeli

Biyokütle, yeşil yakıta veya biyogaza dönüştürülebilen biyolojik, bitkisel veya hayvansal kökenli biyolojik olarak parçalanabilir organik maddedir. Ayrıca belediye atıklarından ve su arıtma tesislerinden gelen kanalizasyon ve çamurdan oluşan biyolojik olarak parçalanabilir atık materyallerden de oluşabilir. Biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kitlesi olan biyokütlenin temel bileşenleri karbo-hidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddelerdir.

Ülkemiz güneş potansiyeli, tarımsal alan, su kaynakları ve iklim şartları açısından biyokütle enerjisi için bol miktarda kaynak sunabilecek uygun koşullara sahiptir. Ülkemizin biyokütle kaynaklarının genel olarak hayvansal atık, bitkisel atık, belediye atıkları, orman atıkları vb. maddelerden oluştuğu göz önüne alındığında biyokütle enerji potansiyeli dağılımı Şekil 3.11'deki gibi görünmektedir (Toklu, 2017).



Şekil 3.11: Türkiye toplam biyokütle potansiyeli (kWh/yıl) (Toklu, 2017).

Türkiye'de bulunan kayıtlı 187 adet “Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri” nin toplam kurulu gücü 2.414 MW'dır. 2021 yılında “Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri” ile 7.371.770.000 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır. Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre toplanabileceği öngörülen artık ve atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık “3,9 MTEP/yıl” dır (EİGM, 2025).

Çizelge 3.14 Van ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir. Yüz ölçümü bakımından Türkiye'nin altıncı büyük ili olan Van, ülke topraklarının yaklaşık % 2,50'sine sahiptir. Toplam 2.100.300 ha olan Van ili arazisi incelendiğinde %17,72'sinin tarım arazisi, %64,71'inin çayır-mera, %1,25'ini orman-fundalık ve %16,32'sinin tarım dışı arazilerden

oluştugu görülmektedir (DAKA, 2014). ETKB Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü tarafından hazırlanan Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlasına göre bu işletmelerin yıllık 3,68 milyon ton atık potansiyeli bulunmakla birlikte bu atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyelinin ise yıllık 485 bin TEP olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 3.14: Van ili biyokütle enerji potansiyeli (BEPA, 2025).

Bileşenler	Veriler
“Nüfus”	1,11, 087
“Hayvan Sayısı” (adet)	3,279,904
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	4,123,000
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	21,149
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	5,230
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	2,159,435
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	159,748
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	66,500
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3,830
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	328,145
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	35,450
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	5,108
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1,750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354
“Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar”	0
“Biyometanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar”	0
“Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı”	1
“Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	123,453

3.5.2 Van ili biyokütle enerji santralleri

Van ilinde kayıtlı bir adet Biyogaz Enerji Santrali bulunmaktadır (Enerji Atlası, 2025). Panda Van Elektrik Santrali, 12.73 MWe kurulu güce sahip olarak elektrik üretmektedir. Santral; depolama alanı, ayıklama tesisi (mekanik ayırma tesisi), tıbbi atık sterilizasyon tesisi, 7 adet transfer (aktarma) istasyonu ve biyometanizasyon tesisi bölümlerinden oluşmaktadır. Depo gazı ve biyometanizasyon tesisinde üretilen biyogaz kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Geri kalan ısı enerjiden elde edilen ısı enerjisi, fermantasyon işleminin gerçekleştirildiği reaktörlerin gereksinimi olan ısı enerjisiyi karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.

3.6 Van İli Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Hidroelektrik Enerji Santralleri

3.6.1 Van ili hidroelektrik enerji potansiyeli

Türkiye’nin 2023 yılı sonu itibarıyla geliştirilen hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 48,094 MW’lık güce ulaşmıştır; bu ise 160 milyar kWh/yıl enerji üretimine karşılık gelmektedir.

2023 yılında hidroelektrik enerjide kurulu güç 32,379 MW'a yükselmiştir. Bu kurulu gücün %44.3'ü DSİ tarafından geliştirilen ve inşa edilen HES'lerden gerçekleştirilmiştir. Enerji üretim potansiyeli, 2002 yılında 44 milyar kWh iken son 21 yılda Devlet - özel sektör işbirliği ile yaklaşık 111.8 milyar kWh'e çıkarılmıştır. 2023 yılı itibariyle toplam enerji santrali güç kapasitesi içerisinde hidroelektriğin payı %30.2, toplam yenilenebilir kaynakların payı ise %55.3 olmuştur (DSİ, 2023).

Van ili ile ilgili genel coğrafik ve hidrolojik verileri Çizelge 3.15'te verilmiştir. Van ili su kaynakları arasında "Karasu Çayı (150.77 hm³/yıl)", "Gevaş Suyu (30.07 hm³/yıl)", "Deliçay (104.48 hm³/yıl)", "Memedik Deresi (20.81 hm³/yıl)", "Güzelsu Deresi (136.80 hm³/yıl)", "Zilan Çayı (327.97 hm³/yıl)", "Çatak Çayı (1,367.30 hm³/yıl)", "Müküs Çayı (480.77 hm³/yıl)" ve "Bendimahı Çayı (301.20 hm³/yıl)" bulunmaktadır. Parantez içerisindeki değerler il çıkışı toplam ortalama akım değerlerini göstermektedir. Bu kaynakların toplam yerüstü su potansiyeli "2,921.97 hm³/yıl" olarak belirlenmiştir. "138.69 hm³/yıl" değerindeki yeraltı su potansiyeli eklendiğinde Van ili için toplam su potansiyeli "3,060.66 hm³/yıl" olmaktadır (DAKA, 2023).

Van ili ortalama yıllık yağış miktarı ve ortalama akış verimi bakımından TRB2 bölgesi (Bitlis, Hakkari, Muş, Van) içerisinde en düşük değere sahip ildir. Bununla birlikte bölgede en yüksek yüzölçümüne sahiptir ve hidrometrik ölçümleri yapılan su kaynakları potansiyeli bakımından Muş İli'nden sonra ikinci sırada bulunmaktadır. 1367 hm³/yıl ortalama akım değeri olan Çatak çayı, TRB2 bölgesinde yıllık ortalama akımı en yüksek olan üçüncü akarsudur (DAKA, 2023).

Çizelge 3.15: Van ili coğrafik ve hidrolik verileri (DAKA, 2023).

Parametre	Değer
"Yüzölçümü"	21,003 km ²
"Rakım"	1,726 m
"Yıllık Ortalama Yağış"	384.2 mm
"Ortalama Akış Verimi"	4.9 l/s/km ²
"Ortalama Akış/Yağış Oranı"	40 %

3.6.2 Van ili hidroelektrik enerji santralleri

Çizelge 3.16 Van ilinde işletmedeki HES santrallerini vermektedir. Van ilinde toplam kurulu gücü 75 MWe olan 9 hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Bu santraller "Muradiye Ayrancılar HES", "Koçköprü Barajı ve HES", "Zilan Regülatörü ve HES", "Sarı 3 HES",

“Engil HES”, “Hoşap Barajı ve HES”, “Sarımehmet HES”, “Morgedik Regülatörü ve HES” ve “Erciş HES” santralleridir.

Van’da hidroelektrik kurulu güç bakımından ilk sırada yer alan “Muradiye Ayrancılar HES”, Muradiye ilçesinde Bendimahi Çayı üzerinde kuruludur. 41.45 MWe kurulu gücü ile Türkiye'nin 341. Van'ın ise 3. en büyük enerji santrali olan “Muradiye Ayrancılar HES”, ayrıca Türkiye'nin 128. büyük Hidroelektrik Enerji Santrali'dir. “Muradiye Ayrancılar HES” 37,065 konutun elektrik enerjisi gereksinimini karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır. 2023 yılında yaklaşık 55,750 MWh elektrik üreten santral Van’ın elektrik gereksiniminin %7.9’unu karşılamıştır. “Koçköprü Barajı ve HES” Van’ın Erciş ilçesinde Zilan Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Hidroelektrik kurulu güç bakımında Van’da ikinci sırada bulunan “Koçköprü Barajı ve HES”, 8.39 MWe kurulu gücü ile Türkiye'nin 1006. Van'ın ise 8. büyük enerji santralidir. Tesis ayrıca Türkiye'nin 420. büyük Hidroelektrik Santrali'dir. Santral ortalama 27,031,000 kilovatsaat elektrik üretimi ile 7,442 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir (Enerji Atlası, 2025).

Çizelge 3.16: Van ilinde işletmedeki hidroelektrik santraller (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
1	Muradiye Ayrancılar HES	Muradiye	41.45
2	Koçköprü Barajı ve HES	Erciş	8.39
3	Zilan Regülatörü ve HES	Erciş	6.07
4	Saral 3 HES	Çatak	5.40
5	Engil HES	Edremit	4.50
6	Hoşap Barajı ve HES	Gürpınar	3.38
8	Sarımehmet HES	Muradiye	3.10
8	Morgedik Regülatörü ve HES	Erciş	2.03
9	Erciş HES	Erciş	0.78
	Toplam		75

Van’da ön lisans alan ve yapımı planlanan hidroelektrik santraller sırasıyla Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18’de verilmiştir. Van’da ön lisans alan “Pervari A Barajı ve HES”, “Tügsüs Regülatörü ve HES” bulunmaktadır. Ön lisans alan HES’lerin toplam gücü 83 MW’dır. Öte yandan Van ilinde yapımı planlanan toplam gücü 274 MW olan 9 adet HES bulunmaktadır. Bu santraller “Tellikaya Regülatörü ve HES”, “Çatak Deliktaş HES”, “Botan Narlı Barajı ve HES”, “Karasu Barajı ve HES”, “Konalga Regülatörü ve HES”, “Beşik HES”, “Başkale Sarıtaş HES”, “Ak HES” ve “Yakut HES” dir. Van ilinde işletmedeki hidroelektrik santraller ile birlikte ön lisans alan hidroelektrik santraller ve planlanan hidroelektrik santrallerin devreye girmesi ile Van’da hidro kaynaklı toplam kurulu güç yaklaşık 432 MW olacaktır.

Çizelge 3.17: Van ilinde ön lisans alan hidroelektrik santraller (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
1	Pervari A Barajı ve HES	Bahçesaray	66
2	Tüğsüs Regülatörü ve HES	Bahçesaray	17
	Toplam		83

Çizelge 3.18: Van ilinde planlanan hidroelektrik santraller (Enerji Atlası, 2025).

	Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
1	Tellikaya Regülatörü ve HES		71.00
2	Çatak Deliktaş HES		50.00
3	Botan Narlı Barajı ve HES	Çatak	36
4	Karasu Barajı ve HES		30.00
5	Konalga Regülatörü ve HES	Çatak	29.00
6	Beşik HES	Bahçesaray	23.00
7	Başkale Sarıtaş HES	Başkale	19.00
8	Ak HES		12.00
9	Yakut HES	Erciş	4.54
	Toplam		274

4. HİBRİT (GÜNEŞ/RÜZGÂR) ENERJİ SİSTEMLERİ

Yenilenebilir enerji, sürekli olarak doğal süreçlerden elde edilen bir enerji türüdür. Bu tür enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi bulunur. Yenilenebilir enerji kaynakları, tüketim ya da kullanım gerektirmeyen enerji akışlarıdır. Örneğin, güneş ışığı güneş kullanılsa da devam eder; rüzgâr ise, rüzgâr enerjisi kullanılsa da eser. Bu doğal süreçler insan müdahalesiyle yok edilemez. En yaygın ve bilinen yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir.

4.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına kıyasla en bol bulunan kaynaktır ve bulutlu havalarda dahi kullanılabilir. Dünya'nın güneşten aldığı enerji miktarı, insanlık tarafından tüketilen enerjinin yaklaşık 10,000 katıdır. Solar teknolojiler; ısıtma, soğutma, doğal aydınlatma, elektrik ve çeşitli yakıtlar üretmek için kullanılabilir. Güneş ışığı, fotovoltaik paneller aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür veya aynalar kullanılarak yoğunlaştırılır.

Her ülke güneş enerjisi açısından eşit derecede zengin olmasa da, birçok ülke doğrudan güneş enerjisi ile önemli katkılarda bulunabilir. Son yıllarda güneş panellerinin üretim maliyeti büyük ölçüde düştü, bu da onları hem ekonomik hem de sıklıkla en uygun maliyetli elektrik kaynağı yaptı. Güneş panelleri yaklaşık 30 yıl ömre sahiptir ve kullanılan malzemeye bağlı olarak çeşitli renklerde olabilirler.

Güneş enerjisi, doğada bol miktarda bulunan ve tükenmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Elektrik üretmek için fosil yakıtların yakılması gibi çeşitli yöntemler kullanılsa da, bu yöntemler ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunları hafifletmek için rüzgar ve güneş enerjisi gibi doğada bedava bulunan kaynakları kullanabiliriz. Güneş pili, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren temel cihazdır.

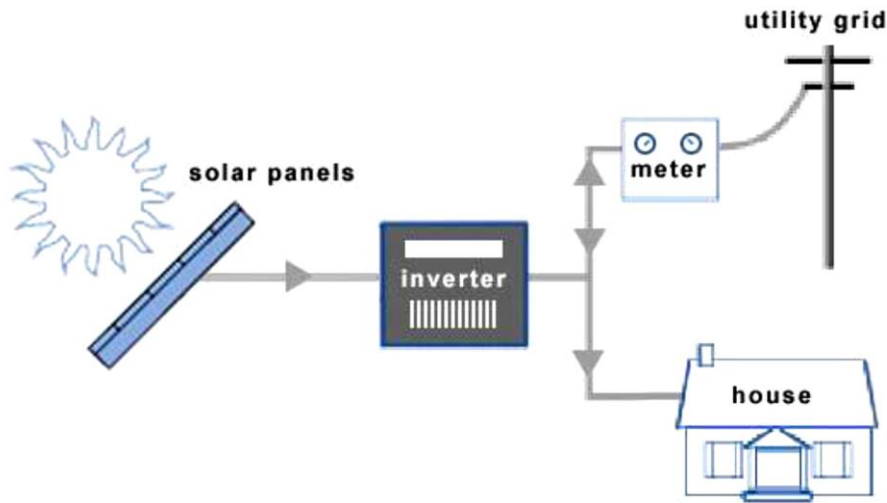
Bu bağlamda, güneş enerjisi üretim yöntemleri olan şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi, şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi ve hibrit güneş enerjisi sistemleri ele alınmaktadır.

4.1.1 Şebekeye bağlı güneş enerjisi (on-grid solar) sistemleri

Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemi, diğer adıyla şebekeye bağlantılı veya şebeke beslemeli güneş enerjisi sistemi, güneş panelleri, evirici (inverter), sayaç ve enerji/şebeke hattından oluşur (Şekil 4.1). Güneş pilleri aracılığıyla elde edilen elektrik enerjisi doğru akımdır. Ancak, çoğu cihazı çalıştırmak için alternatif akım kullanılır. Alternatif akım, evirici aracılığıyla elde edilir ve elektrik sayaçından geçerek cihazlara güç sağlar.

Eğer güneş enerjisi sistemi, ihtiyaç duyulandan fazla enerji üretirse, fazla elektrik şebekeye geri gönderilir ve bu fazla enerji için bir geri ödeme (Feed-in Tariff - FiT) alınabilir. Geceleri veya güneş enerjisi sistemi uygun bir durumda olmadığında, elektrik şebekeden kullanılabilir.

Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisinin dezavantajı, belirli iklim koşullarında veya elektrik şebekesiyle ilgili bir sorun olduğunda, elektriğin hemen kullanımı için depolanamamasıdır. Bu durum, bu sistemin bir eksisi olarak kabul edilir.



Şekil 4.1: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemi.

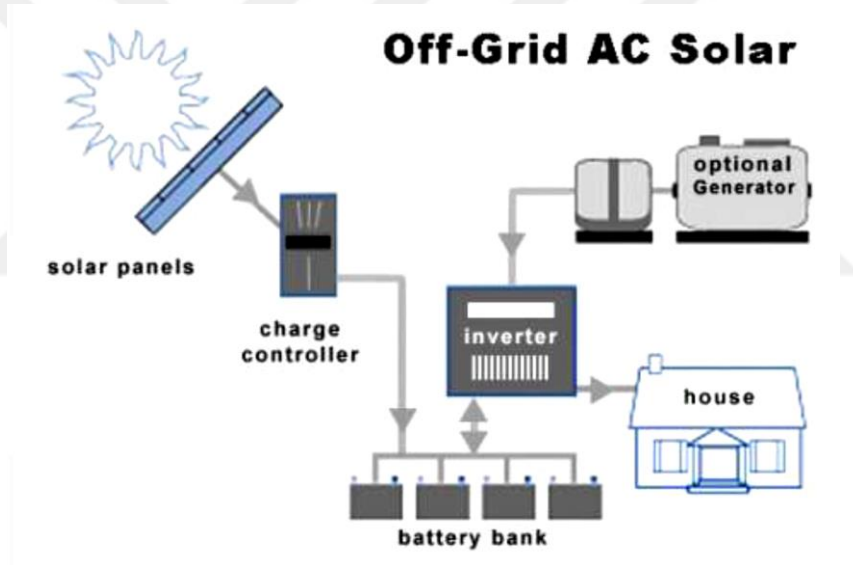
4.1.2 Şebekeden bağımsız güneş enerjisi (off-grid solar) sistemleri

Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemi, bağımsız güç sistemi olarak da bilinir ve elektrik şebekesine bağlı olmaktan ziyade batarya depolama sistemi kullanır. Bu tür

sistemler, şebekeden gelen elektriği minimumda tutar. Sistemin ana bileşenleri güneş pili, evirici ve gerekiyorsa destekleyici bir jeneratörle birlikte batarya bankasını içerir (Şekil 4.2).

Güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesi, güneş pilleri aracılığıyla sağlanır ve elde edilen doğru akım, evirici yardımıyla alternatif akıma dönüştürülür. Elektrik, cihazlara sağlandıktan sonra fazla enerji bataryalarda depolanır ve güneş enerjisi olmadığı durumlarda bu bataryalar yedek güç kaynağı olarak kullanılır. Ancak, elektrik ihtiyacı arttığında ve güneş enerjisi ya da bataryalardan yeterli güç sağlanamadığında, gerekli ihtiyaçları karşılamak zorlaşabilir. Bu sistem, elektrik şebekesine erişimin bulunmadığı kırsal bölgelerde yaşayanlar için daha uygundur.

Şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemlerinin dezavantajlarını aşmak için, bu iki yöntemin birleşiminden oluşan hibrit bir güneş enerjisi sistemi tercih edilebilir.



Şekil 4.2: Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemi.

4.1.3 Hibrit güneş enerjisi (hybrid solar) sistemleri

Hibrit güneş enerjisi, şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemlerinin bir kombinasyonudur. Bu sistem, elektrik şebekesinden enerji tüketmeden batarya yardımıyla güç depolayarak kullanım kolaylığı sağlar ve elektrik maliyetlerini düşürür.

Gündüzleri güneş ışığı elektrik enerjisine dönüştürülür. Fazla enerji bataryalarda depolanır, bu durum şebekeden bağımsız (off-grid) sistemle benzerdir. Eğer bataryalarda fazla güç

depolanmışsa, bu enerji şebekeye geri verilir, tıpkı şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi.

Güneş enerjisi ve elektrik şebekesi sağlanmadığında, bataryalardan enerji kullanılır. Benzer şekilde, batarya yedeği yetersiz kaldığında ve güneş enerjisi bulunmadığında, elektrik şebekesinden kesintisiz enerji sağlanabilir ve batarya yeniden şarj edilebilir.

4.2 Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

Rüzgâr enerjisi, hareket eden havanın kinetik enerjisini kullanarak enerji üretir. Bu, kara üzerinde (karasal) veya deniz ve tatlı su üzerinde (deniz) bulunan büyük rüzgâr türbinleri aracılığıyla sağlanır. Rüzgâr enerjisi binlerce yıldır kullanılmaktadır; ancak son yıllarda, daha yüksek türbinler ve daha geniş rotor çapları ile teknolojiler geliştirilerek elektrik üretimi artırılmıştır. Rüzgâr hızları yerel olarak değişkenlik gösterse de, dünya genelindeki teknik potansiyel, küresel elektrik üretimini aşmaktadır ve birçok bölgede önemli rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi için ideal yerler genellikle uzak bölgelerde bulunur, ancak deniz üzerindeki rüzgâr enerjisi büyük bir potansiyel sunar.

4.2.1 Rüzgâr türbinleri ve çalışma prensibi

Rüzgâr enerji santrali (RES), rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Bu santrallerde yer alan rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini kullanarak rotorları döndürür. Dönen rotor, bir jeneratör aracılığıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.

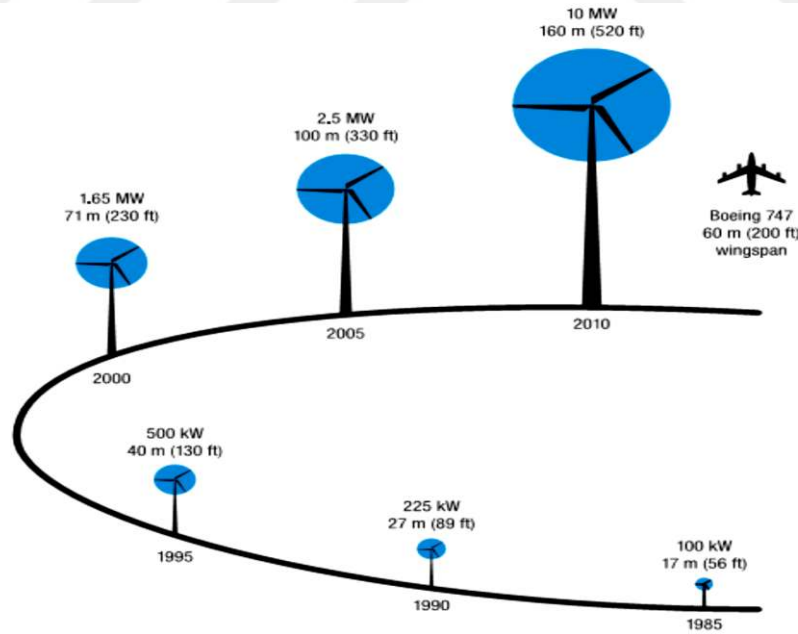
Rüzgâr santralleri genellikle ikiye ayrılır:

- (a) Kara Rüzgâr Santralleri (Onshore): Karada kurulan bu santraller, genellikle rüzgârın güçlü ve sürekli olduğu açık alanlarda, dağlık bölgelerde veya kıyılarda yer alır.
- (b) Deniz Rüzgâr Santralleri (Offshore): Denizde veya okyanusta kurulan bu santraller, deniz üzerindeki daha güçlü ve tutarlı rüzgârları kullanarak daha yüksek verimlilik sağlar.

Rüzgâr enerji santralleri, sürdürülebilir enerji üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan biri olan rüzgâr, çevreye minimum zarar vererek enerji üretir ve fosil yakıtların kullanımını azaltır. Rüzgâr enerji santralleri, karbon salınımını düşürerek iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunur ve enerji güvenliğini artırır.

Son yirmi yılda, dünya genelinde rüzgâr enerjisi üretiminde önemli bir artış olmuştur. İstatistikler, rüzgâr türbinleri ve çiftliklerinin geliştirilmesi ve kurulumu için yapılan yatırımların sürekli olarak arttığını göstermektedir.

Günümüzde rüzgâr enerjisi, su enerjisinden sonra en önemli ikinci yenilenebilir enerji kaynağıdır. Geçmişte rüzgâr santralleri çoğunlukla karada kuruluyordu, ancak günümüzde deniz üzerindeki santraller daha popüler hale gelmektedir. Daha yüksek maliyetine rağmen, deniz üzerindeki kurulumlara olan ilginin artmasının nedeni, daha istikrarlı rüzgâr koşulları ve büyük ölçekli rüzgâr çiftliklerine gruplandırılabilen daha büyük rüzgâr türbinlerinin inşa edilme olasılığıdır. Yeni nesil rüzgâr türbinleri, 1980'lerdeki türbinlere kıyasla daha güvenilirlerdir. Bu, enerji üretiminin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir rol oynaması için gerekli bir koşuldur. Son 30 yılda, rüzgar türbinlerinin boyutu 7 kat artarken, nominal güç neredeyse 14 katına çıkmıştır. Günümüzde, 10 MW'ın üzerinde güç üretebilen türbinler geliştirilmektedir. Türbin boyutlarının sürekli büyümesinin başlıca nedeni, kilovat-saat başına enerji maliyetini en aza indirmektir. Ancak, "kare-küp yasası"na göre, türbin boyutunun belli bir noktayı aştığında, boyut artışından elde edilen finansal kazançtan daha hızlı maliyet artışına neden olacağını unutmamak gerekir. Şekil 4.3 son 30 yılda rüzgâr türbinlerinin boyutundaki büyümeyi göstermektedir.



Şekil 4.3: Rüzgâr türbinlerinin zamanla değişimi (Busby, 2012).

Büyük ölçekli türbinlerle donatılmış geniş rüzgâr çiftliklerinin yanı sıra, şebekeye bağlı olmayan, "off-grid" veya bağımsız sistemler olarak adlandırılan küçük rüzgâr enerjisi sistemlerinin alanında da bir artış yaşanmıştır. Bu sistemler, 100 kW'ın altında enerji üretir.

Küçük rüzgâr enerjisi sistemleri üreticilerinin sayısı dünya genelinde dinamik bir şekilde artmaktadır. 2002 yılında bu sayı 50'nin altındayken, 2012 yılında 27 ülkede yaklaşık 250 şirket faaliyet göstermektedir (Tywoniuk ve Skorupka, 2018).

Rüzgar, şu üç temel olayın birleşimi sonucu ortaya çıkan bir tür güneş enerjisidir:

- Güneşin atmosferi farklı bölgelerde farklı şekilde ısıtması,
- Yeryüzündeki yüzey farklılıkları,
- Dünyanın dönme hareketi.

Rüzgar akışları ve hızları, coğrafi bölgeye, su kütlelerine, bitki örtüsüne ve araziye bağlı olarak büyük farklılıklar gösterir. "Rüzgar enerjisi" ve "rüzgar gücü" terimleri, rüzgarın mekanik enerji veya elektrik üretmek amacıyla nasıl kullanıldığını tanımlar. Bu mekanik enerji, belirli işler için doğrudan kullanılabilir (örneğin, tahıl öğütmek veya su pompalamak) ya da bir jeneratör aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilir.

RES içindeki türbin, rotor kanatlarının oluşturduğu aerodinamik kuvveti kullanarak rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Bu kanatlar, uçak kanatları veya helikopter pervaneleri gibi çalışır. Rüzgar, kanadın üzerinden geçtiğinde, kanadın bir tarafında basınç azalır. Kanatlardaki hava basıncı farkı, kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri meydana getirir. Kaldırma kuvveti sürüklenme kuvvetine göre daha yüksektir ve bu da rotordaki dönmeyi sağlar. Rotor, jeneratöre ya direkt ya da bir şaft ve dişli sistemi aracılığıyla bağlanır; bu dişliler, rotorun dönüş hızını artırır ve jeneratörün daha küçük olmasını sağlar. Bu aerodinamik kuvvetin jeneratör aracılığıyla elektriğe dönüşmesiyle enerji üretilir.

4.2.2 Rüzgar santralleri

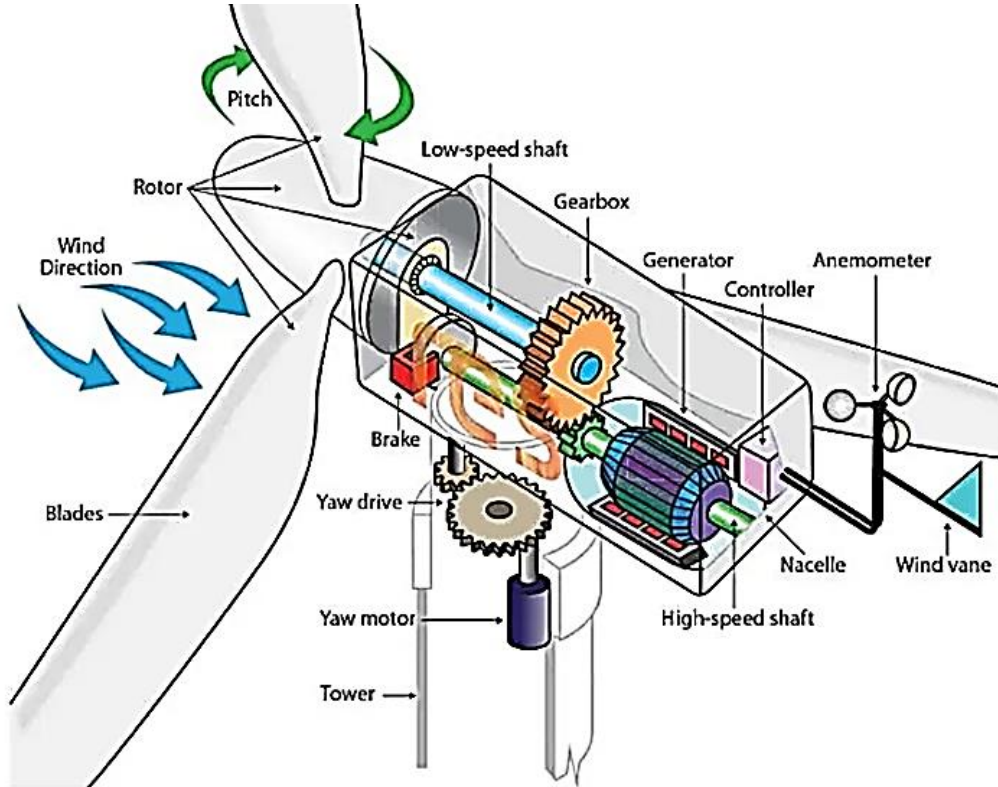
Rüzgar santralleri, bir bölgeye yerleştirilen bir dizi rüzgar türbini aracılığıyla elektrik üretir. Santralin yer seçimi, rüzgar koşulları, çevresel özellikler, elektrik iletim hattına yakınlık gibi çeşitli faktörlere dayanır. Büyük ölçekli bir rüzgar santralinde, her türbin elektrik üretir ve bu elektrik bir alt istasyona taşınır; oradan da elektrik şebekesine aktarılır ve yerleşim bölgelerine enerji sağlanır (Tawil, 2022).

4.2.3 Rüzgâr türbini bileşenleri

Modern bir rüzgâr türbininin ana parçaları rotor, göbek (hub), tahrik sistemi, jeneratör, nacelle (göbek muhafazası), yaw sistemi (yönlendirme sistemi), kule ve güç elektroniğidir (Şekil 4.4).

4.2.3.1 Rotor

Kanatlar ve Göbek (Hub) birlikte rotor olarak adlandırılır. Kanatlar açılıp ayarlanabilir ve kontrol yüzeylerine (kanatçıklar) sahip olabilir. Bu kanatlar bükülebilir, inceltilebilir ve konikleştirilebilir. Kanat malzemeleri ahşap ve kumaş, cam elyafı takviyeli polyester (GFP), cam elyafı epoksi (GFE), karbon elyafı epoksi, ahşap epoksi, alüminyum, çelik olabilir. Kanatlar, göbeğe (hub) bağlıdır. Göbek seçenekleri şunlardır: sert, sert/açılı, sallanan, menteşeli göbek (Windmills Tech, 2024).



Şekil 4.4: Rüzgar türbini bileşenleri (Windmills Tech, 2024).

4.2.3.2 Tahrik sistemi

Tahrik sistemi; düşük hızlı mil (LSS), rulmanlar, kaplinler, şanzıman, yüksek hızlı mil (HSS) ve frenlerden oluşur.

Düşük hızlı mil, ana mil olarak da adlandırılır. Rotorun devri düşüktür (30-60 d/d) ve tork yüksektir. Rotorun boyutu arttıkça, tork ve momentler de buna bağlı olarak artar. Tork iletim yolu "yük yolu" olarak adlandırılır. Ana/düşük hızlı mil genellikle çelikten yapılır ve çok büyük tork yüklerini taşıyabilmelidir. Bu mil, torku rotordan tahrik sisteminin geri kalanına aktarır ve aynı zamanda rotorun ağırlığını destekler. Ana mil, reaksiyon yüklerini türbinin ana gövdesine aktaran rulmanlarla desteklenir.

Şanzıman, düşük hızlı mili yüksek hızlı mile bağlar. Dönme hızlarını yaklaşık 30-60 devir/dakikadan çoğu jeneratörün elektrik üretmesi için gerekli olan 1500-1800 devir/dakikaya çıkarır. Şanzıman, rüzgâr türbininin maliyeti yüksek (ve ağır) bir parçasıdır. Mühendisler, daha düşük dönme hızlarında çalışan ve şanzıman gerektirmeyen "doğrudan tahrikli" jeneratörler üzerinde çalışmaktadır.

Kaplinler, milleri birbirine bağlar ve iki mil arasındaki torku iletir. Kaplinler, ana mildeki tork dalgalanmalarını elektrik enerjisine dönüştürmeden önce etkin bir şekilde sönmölemek için kullanılabilir. Genellikle ana mil ile şanzıman arasında ve şanzıman çıkışı ile jeneratör arasında bulunurlar.

Rüzgâr türbinleri, belirli bir rüzgâr hızının üzerinde çalışmaz çünkü yüksek rüzgârlar ve buna bağlı yükler türbinlere zarar verebilir. Disk frenler, acil durumlar, bakım veya hız sınırı aşıldığında rotoru durdurmak için mekanik, elektrikli veya hidrolik olarak uygulanabilir (Windmills Tech, 2024).

4.2.3.3 Elektrik aksamı

Elektrik aksamı, jeneratör ve güç elektroniğinden oluşmaktadır.

Jeneratör, (dönme) mekanik enerjiyi manyetik alanlar kullanarak elektrik enerjisine dönüştürür. Genellikle alternatif akımla çalışır ve 60 Hz AC gücü üretir. İndüksiyon tipi jeneratörler, şebekeden büyük miktarda reaktif güç çeker, bu nedenle kompanzasyon kapasitörleri gereklidir. En yaygın kullanılan jeneratör türleri şunlardır:

- İndüksiyon jeneratörleri (sabit RPM)
- Değişken rotor direncine sahip sargılı rotor indüksiyon jeneratörü (değişken RPM)
- Çift beslemeli indüksiyon jeneratörü (değişken RPM)

Çift Beslemeli İndüksiyon Jeneratörleri (DFIG) günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha geniş bir rüzgâr hızı aralığında verimlidir ve ani güç dalgalanmalarını en aza indirir (Windmills Tech, 2024).

4.2.3.4 Kontrol ünitesi

Kontrol ünitesinin ana amacı, yüksek rüzgar hızlarında (nominal hızın üzerinde) elde edilen gücü sınırlamak ve türbini o hızın altındaki rüzgar hızlarında başlatmaktır. Aerodinamik kontrol, en etkili yöntemdir:

- Stall Kontrolü (pasif)

- Pitch Kontrolü (aktif)

Kontrol ünitesi, pitch motoru ve dişliler, yaw motoru, dişliler ve frenler, sensörlerden (rüzgâr ve yön) oluşmaktadır.

Küçük türbinlerde yaygın olan serbest yaw sistemi (yönlendirme sistemi), türbinin aerodinamik yükler nedeniyle otomatik olarak yönlendirilmesini sağlar. Büyük ölçekli türbinlerde ise, yaw sürücüsü (dişli-motor) ve rüzgâr yönü sensörü kullanılarak rotorun rüzgâra karşı yönlendirilmesi sağlanır. Yaw sistemi, yaw motoru, pinyon dişlisi, ana dişli ve yaw frenlerinden oluşur. Yaw motoru, yaw sürücüsünü çalıştırır. Yaw sürücüsü, türbinin rotorunu rüzgârın yönüne göre hizalamak için kullanılır.

Pitch mekanizması, hub içerisindeki dişlilerle çalışan bir sistemdir ve elektrikli veya pnömatik olarak aktive edilir. Bu mekanizma, kanatları rüzgâr dışına çevirerek rotor hızını kontrol eder ve rüzgârın elektrik üretimi için fazla yüksek (veya düşük) olduğu durumlarda rotoru durdurur.

4.2.3.5 Destek yapıları

Destek yapıları, kule ve göbek muhafazasını (nacelle) içermektedir.

Göbek Muhafazası (Nacelle), modern bir rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin rotor dışındaki tüm ana bileşenlerini barındırır. Nacelle, kule üzerinde oturur ve bileşenleri koruyucu bir kapak görevi görür. Hafif malzemeden yapılmıştır. Nacelle, herhangi bir yük taşımaz ve bu nedenle yapısal bir eleman değildir.

Kuleler genellikle galvanizli çelikten (tubular) veya kafes (truss) yapıda olur. Kule, nacelle'i destekler ve statik, dinamik kuvvetleri ve momentleri temele iletir. Modern türbinlerde kule, en pahalı parçadır. Tubular kuleler, nacelle'deki bileşenlere korunaklı erişim sağlar.

4.2.3.6 Anemometre

Anemometre, rüzgâr hızını ölçer ve bu verileri kontrolöre iletir.

4.2.3.7 Transformatör

Transformatör, jeneratörden gelen gücü düşük voltajdan (yaklaşık 480V) iletim için uygun voltaja (genellikle 33KV) dönüştürür.

4.2.3.8 Rüzgâr yönü

"Upwind" türbinler rüzgâra karşı çalışır. Diğer türbinler ise "downwind" olarak adlandırılır ve rüzgâr yönünün tersine çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

4.2.3.9 Rüzgâr göstergesi (wind vane)

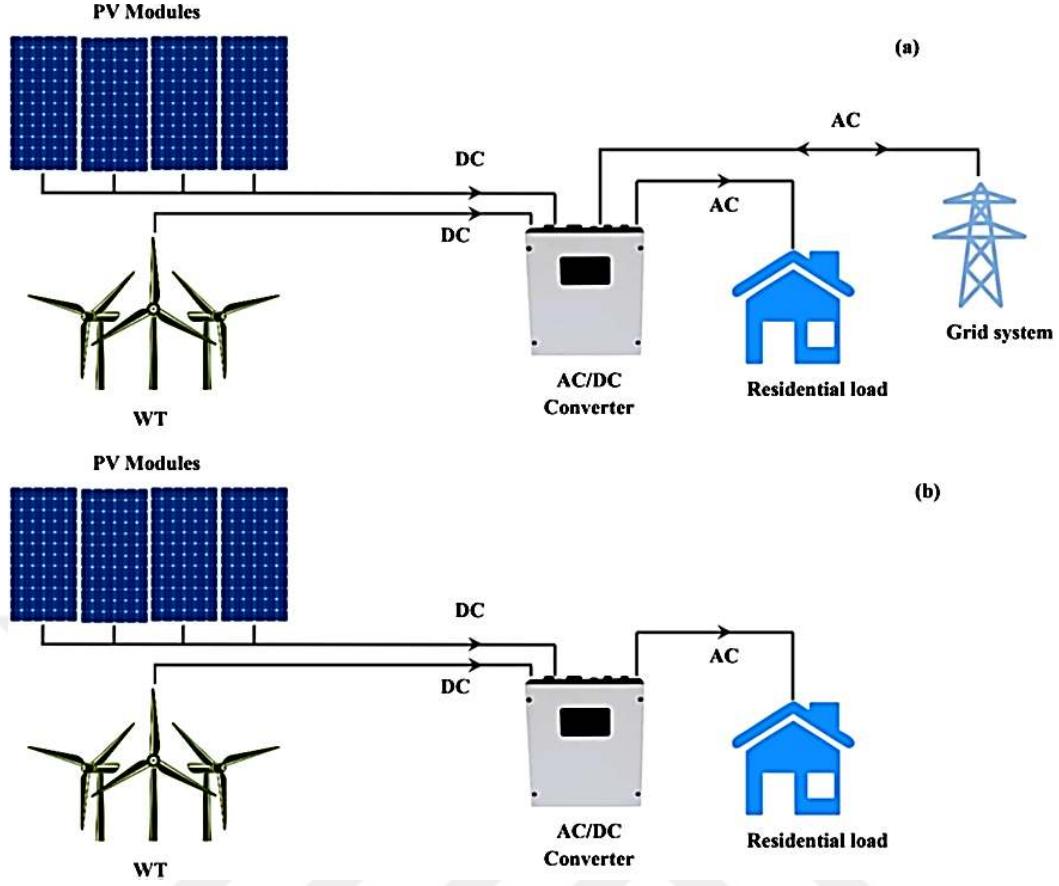
Rüzgâr göstergesi, rüzgâr yönünü ölçer ve türbinin doğru şekilde yönlendirilmesi için yaw sürücüsü ile iletişim kurar.

4.3 Hibrit (Güneş-Rüzgâr) Enerji Sistemleri

Hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sistemleri, elektrik enerjisi üretmek için güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerini kullanır (Şekil 4.5). Yenilenebilir enerji uzmanları, rüzgâr ve güneş enerjisi teknolojilerini birleştiren küçük bir hibrit sistemin ev kullanımları için çeşitli avantajlar sunduğunu açıklamışlardır. Birleşik enerji üretimi fikri, küçük enerji uygulamaları için gün ve gece kesintisiz enerji sağlamak ve depolama bataryası ile bu enerjiyi sürekli olarak elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu, güneş-rüzgâr hibrit enerji sistemleri tarafından sağlanacaktır (Chandramouly ve Raghuram, 2017).

Hibrit bir enerji sistemi, birden fazla enerji üretim kaynağını, depolama çözümünü veya yakıt türünü entegre ederek enerji üretimini ve kullanımını optimize eder. Bu yaklaşım, fosil yakıtlardan uzaklaşırken daha güvenilir ve esnek bir enerji arzı sağlamak için kritik bir rol oynar. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr veya hidroelektrik gibi) ile geleneksel termal enerji üretimini bir araya getirerek, bu sistemler yenilenebilir kaynakların kesintili olduğu durumlarda bile istikrarlı bir enerji üretimi sağlayabilir. Bu da hibrit sistemleri, geçiş sürecinde şebeke güvenilirliğini korurken yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için önemli bir strateji haline getirir.

Hibrit enerji sistemleri, rüzgâr ve güneş enerjisinin birbirini tamamlayıcı özelliklerinden faydalanarak yıl boyunca kesintisiz enerji üretimi sağlar. Güneş enerjisi genellikle gündüz saatlerinde, rüzgâr enerjisi ise çoğu zaman gece veya bulutlu günlerde daha verimli çalışır. Bu uyum, enerji üretiminde dalgalanmaları azaltır ve sistemin güvenilirliğini artırır. Ayrıca, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin kullanımı fosil yakıt tüketimini azaltarak çevreye duyarlı bir çözüm sunar. Bu sistemler, hem bireysel kullanıcılar hem de büyük ölçekli projeler için enerji maliyetlerini düşürmede etkili bir alternatiftir.



Şekil 4.5: Hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sistemi (a) şebekeye bağlı (on- grid) sistem (b) şebekeden bağımsız (off-grid) sistem (Hassan ve diğ, 2023).

Güneş ve rüzgâr enerji sistemleri şebekeye bağlı (on-grid) veya bağlantısız (off-grid) olarak elektrik enerjisi üretimi yapabilirler. Güneş enerjisi sistemlerinin çıkış gerilimi doğru akım (DA) olur. Kullanım amacına göre eviriciler ile alternatif akıma (AC) dönüştürülür. Verimleri uygulamada %30'ların altında olup laboratuvar şartlarında %45 oranındadır. Rüzgâr enerji sistemleri ise genellikle AC çıkış gerilimine sahiptirler. İstedğimiz gerilim türünde enerji kullanımını yine dönüştürücüler mümkün kılmaktadır. Rüzgâr enerjisi üretiminde kullanılan rüzgâr türbini verimleri ise yatay eksenli türbinlerde %45 civarındadır. (Çifci ve diğ, 2014; Elibüyük ve Üçgül, 2014; Kabul ve Yaşar, 2017; Yavuz ve Özbay, 2020; Kırbaş ve Kocakulak, 2021).

4.3.1 Hibrit (güneş-rüzgâr) enerji sisteminin bileşenleri

4.3.1.1 Rüzgâr türbini ve kulesi

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın hareket enerjisini mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştürür. Türbin, daha verimli çalışabilmesi için yerden en az 18 metre yükseklikte bir

kuleye monte edilir. Bu yükseklik, daha güçlü rüzgârlardan faydalanmayı mümkün kılar ve enerji üretimini artırır.

4.3.1.2 Güneş panelleri

Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik (PV) paneller, hibrit sistemin temel bileşenlerinden biridir. Gündüz saatlerinde maksimum verimlilikle çalışarak enerji sağlar.

4.3.1.3 Aküler (batarya sistemi)

Hibrit sistemlerde üretilen enerjiyi depolayan aküler, enerji talebinin sürekli karşılanması sağlar. Gündüz güneş enerjisinden veya rüzgâr türbinlerinden üretilen fazla enerji akülerde saklanabilir ve gece veya talebin arttığı zamanlarda kullanılabilir.

4.3.1.4 Şarj kontrol cihazı

Bu cihaz, akülerin güvenli bir şekilde şarj edilmesini ve sistem bileşenleri arasında enerji akışının düzenlenmesini sağlar. Aşırı şarj veya deşarj durumlarını önleyerek sistemin ömrünü uzatır.

4.3.1.5 Evirici (İnverter)

Evirici, güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinden üretilen doğru akımı (DC), evlerde ve iş yerlerinde kullanılan alternatif akıma (AC) dönüştürür. Bu sayede, sistemden elde edilen enerji ev aletleri ve diğer cihazlar için kullanılabilir hale gelir.

4.3.1.6 Kablolar ve bağlantı ekipmanları

Enerji iletimini ve sistem elemanlarının birbirine bağlanmasını sağlayan kablolar, sistemin kesintisiz çalışmasını mümkün kılar. Bu ekipmanlar, enerji kaybını en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Bu elemanlar bir araya geldiğinde, hibrit güneş-rüzgâr sistemleri hem güvenilir hem de sürdürülebilir bir enerji çözümü sunar. Sistemin verimliliği, kurulum yerinin iklim koşullarına ve ekipman kalitesine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

4.3.2 Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin avantajları

Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin avantajları şunlardır (PVMars, 2024):

- (a) Harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan, rüzgâr ve güneş enerjisini tamamlayıcı bir şekilde elektrik üretmek için tamamen kullanmak.

- (b) Trafo merkezleri, yüksek ve alçak gerilim hatları, yüksek ve alçak gerilim dağıtım sistemleri vb. inşa etme ihtiyacını ortadan kaldırır. Sistem maliyeti makuldür.
- (c) Gündüz ve gece tamamlayıcı, mevsimsel tamamlayıcı özellikler, sistem kararlılığı ve güvenilirliği ile maliyet etkindir.
- (d) Elektrik tesislerinin bakım iş yükü ve buna karşılık gelen masraflar büyük ölçüde azalır.
- (e) Bağımsız güç kaynağı, doğal afetler durumunda tüm kullanıcıların güç tüketimini etkilemeyecektir.

4.3.3 Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin dezavantajları

Hibrit (güneş-rüzgâr) sisteminin dezavantajları aşağıda verilmiştir (PVMars, 2024):

- (a) Hem rüzgâr hem de güneş sistemlerinin ortak bir dezavantajı vardır - kaynakların belirsizliği, güç üretimi ile güç yükü arasında bir dengesizliğe yol açar.
- (b) Rüzgâr-güneş hibrit sistemleri, güç kaynağını dengelemek için pillerde depolanmalıdır, ancak günlük üretilen güç miktarı hava koşullarından büyük ölçüde etkilenir.
- (c) Piller çok büyükse veya düzgün yapılandırılmamışsa, uzun bir süre güç kaybı durumunda olabilirler; bu, pillerin hizmet ömrünün azalmasının nedenlerinden biridir.
- (d) Küçük rüzgâr türbinlerinin (200 W-50 kW) güvenilirliği temelde ele alınmamıştır. Maliyet hususları nedeniyle, küçük rüzgâr türbinleri yalnızca basit mekanik kontrol kullanır - yüksek rüzgâr koşullarında hız sınırı koruması.

5. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tezde, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Van ilinde hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sisteminin elektrik üretim olanaklarını HOMER yazılımı kullanarak modellemek hedeflenmiştir. Tezin bu kısmında Van İli ve Akdamar Adası tanıtılmış, simülasyon için kullanılan HOMER programı hakkında bilgi verilmiş, HOMER ile tasarım ve modelleme adımları detaylandırılmıştır. Bu adımlar, konumun seçilmesi ve elektrik talebinin belirlenmesi; Van ili rüzgâr ve güneş kaynağı verilerinin sunulması; rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin konfigürasyonu ile ekonomik analiz adımlarını içermektedir.

5.1 Van İli ve Akdamar Adası

Doğu Anadolu Bölgesi'nin illerinden biri olan Van, 42 derece 40 dakika ve 44 derece 30 dakika doğu boylamları ile 37 derece 43 dakika ve 39 derece 26 dakika kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Van ilinin 2024 yılında nüfusu 1,118,087 olarak tespit edilmiştir. Nüfus sıralamasında Van, Türkiye'nin 21. en büyük şehri olarak öne çıkmaktadır (TÜİK, 2025). Van, 19,069 km² yüzölçümü ile Türkiye'nin %2.5'ünü kaplar ve bu özelliğiyle Türkiye'nin 6. en geniş ilidir (Şekil 5.1a). Doğu Anadolu Bölgesi'nin volkanik dağlarla çevrili çöküntü bölgesinde yer alan Van Gölü'nün doğu kıyısına 5 km mesafede, az eğimli bir arazide kuruludur. Rakımı yaklaşık 1,725 metredir. Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü, yüksek dağların ortasında bir çöküntü alanında bulunur ve çevredeki yüksek dağlar Van ilinin sınırlarını çizer. Van, kuzeyde Ağrı ilinin Doğubayazıt, Diyadin ve Hamur ilçeleri; batıda Van Gölü ile Ağrı ilinin Patnos ilçesi, Bitlis'in Adilcevaz, Tatvan ve Hizan ilçeleri; güneyde Siirt'in Pervari, Hakkâri ilinin Beytüşşebap ve Yüksekova ilçeleri ile komşudur. Doğuda ise İran yer almaktadır (KTB, 2025).

Van, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki diğer iller gibi tarih, doğa, kültür ve kış turizmi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, Van'da deniz turizmi potansiyeli de bulunmaktadır ve uygun yatırımlarla dört mevsim boyunca çeşitli turizm faaliyetleri gerçekleştirilebilir.

Van ili 1,118,087 kişilik nüfusu ile Doğu Anadolu Bölgesinin en büyük ili, yüzölçümü bakımından en büyük ikinci ilidir. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan Bölgesel

Gelişme Ulusal Stratejisi'nde "Bölgesel Çekim Merkezi" olarak tanımlanan Van ili çevresindeki merkezleri ekonomik olarak etkileme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen Cazibe Merkezlerini Destekleme Programı kapsamında 14 Cazibe Merkezi ilden birisi olarak belirlenmiştir (DAKA, 2023).



(a) Van ili



(b) Akdamar Adası

Şekil 5.1: Van ili ve Akdamar Adası.

Akdamar Adası, Van Gölü'nün içinde yer alan dört ana adadan ikinci en büyük adadır (Şekil 5.1b). Van'ın Gevaş ilçesi sınırları içerisinde yer alan ada, 10. yüzyıldan kalma Ermeni Kutsal Haç Katedrali'ne ev sahipliği yapmaktadır ve 1116'dan 1895'e kadar Ahtamar Ermeni Apostolik Katolikosluğu'nun merkezi olmuştur. Yüzölçümü yaklaşık 163,753 metrekare olan ada, kıyı şeridinden yaklaşık 3 km uzaklıktadır. En yüksek noktası deniz seviyesinden 1,912 metre yüksekte bulunan adanın batı uçlarında yüksekliği 80 metreye ulaşan dik kayalıklar vardır (Wikipedia, 2025).

Van ili, teknik, coğrafi ve iklimsel faktörlerin etkisiyle, elektrik enerjisi üretim verimliliği açısından Türkiye'de üst sıralarda yer almaktadır (Aydıncıoğlu, 2019; Yaman ve diğ, 2019; DAKA, 2019; DAKA, 2023). Buna örnek olarak son yıllarda Van Gevaş ilçesinde yapılan rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi panelleri yatırımları örnek olarak gösterilebilir. Tüm bu veriler, Van'ın hem güneş hem de rüzgâr enerjisinden faydalanan hibrit enerji sistemleri için uygun bir bölge olduğunu ortaya koymaktadır.

5.2 Ortalama Bir Evin Elektrik Tüketimi

Bir evdeki elektrik tüketimi, evin büyüklüğü, cihazların kullanımı, iklim ve hava koşulları, enerji tasarrufu önlemleri ve benzeri faktörlere bağlıdır. Genel olarak, daha büyük evler, daha fazla enerji tüketir. Ancak, bu sadece evin büyüklüğünden kaynaklanan bir faktör değildir. Bir evin günlük elektrik tüketimini belirleyen diğer faktörler arasında, evdeki cihazların sayısı, kullanım sıklığı ve enerji verimliliği de yer alır (Elektromarketim, 2024).

Evde kullanılan cihazların her birinin günlük elektrik tüketimi cihazın marka, model, boyut, kullanım sıklığı, enerji verimliliği ve kullanılan enerji kaynağı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bununla birlikte, genel olarak, tahmini günlük elektrik tüketimleri Çizelge 5.1’de olduğu gibi verilebilir. Görüldüğü gibi toplam günlük tüketimi 12.23 kWh ila 32.70 kWh arasında değişmektedir (Elektromarketim, 2024).

Ortalama bir evin enerji ihtiyacı aşağıda verilmiştir:

- Küçük bir dubleks ev (100-150 m²): Günde 10-15 kWh arasında.
- Orta boyutlu bir dubleks ev (150-250 m²): Günde 15-25 kWh arasında.
- Büyük bir dubleks ev (250 m² ve üzeri): Günde 25-40 kWh arasında.

Çizelge 5.1: Evlerde kullanılan cihazların tahmini günlük elektrik tüketimleri (Elektromarketim, 2024).

No	Cihaz Adı	Elektrik Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)
		Minimum	Maksimum
1	Buzdolabı	1.00	2.00
2	Çamaşır makinesi	1.00	2.00
3	Bulaşık makinesi	1.00	2.00
4	Televizyon	0.10	0.50
5	Ocak	0.50	2.00
6	Fırın	0.50	2.00
7	Mikrodalga fırın	0.10	0.50
8	Kombi	2.00	5.00
9	Dizüstü bilgisayar	0.03	0.20
10	Masaüstü bilgisayar	0.10	0.50
11	Davlumbaz veya aspiratör	0.10	0.20
12	Klima	1.00	3.00
13	Çamaşır makinesi	1.00	2.00
14	Kurutma makinesi	2.00	4.00
15	Elektrikli süpürge	0.20	0.50
16	Ütü	0.50	1.50
17	Saç kurutma makinesi	0.10	0.50
18	Tost makinesi	0.10	0.30
19	Su ısıtıcı	0.50	2.00
20	Blender	0.10	0.50
21	Mutfak robotu	0.10	0.50
22	Çay makinesi	0.10	0.50
23	Kahve makinesi	0.10	0.50
Toplam		12.23	32.70

5.3 Analiz Edilen Bina ve Konumu

“3.2.1 Van İli Güneş Enerjisi Potansiyeli” ve “3.3.1 Van İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli” bölümlerinde verilen bilgiler göz önüne alınarak hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sisteminin kurulacağı konum olarak Van İli Akdamar adası belirlenmiştir.

HOMER ile simüle ve analiz edilecek olan bina olarak Van’da Akdamar Adası’nda dubleks bir ev seçilmiştir. Şekil 5.2’de Van-Akdamar Adası HOMER görünümü gösterilmiştir. “5.2 Ortalama Bir Evin Elektrik Tüketimi” bölümünde verilen bilgiler göz önüne alınarak seçilen dubleks evin elektrik enerjisi tüketiminin 40 kWh/gün olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda seçilen dubleks evin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 15,000 kWh olacaktır.

Van-Akdamar Adası’nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamaya yönelik bu tez çalışmasında, rüzgar enerjisi sistemi, güneş enerjisi sistemi ve hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgar) şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak simülasyonla modellenmiştir. Simülasyona hibrit sisteme ek olarak bir dizel jeneratör de dahil edilmiştir.



Şekil 5.2: Van-Akdamar Adası HOMER görünümü.

5.4 HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) Programı

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretiminin tasarlanması ve simülasyonlarının yapılmasında çeşitli yazılım programları kullanılmaktadır. Bu

yazılımların bazıları GES'lerin tasarımında, bazıları RES'lerin tasarımında kullanılırken hem GES hem de RES tasarımını birlikte yapan yazılımlar da bulunmaktadır. Helioscope, HOMER, PVGIS, PVSOL, PVsyst, Polysun, RetScreen, WAsP, WindFarmer, Windographer, WindPro ve WindSim bu yazılımlar arasındadır. Hibrit sistemlerin tasarımı için HOMER yazılımı sıklıkla kullanılmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2010; Korkmaz, 2016; Türkoğan ve diğ., 2018 ve 2020; Kırbas ve Kocakulak, 2021; Akan, 2021; Patil ve diğ., 2023). Bu çalışmada da HOMER yazılımı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

HOMER, enerji optimize modeli olarak kurgulanmış ve geniş bir uygulama alanında enerji üretimini değerlendirmek için kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Bu yazılım, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. HOMER, güç sistemlerinin fiziksel özelliklerini modelleyerek, bu sistemlerin çalışma süresindeki maliyet analizlerini gerçekleştirir. Bu modelleme, sistemin kurulum ve işletme maliyetlerini kapsamaktadır; maliyet analizi ise yatırım maliyeti, toplam net maliyet, birim enerji maliyeti ve işletme giderlerini içerir. HOMER, kullanıcılara teknik ve ekonomik faktörlere göre çeşitli tasarım alternatifleri sunar; veri belirsizliklerini ve değişkenlerini sayısal olarak analiz etmelerine yardımcı olur. Hem şebekeye bağlı hem de bağımsız hibrit ya da tekil enerji sistemlerini modelleyebilen HOMER, dört tür yükü destekler: elektrik yükü, ertelenebilir yük, ısı yük ve hidrojen yükü (HOMER, 2024).

HOMER, simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizini sırasıyla uygular. Simülasyon aşamasında, HOMER, sistemin teknik yeterliliğini değerlendirir ve kurulu sistemin güç kapasitesinin yeterli olup olmadığını ve maliyetini hesaplar. Bu aşama, mikrogüç sisteminin her saatlik performansını modellemeyi içerir. Optimizasyon aşamasında, HOMER, çeşitli sistem yapılarını en düşük ömür boyu maliyetlerle teknik gerekliliklere uygun şekilde değerlendirir. Bu süreç, tasarımcının kontrolündeki değişkenlere bağlı olarak en uygun değerleri belirler; bu değişkenler sistem bileşenlerinin sayısı ve boyutlarını içerir.

Hassasiyet analizinde ise, HOMER, kullanıcının sağladığı giriş verilerindeki değişikliklerin ve belirsizliklerin etkilerini araştırır. Bu analiz, verilerin belirli aralıklarda değiştiği varsayımıyla çoklu optimizasyonlar yapar. Hassasiyet analizi, ortalama rüzgar hızları, güneş ışınımı, sıcaklık veya yıllar içindeki yakıt maliyetleri gibi kullanıcının kontrolü dışındaki değişkenlerin etkilerini değerlendirir (Yılmaz, 2008; Özcan, 2009).

5.4.1 Simülasyon (Benzetim)

HOMER, enerji sisteminin her saatlik performansını simüle ederek yenilenebilir enerji üretimini hesaplar ve bu enerjiyi elektrik yüküyle karşılaştırır. Yenilenebilir enerji üretimi yeterli olduğunda hangi önlemlerin alınacağına ya da enerji açığı durumunda ek enerji üretimi mi yoksa şebekeden enerji alımı mı yapılacağına karar verir. Yıl boyunca elde edilen veriler ışığında, HOMER, yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerjinin toplam enerjiye oranını veya belirli gaz emisyon miktarlarını göz önünde bulundurarak sistemin belirlenen sınırlar içinde olup olmadığını değerlendirir.

HOMER, bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan çeşitli güç sistemlerini saatlik zaman dilimlerinde doğru bir şekilde modelleyebilir ve kısa süreli elektriksel değişimleri inceleyebilir. Ancak, yük artışı veya batarya performansındaki düşüş gibi değişiklikler bu yazılımda hesaplanmamaktadır. Bu tür etkiler, modelleyici tarafından hassasiyet analizi aracılığıyla değerlendirilebilir.

5.4.2 Optimizasyon (İyileştirme)

Simülasyon, sistemdeki tasarımı modelleyerek performansını analiz ederken, optimizasyon en verimli sistem tasarımını bulur. HOMER yazılımında, en düşük toplam net bugünkü maliyeti sağlayan ve tasarımcının belirlediği kısıtlamalara uyan tek bir optimum sistem tasarımı belirlenir. En uygun tasarımı elde etmek, sistemin kesinlikle sahip olması gereken bileşenlerin konfigürasyonuna, her bileşenin büyüklüğüne veya sayısına karar verilmesini gerektirir. Ayrıca, bu süreçte "dispatch strategy" olarak bilinen bir kavram öne çıkar; tasarımcı, sistemin ihtiyaç duyduğu dispatch stratejisini seçmek için programın kontrol bölümünden yararlanmalıdır.

Optimizasyon aşamasında, HOMER, farklı sistem yapılarını simüle eder ve kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlamaları karşılamayan tasarımları hariç tutar. Uygulanabilir tasarımları maliyet açısından sıralar ve en düşük maliyetli seçeneği en uygun çözüm olarak önerir. Bu süreç, tasarımcının belirlediği her karar değişkeni için en iyi değeri bulmayı amaçlar. HOMER, optimizasyon sürecinde tasarımcının kontrolündeki çeşitli faktörlerin farklı olası değerlerini dikkate alır.

HOMER’de yer alan karar değişkenleri şunlardır:

- Fotovoltaik panel sisteminin büyüklüğü,
- Rüzgar türbinlerinin sayısı,

- Hidrojen sisteminin varlığı (HOMER, yalnızca bir hidrojen sistemini dikkate alır, dolayısıyla karar, sistemin hidrojen içerip içermeyeceğiyle ilgilidir),
- Jeneratörlerin güç kapasiteleri,
- Batarya sayısı,
- AC-DC dönüştürücünün kapasitesi,
- Elektrolizörün boyutu,
- Hidrojen depolama tanklarının kapasiteleri,
- Dağıtım stratejisi (sistemin nasıl çalışacağına dair kurallar).

5.4.3 Fiziksel modelleme

HOMER yazılımında bir enerji sisteminin nasıl çalıştığını açıklayan bir bölümdür. HOMER, bir enerji sisteminde en az bir elektrik kaynağı ve bu kaynağın ürettiği enerjiyi kullanacak bir hedef (elektrik yükü, ısı yük veya şebekeye enerji satışı) bulunmasını şart koşar. Buna ek olarak, enerji sistemleri, elektrolizör veya AC-DC dönüştürücü gibi ara elemanları da barındıracak şekilde kurgulanabilir. Bu bölümde, sistemin ihtiyacı olan yükler, sistem elemanlarının nasıl çalıştığı ve enerji kaynaklarının nasıl kullanıldığı incelenir.

Bir enerji sisteminin modellenmesi, önce yüklerin modellenmesiyle başlar. HOMER, üç tür yük modelleyebilir: birincil yük, ertelenebilir yük (belirli bir vakit aralığında sağlanabilecek elektrik ihtiyacı) ve termal yük (ısı ihtiyacı). Kullanıcı, bir yıllık saatlik yük verilerini içeren dosyaları HOMER'e aktararak veya günlük yük profiline dayanarak saatlik verileri oluşturmasını sağlayabilir. HOMER, belirli bir yıl için 24 saatlik yük profilleri oluşturabilir, her ay için farklı profiller kullanabilir ve hafta içi ile hafta sonu günleri için ayrı profiller oluşturabilir. Ayrıca, saatlik yük verilerine rastgelelik ekleyerek gerçekçi sonuçlar sağlar.

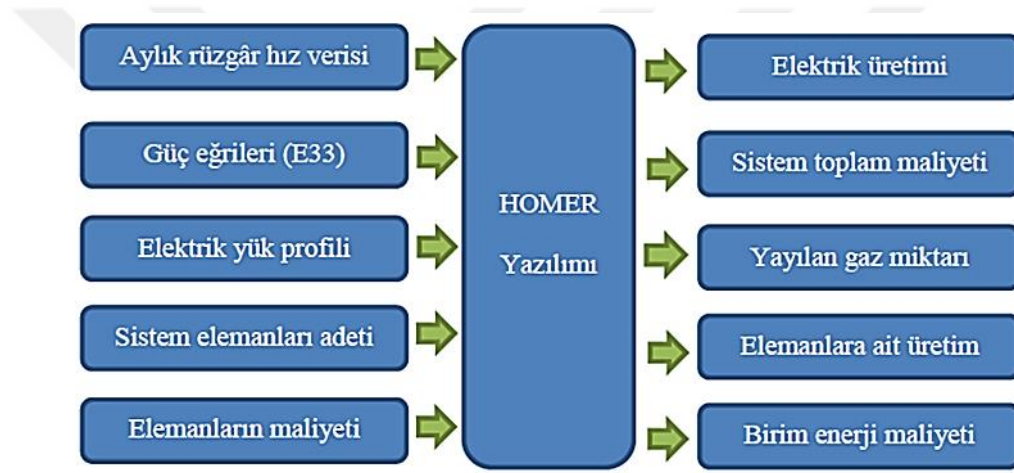
5.4.4 Ekonomik modelleme

HOMER yazılımında ekonomik değerlendirmelerin temel çıktısı, Toplam Net Bugünkü Maliyet (NPC) olarak belirlenir. NPC, bir sistemin ömrü boyunca ortaya çıkan toplam maliyeti ifade eder ve tüm gelir-giderleri kapsar. Bu maliyet, sistemin proje ömrü boyunca oluşan sermaye maliyetleri, materyal değiştirme maliyetleri, tamirat giderleri ve şebekedeki aldığımız elektrik giderlerini içerir. HOMER, nakit akışlarını bugüne indirger ve tüm maliyetleri belirlenen para biriminde toplar.

Yenilenebilir enerji tasarımlarının giderleri genellikle düşükken, en başta yapılan maliyetler yüksektir. Günümüzdeki sistemlerde ise durum tam tersidir. HOMER, yenilenebilir ve bu sistemleri karşılaştırarak toplam net bugünkü maliyeti temel alır ve en düşük NPC'ye sahip sistem konfigürasyonunu belirler. Gelecekteki nakit akışlarını bugüne indirgerken reel faiz oranı kullanılır, böylece enflasyon etkileri analiz dışında tutulur (Telli, 2010; HOMER, 2025).

5.4.5 HOMER değer belirleme metodu

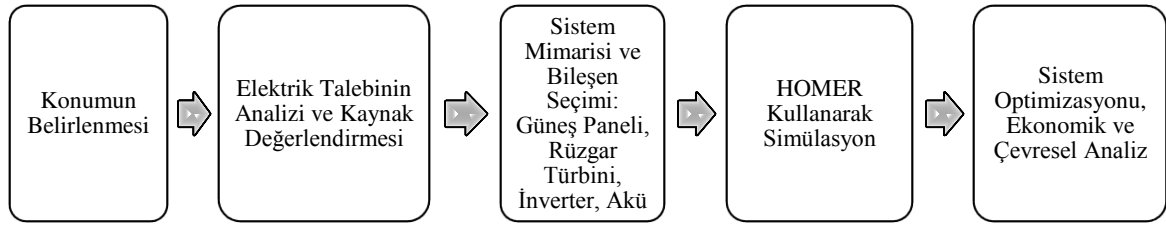
Bu tezde, yazılımdaki enerji kaynakları ve kaynakların elektrik üretimindeki bileşenleri ile enerji yükünün tasarlanması detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 5.3, bu çalışmada HOMER yazılımının gerçekleştireceği adımları göstermektedir.



Şekil 5.3: HOMER yöntemsel aşamaları.

5.5 HOMER ile Tasarım ve Modelleme

HOMER yazılımıyla yürütülen simülasyon çalışmasını gösteren bir akış diyagramı Şekil 5.4'de sunulmuştur. Önce konum belirlenmektedir. Elektrik talebi analiz edilip yük belirlendikten sonra kaynak değerlendirmesi yapılmaktadır. Sistem mimarisi ve bileşen seçimi aşamasında güneş paneli, rüzgâr türbini, dönüştürücü, akü vb. bileşenlerin tipi ve kapasitesi belirlenmektedir. HOMER yazılımı kullanarak simülasyon gerçekleştirildikten sonra sistem optimizasyonu, ekonomik ve çevresel analiz yapılmaktadır.



Şekil 5.4: Simülasyon çalışmasının akış diyagramı (Muller ve diğ., 2023).

5.5.1 Konumun seçilmesi ve elektrik talebinin belirlenmesi

Rüzgâr, güneş ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sisteminin kurulacağı konum olarak Van İli Akdamar Adası seçilmiştir. HOMER ile simüle ve analiz edilecek olan bina olarak dubleks bir ev seçilmiştir. “5.2 Ortalama Bir Evin Elektrik Tüketimi” bölümünde verilen bilgiler göz önüne alınarak seçilen dubleks evin elektrik enerjisi tüketiminin 40 kWh/gün olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda seçilen dubleks evin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 15,000 kWh olacaktır.

5.5.2 Rüzgâr kaynağı

Rüzgâr hızı verileri, NASA tarafından 1984-2013 yılları arasındaki 30 yıl boyunca elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı verilerine dayanmaktadır. Van ili Akdamar Adası için NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) veri tabanından elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı verileri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızı 3.14 m/s ile 4.21 m/s arasında değişmektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı değeri ise 3.50 m/s’dir.

Çizelge 5.2: Van ili Akdamar Adası için aylık ortalama güneş küresel yatay ışınlam ve rüzgâr hızı verileri (HOMER, 2025).

Ay	Açıklık İndeksi	Günlük Işınlam (kWh/m ² -gün)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Ocak	0.509	2.30	3.28
Şubat	0.548	3.23	3.66
Mart	0.551	4.31	3.89
Nisan	0.532	5.18	4.21
Mayıs	0.557	6.16	3.84
Haziran	0.634	7.34	3.60
Temmuz	0.631	7.13	3.35
Ağustos	0.654	6.67	3.19
Eylül	0.643	5.44	3.27
Ekim	0.578	3.73	3.41
Kasım	0.521	2.51	3.16
Aralık	0.473	1.94	3.14

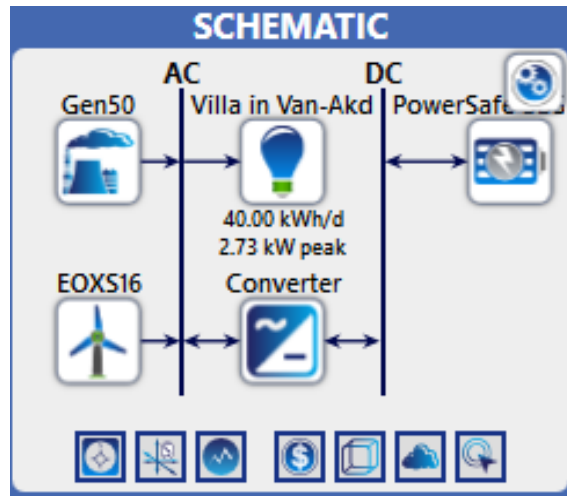
5.5.3 Güneş kaynağı

Işınım verileri, NASA tarafından 1983-2005 yılları arasındaki 22 yıl boyunca elde edilen aylık ortalama güneş küresel yatay ışınlam verilerine dayanmaktadır. Van ili Akdamar Adası için NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) veri tabanından elde edilen aylık ortalama güneş küresel yatay ışınlam verileri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Ortalama güneş ışınlam değeri $1.94 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ile $7.34 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ arasında değişmektedir. Yıllık ortalama günlük ışınlam değeri $4.66 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ ’dür. Ortalama açıklık endeksi 0.569’dur.

5.5.4 Rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin konfigürasyonu

Akdamar Adası’nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik bu çalışmada, rüzgar enerjisi sistemi, güneş enerjisi sistemi ve hibrit enerji sistemi (rüzgar/güneş) şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) olarak simülasyonla modellenmiştir. Simülasyonda hibrit sisteme ek olarak bir dizel jeneratör de dâhil edilmiştir.

Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sistemi Şekil 5.5’te şematik olarak verilmiştir. Rüzgâr enerji sisteminde rüzgâr türbini olarak Eocycle EOX S-16 model rüzgâr türbini, jeneratör olarak Generic Small Genset jeneratör, dönüştürücü olarak System Converter, batarya olarak EnerSys PowerSafe SBS 1800 marka batarya seçilmiştir. Rüzgâr enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün , maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir. Çizelge 5.3’de rüzgâr türbini teknik özellikleri, Çizelge 5.4’de dizel jeneratör teknik özellikleri, Çizelge 5.5’de dönüştürücü teknik özellikleri, Çizelge 5.6’da batarya teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.5: Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü.

Çizelge 5.3: Rüzgâr türbini teknik özellikleri.

Adı	Eocycle EOX S-16 (EOXS16)
Nominal Kapasite	30 kW
Türbin Göbek Yüksekliği	23.80 m
Yaşam Süresi	30 yıl
Kaynak Yatırımı ve Yerleştirme Giderleri	25,000 \$
Üretici Firma	Eocycle

Çizelge 5.4: Dizel jeneratör teknik özellikleri.

Adı	Generic Small Genset (Gen50)
Kapasite	10 kW
Minimum Yük Oranı	% 25
Yaşam Süresi	15,000 saat
Kaynak Yatırımı ve Yerleştirme Giderleri	1,800 \$
Üretici Firma	Generic

Çizelge 5.5: Dönüştürücü teknik özellikleri.

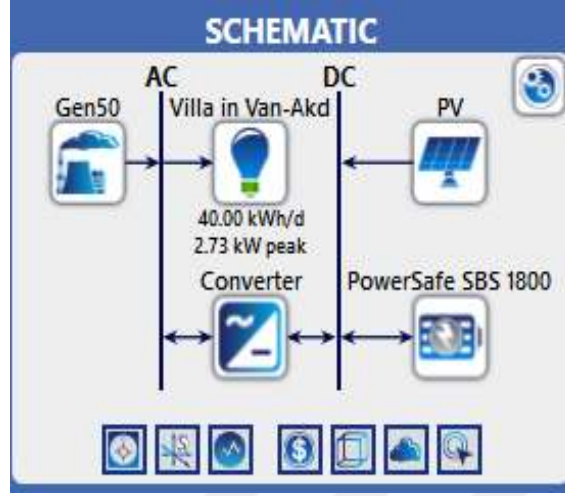
Adı	System Converter
Kapasite	124 kWh
Yaşam Süresi	25 yıl
Verimlilik	% 95
Kaynak Yatırımı ve Yerleştirme Giderleri	2,000 \$

Çizelge 5.6: Batarya teknik özellikleri.

Adı	EnerSys PowerSafe SBS 1800
Nominal Voltaj	12 V
Nominal Kapasite	24.8 kWh
Maksimum Kapasite	2,060 Ah
Kapasite Oranı	0.298
Yaşam Süresi	15 yıl
Başlangıç Şarj Durumu	% 100
Minimum Şarj Durumu	% 30
Kaynak Yatırımı ve Yerleştirme Giderleri	2,700 \$

Şekil 5.6 şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemini göstermektedir. Güneş enerji sisteminde PV panel olarak Generic flat plate PV paneli, jeneratör olarak Generic Small Genset jeneratör, dönüştürücü olarak System Converter, batarya olarak EnerSys PowerSafe SBS 1800 marka batarya seçilmiştir. Güneş enerji sistemi için elektrik yükü 40

kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir. Çizelge 5.7’de PV dizisi teknik özellikleri verilmiştir.

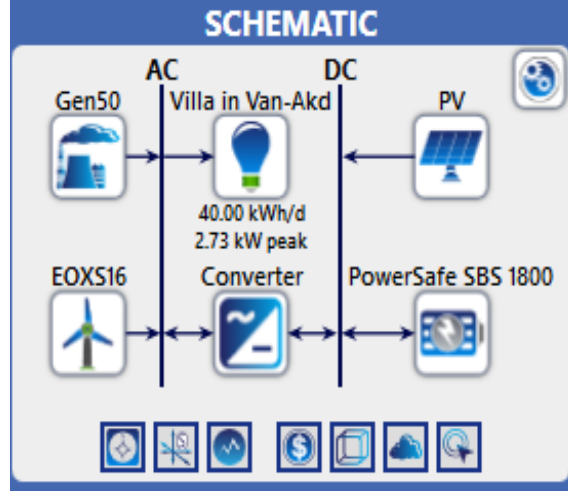


Şekil 5.6: Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü.

Çizelge 5.7: PV dizisi teknik özellikleri.

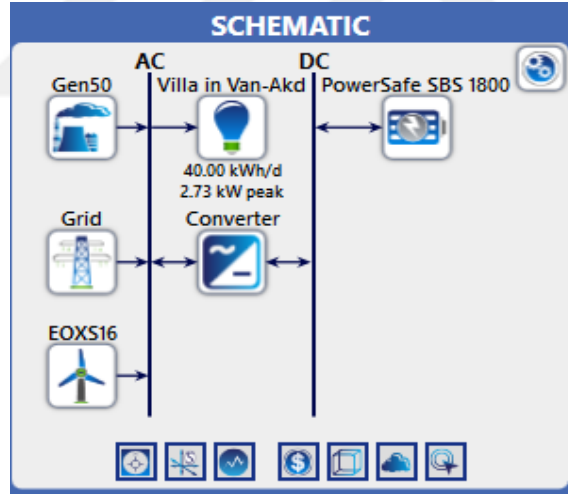
Adı	Generic flat plate PV
Panel Tipi	Düz plaka
Kapasite	1 kW
Türbin Göbek Yüksekliği	23.80 m
Yaşam Süresi	25 yıl
Kaynak Yatırımı ve Yerleştirme Giderleri	7,500 \$
Üretici Firma	Generic

Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemine ait şematik resim Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini, Generic flat plate PV dizisi, Generic Small Genset jeneratör, System Converter dönüştürücü, EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Hibrit enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir.



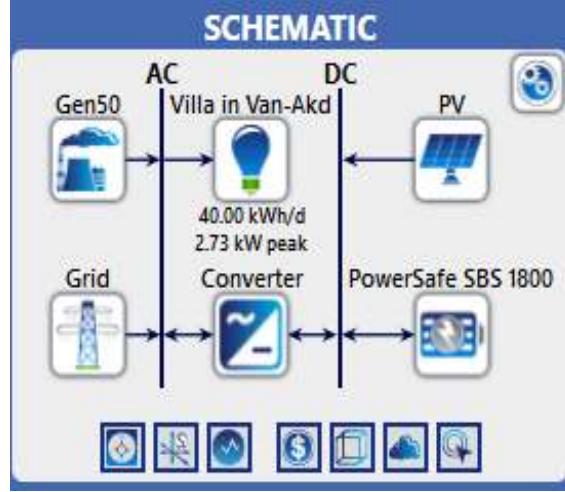
Şekil 5.7: Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit enerji sistemi HOMER şematik görünümü.

Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi Şekil 5.8’te şematik olarak verilmiştir. Şebekeye bağlı rüzgar enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 model rüzgâr türbini, Generic Small Genset jeneratör, System Converter dönüştürücü, EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir.



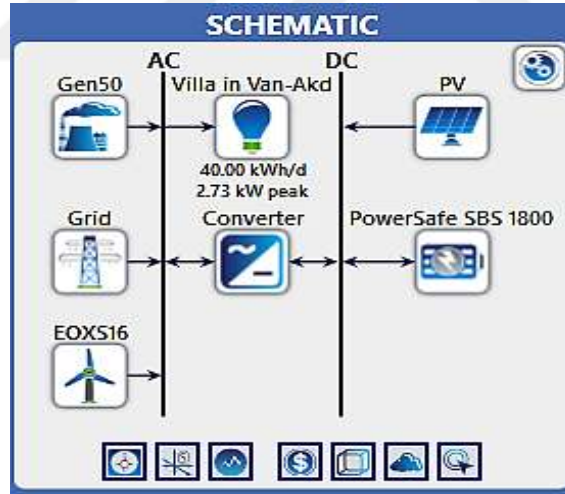
Şekil 5.8: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi HOMER şematik görünümü.

Şekil 5.9 şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemini göstermektedir. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi; Generic flat plate PV dizisi, Generic Small Genset jeneratör, System Converter dönüştürücü, EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir.



Şekil 5.9: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi sistemi HOMER şematik görünümü.

Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemine ait şematik resim Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini, Generic flat plate PV dizisi, Generic Small Genset jeneratör, System Converter dönüştürücü, EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak seçilmiştir.



Şekil 5.10: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji (rüzgâr/güneş) sistemi HOMER şematik görünümü.

Şebekeye bağlı (on-grid) sistemlerde şebeke güç ve geri ödeme fiyatları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Şebeke güç ve geri ödeme fiyatları.

Şebeke Güç Fiyatı	0.100 \$/kWh
Şebeke Satış Geri Ödeme Fiyatı	0.050 \$/kWh

5.6 Ekonomik analiz

Enerji sistemlerinde ekonomik amaç fonksiyonunu oluşturmak için birim enerji maliyeti (COE), toplam net bugünkü maliyet (NPC), işletme maliyeti (OC) ve başlangıç maliyeti (IC) hesaplanmalıdır. En önemli endeks olan COE, birim enerji üretim maliyetidir ve şu şekilde hesaplanır (Aydın ve Çoban, 2024):

$$COE \left(\frac{\$}{kWh} \right) = \frac{TYM(\$ / yıl)}{TYE(kWh / yıl)} \quad (5.1)$$

burada, TYM toplam yıllık maliyeti, TYE yıllık toplam enerji üretimini temsil etmektedir.

Toplam net bugünkü maliyet (NPC) şu şekilde hesaplanır:

$$NPC \left(\frac{\$}{yıl} \right) = \frac{TYM(\$ / yıl)}{CRF} \quad (5.2)$$

$$CRF(i, n) = \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (5.3)$$

burada, CRF, sermaye geri kazanım faktörünü; i, faiz oranını (%); n, bileşenlerin ömrünü (yıl) göstermektedir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla rüzgar enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (rüzgar/güneş) şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) olarak HOMER yazılımı kullanılarak simülasyonla modellenmiştir. İlk önce şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sistemi (RT-1), şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerji sistemi (PV-1) ve şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi (HT-1) modellemeleri yapılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu modeller “temel senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Ardından farklı kapasitelerde rüzgâr türbini ve PV panelleri içeren şebekeden bağımsız simülasyonlar (RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, PV-2, PV-3, PV-4, PV-5, HT-2, HT-3, HT-4, HT-5) gerçekleştirilmiştir. Bunlar ise “alternatif senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Son olarak farklı kapasitelerde rüzgâr türbini ve PV panelleri içeren şebekeye bağlı simülasyonlar (RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, PV-6, PV-7, PV-8, PV-9, PV-10, HT-6, HT-7, HT-8, HT-9, HT-10) gerçekleştirilmiştir.

Seçilen dubleks evin elektrik enerjisi tüketiminin 40 kWh/gün olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda seçilen dubleks evin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 15,000 kWh olmaktadır. Tüm sistemler için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir. Simülasyonlar birisi şebekeden bağımsız, diğeri şebekeye bağlı olmak üzere iki model olarak yapıldığından elde edilen bulgular aşağıda “6.1 Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Enerji Sistemleri” ve “6.2 Şebekeye Bağlı (On-Grid) Enerji Sistemleri” başlıkları altında sunularak tartışılmıştır.

6.1 Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Enerji Sistemleri

Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamaya yönelik yüksek lisans tez çalışmasının birinci kısmında, rüzgar enerjisi sistemleri, güneş enerjisi sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (rüzgar/güneş) şebekeden bağımsız olarak simülasyonla modellenmiştir.

Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sistemi (RT-1), şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerji sistemi (PV-1) ve şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji

sistemi (HT-1) modellemeleri yapılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve bu modeller “temel senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Ardından farklı kapasitelerde rüzgâr türbini ve PV panelleri içeren şebekeden bağımsız simülasyonlar (RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, PV-2, PV-3, PV-4, PV-5, HT-2, HT-3, HT-4, HT-5) gerçekleştirilmiştir. Bunlar ise “alternatif senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Tüm sistemler için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir.

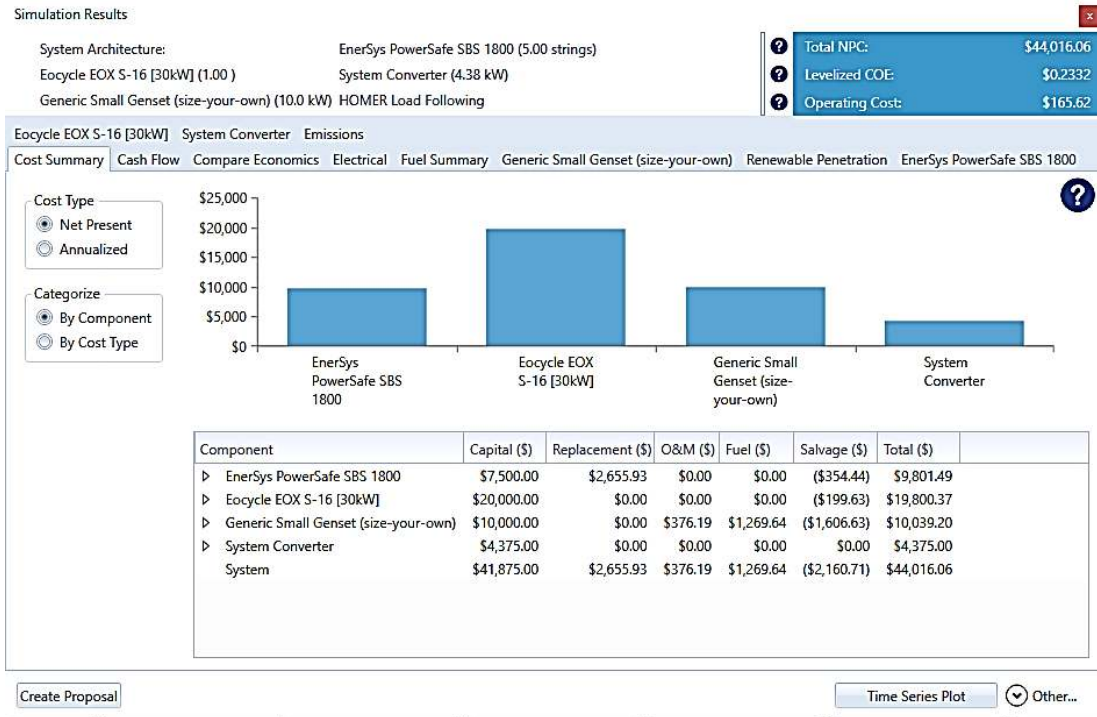
6.1.1 Şebekeden bağımsız (off-grid) temel senaryoların analizi

6.1.1.1 Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sisteminin (RT-1) analizi

Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini (30 kW), EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya (5 adet), Generic Small Genset jeneratör (10 kW) ve dönüştürücüden (4.38 kW) oluşmaktadır. Rüzgâr enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir. Rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.1’de rüzgâr enerjisi sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 ise sırasıyla aylık ortalama elektrik üretimini ve rüzgâr türbininin aylık ortalama rüzgâr hızını göstermektedir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 44,016.06 \$ ve 0.2332 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.1). Şekil 6.2’nin incelenmesi ideal sistemdeki fazla elektrik yükünün %48 olduğunu göstermektedir; başka bir deyişle üretilen elektriğin yaklaşık yarısı fazla olarak kalmaktadır. Sistem kendisine yapılan bu toplam maliyete %45.7’lik yatırım dönüşü olarak cevap vermekte ve kendisini 2.1 yılda amorti etmektedir (Çizelge 6.2). Şekil 6.4’de ise batarya simülasyon sonuçları yer almaktadır. Sistemin 5 bataryayla çalıştığı bunun da maliyetini arttırdığı görülmektedir. Rüzgâr enerji sisteminin gaz emisyon sonuçları Çizelge 6.3’de verilmiştir. Şekil 6.5 şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları vermektedir.

Çizelge 6.1: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler.

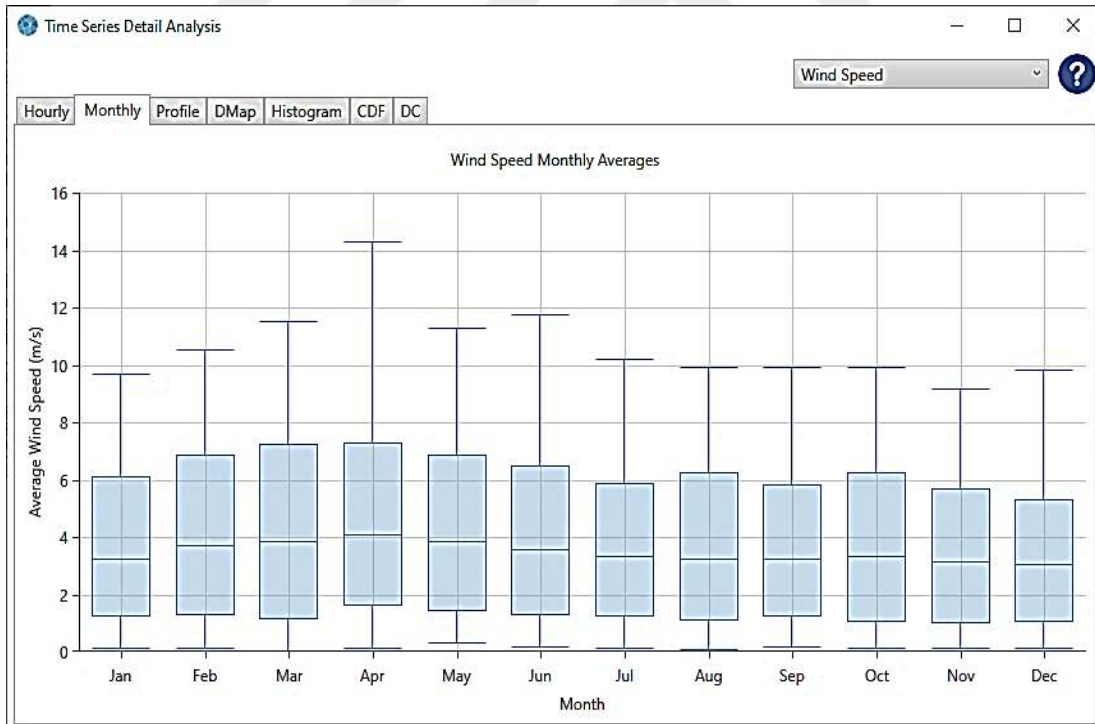
Sistem Düzeni	
Rüzgâr Türbini	30 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Batarya	5 adet
Dönüştürücü	4.38 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet	44,016.06 \$
Birim Enerji Maliyeti	0.2332 \$/kWh
İşletme Maliyeti	165.62 \$



Şekil 6.1: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerjisi sistem elemanları ve sistemin tümüne ait maliyet.



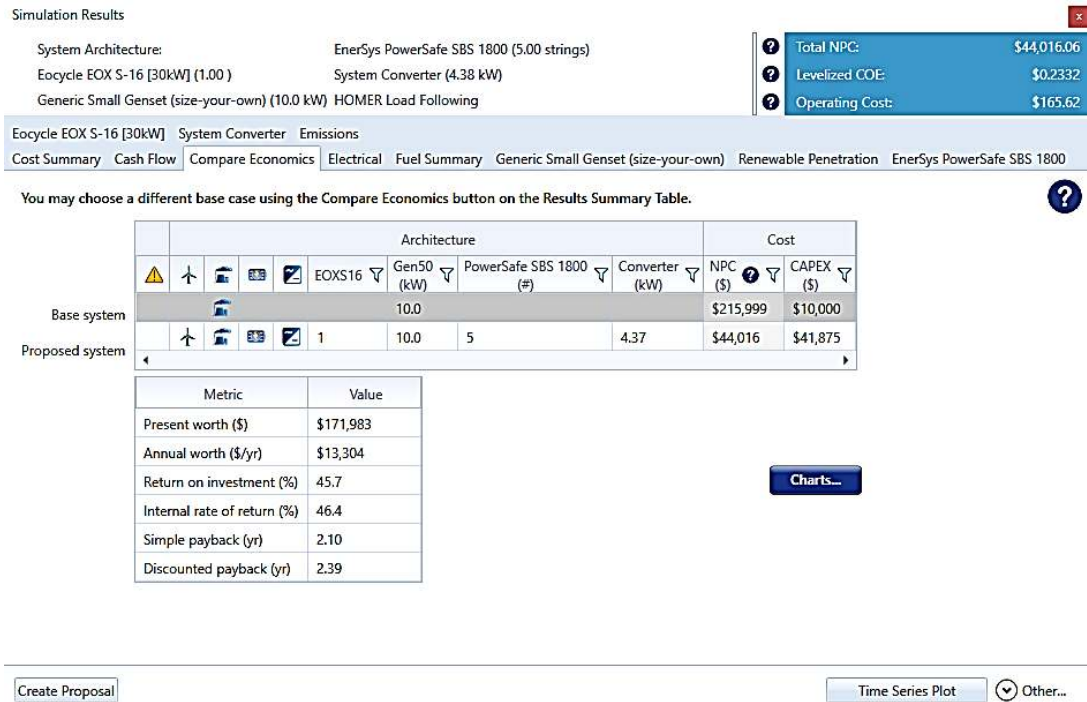
Şekil 6.2: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemi aylık ortalama elektrik üretimi.



Şekil 6.3: Şebekeden bağımsız rüzgâr türbini aylık rüzgâr hızı ortalamaları.



Şekil 6.4: Şebekeden bağımsız rüzgar enerji sistemi batarya simülasyon sonuçları.



Şekil 6.5: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.

Çizelge 6.2: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	171,983
Yıllık maliyet (\$/yıl)	13,304
Yatırım geri ödemesi (%)	45.7
Dahili getiri oranı (%)	46.4
Basit geri ödeme (yıl)	2.10
İskontolu geri ödeme (yıl)	2.39

Çizelge 6.3: Şebekeden bağımsız rüzgar enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.

Nicelik	Değer	Birim
Karbondioksit	257	kg/yıl
Karbon monoksit	1.60	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbon	0.0707	kg/yıl
Parçacıklı Maddeler	0.00963	kg/yıl
Sülfürdioksit	0.630	kg/yıl
Azot Oksitler	1.51	kg/yıl

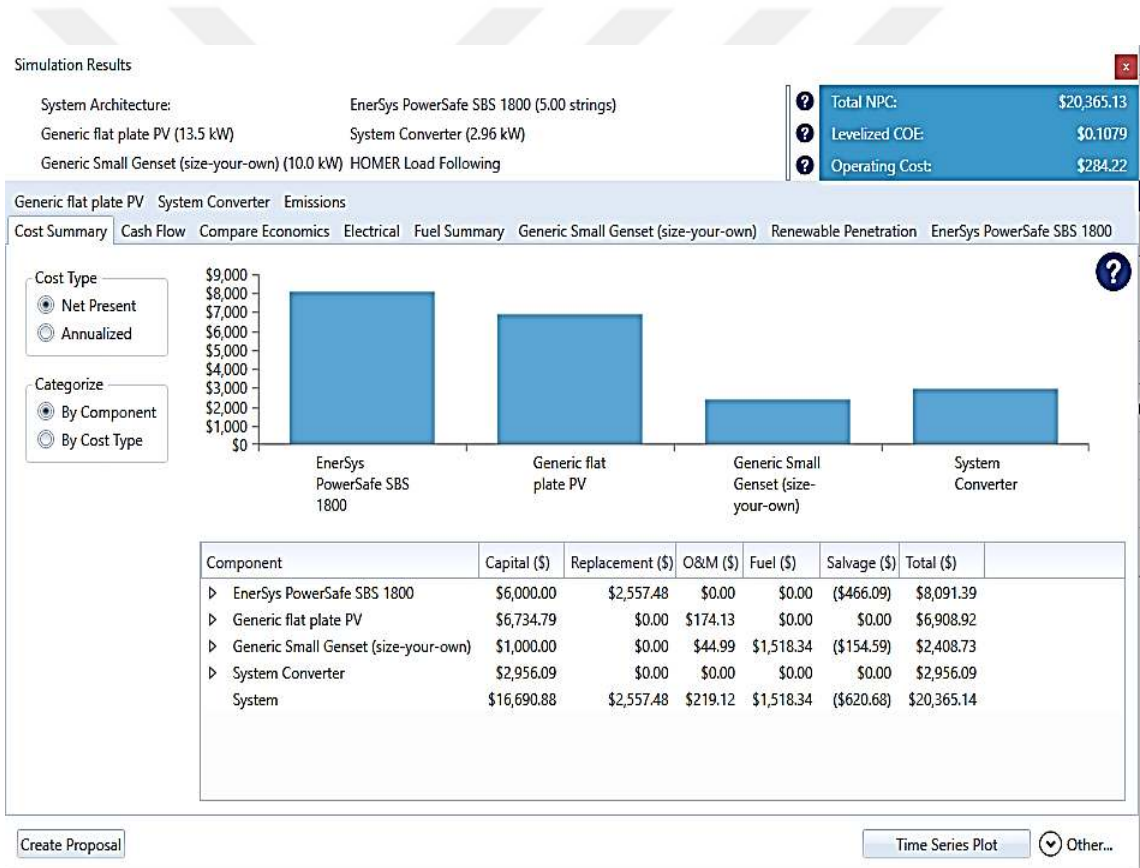
6.1.1.2 Şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerji sisteminin (PV-1) analizi

Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi; Generic flat plate PV dizisi (13.5 kW), EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya (5 adet), Generic Small Genset jeneratör (10 kW) ve dönüştürücüden (2.96 kW) oluşmaktadır. Güneş enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir. Güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.4’de verilmiştir. Şekil 6.6’da güneş enerjisi sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da sırasıyla aylık bazda elektrik üretimi, PV panel güç çıkışı aylık ortalamaları ve batarya simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, ideal sistemdeki fazla elektrik yükünün %26 olduğu görülmektedir (Şekil 6.7). Başka bir deyişle üretilen elektriğin yaklaşık dörtte biri fazla olarak kalmaktadır. Çizelge 6.5’de sistemin ekonomik açıdan çıktıları verilmiştir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 20,365.13 \$ ve 0.1079 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.4). Bu parametreler ve çıktılarına göre optimum sistemin ihtiyaç duyduğu batarya sayısı 5 ve beklenen yaşam süresi 14.9 yıldır. Sistem kendisine yapılan bu toplam maliyete %55.3’lük

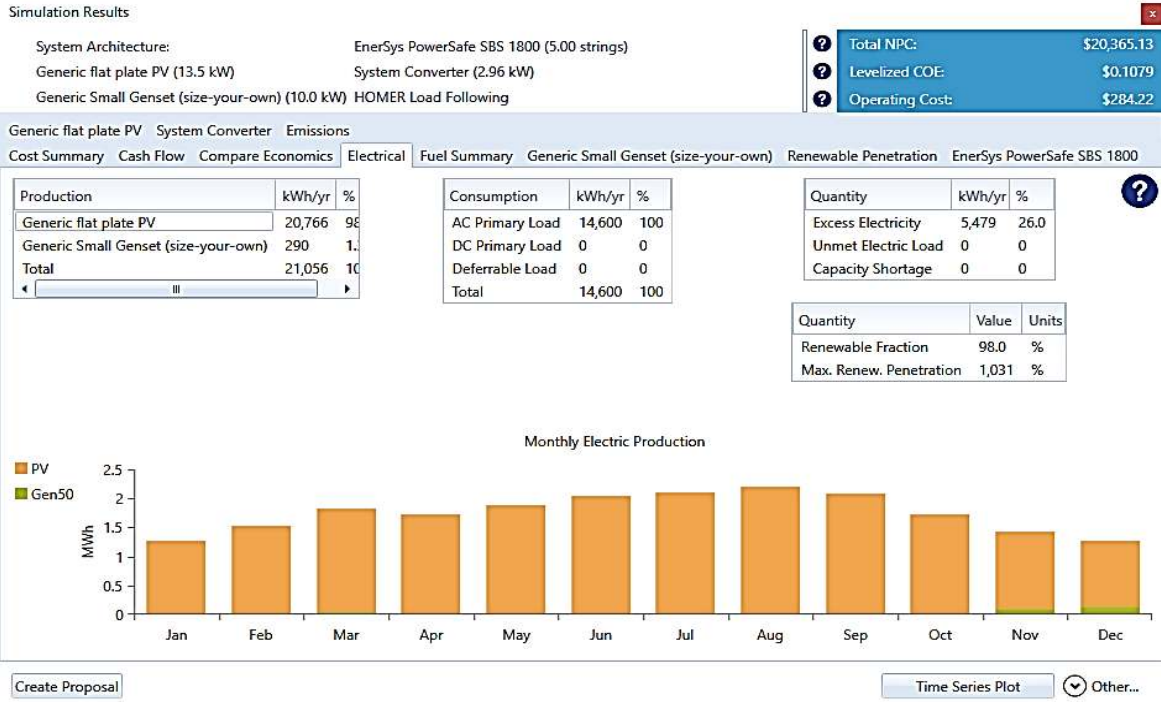
yatırım dönüşü olarak cevap vermekte ve kendisini 1.68 yılda amorti etmektedir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.4: Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.

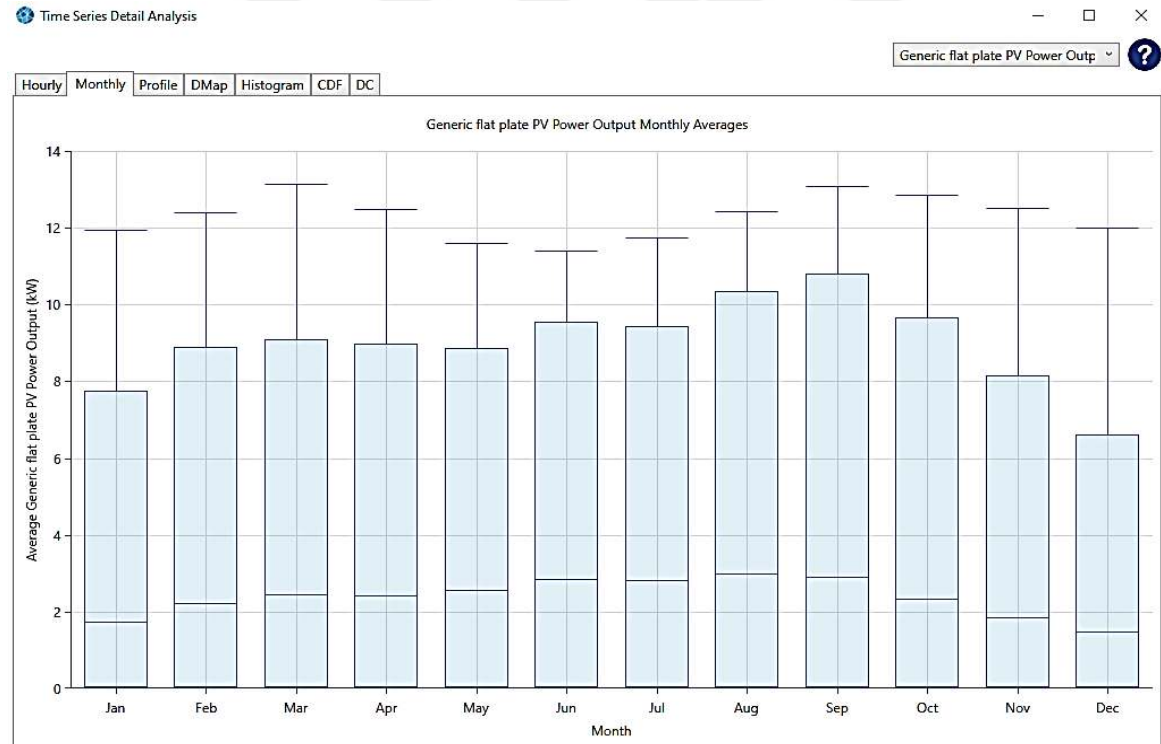
Sistem Düzeni	
PV Serisi	13.5 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Batarya	5 adet
Dönüştürücü	2.96 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet	20,365.13 \$
Birim Enerji Maliyeti	0.1079 \$/kWh
İşletme Maliyeti	284.22 \$



Şekil 6.6: Şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminin elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.



Şekil 6.7: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.



Şekil 6.8: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin PV dizisi güç çıkışı aylık ortalamaları.



Şekil 6.9: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin batarya simülasyonu sonuçları.

Çizelge 6.5: Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	104,514
Yıllık maliyet (\$/yıl)	8,085
Yatırım geri ödemesi (%)	55.3
Dahili getiri oranı (%)	59.4
Basit geri ödeme (yıl)	1.68
İskontolu geri ödeme (yıl)	1.82

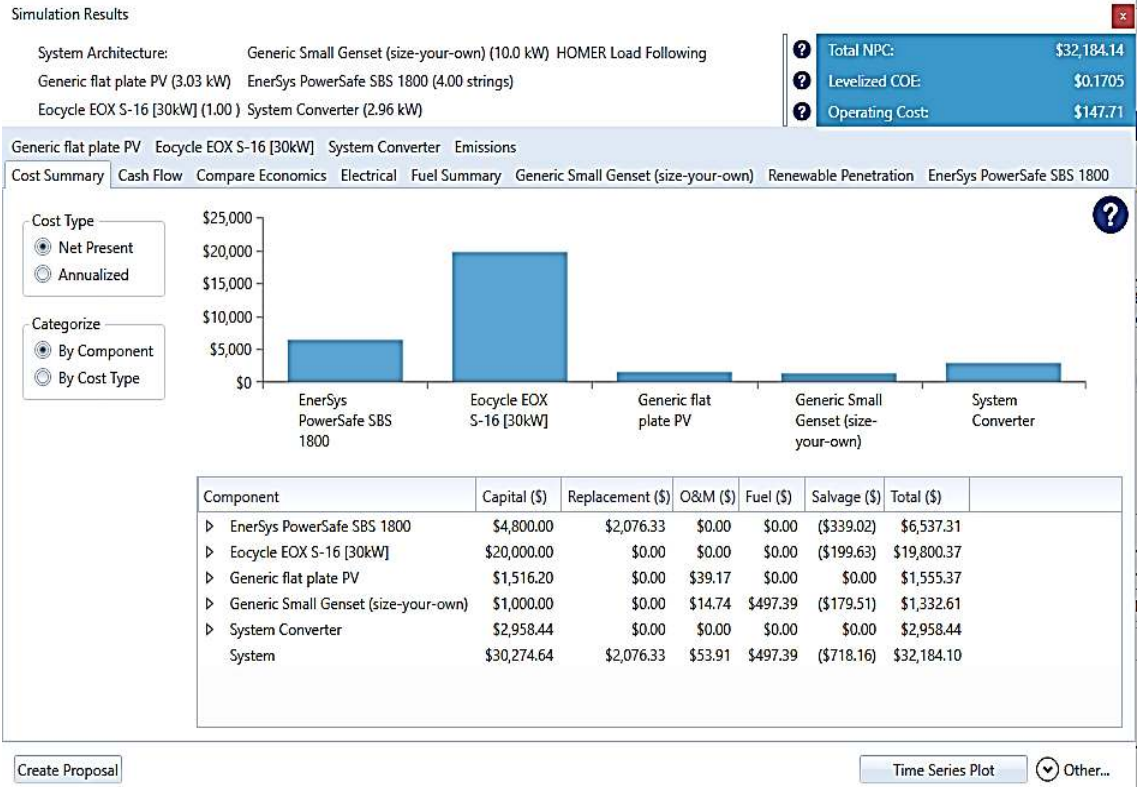
6.1.1.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) (HT-1) analizi

Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini (30 kW), Generic flat plate PV dizisi (3.03 kW), EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya (4 adet), Generic Small Genset jeneratör (10 kW) ve dönüştürücüden (2.96 kW) oluşmaktadır. Hibrit enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir. Hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.10'da hibrit enerji sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin

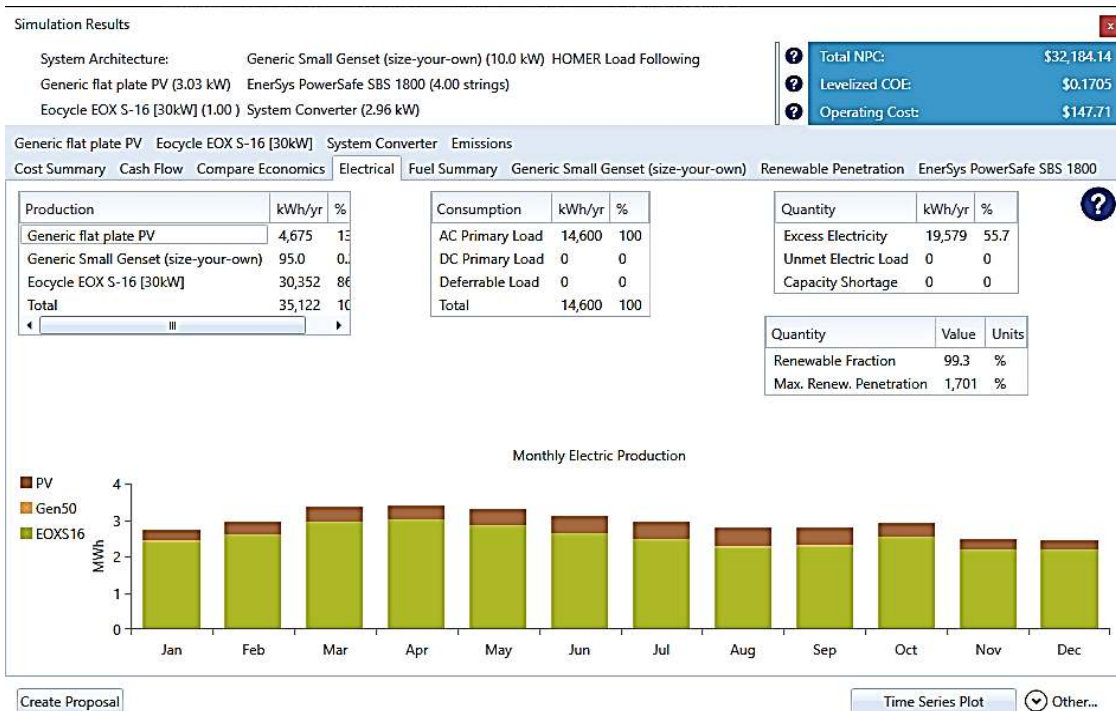
toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.11’de aylık ortalama elektrik üretimine ilişkin veriler yer almaktadır. Şekil 6.12, 6.13, 6.14 ve 6.15 ise sırasıyla hibrit sistemdeki rüzgâr türbini, PV dizisi, dizel jeneratör ve toplam güç çıkışı aylık ortalamalarını sunmaktadır. Bataryaya ait simülasyon sonuçları ise Şekil 6.16’da verilmiştir. Sistem simülasyon çıktılarında oluşan gaz emisyon değerleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 32,184.14 \$ ve 0.1705 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.6). Simülasyon sonuçları incelendiğinde, hibrit enerji sisteminde elektrik üretiminin %86,42’si rüzgâr türbinleri, %13,31’i güneş panelleri, %0,27’si dizel jeneratör tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.11’in incelenmesi ideal sistemdeki fazla elektrik yükünün %55 olduğunu göstermektedir; başka bir deyişle üretilen elektriğin yaklaşık yarısı fazla olarak kalmaktadır. Çizelge 6.8’de sistemin ekonomik açıdan çıktıları verilmiştir. Bu parametreler ve çıktılarına göre optimum sistemin ihtiyaç duyduğu batarya sayısı 4 ve beklenen yaşam süresi 14.7 yıldır. Hibrit enerji sisteminin yatırım anlamında geri dönüşü ya da amorti oranı % 59.2 ile makul bir değerde olduğunu ve kendisini 1.63 yılda telafi ettiğini söylemek mümkündür. Ayrıca hibrit modelde gaz emisyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Çizelge 6.6: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.

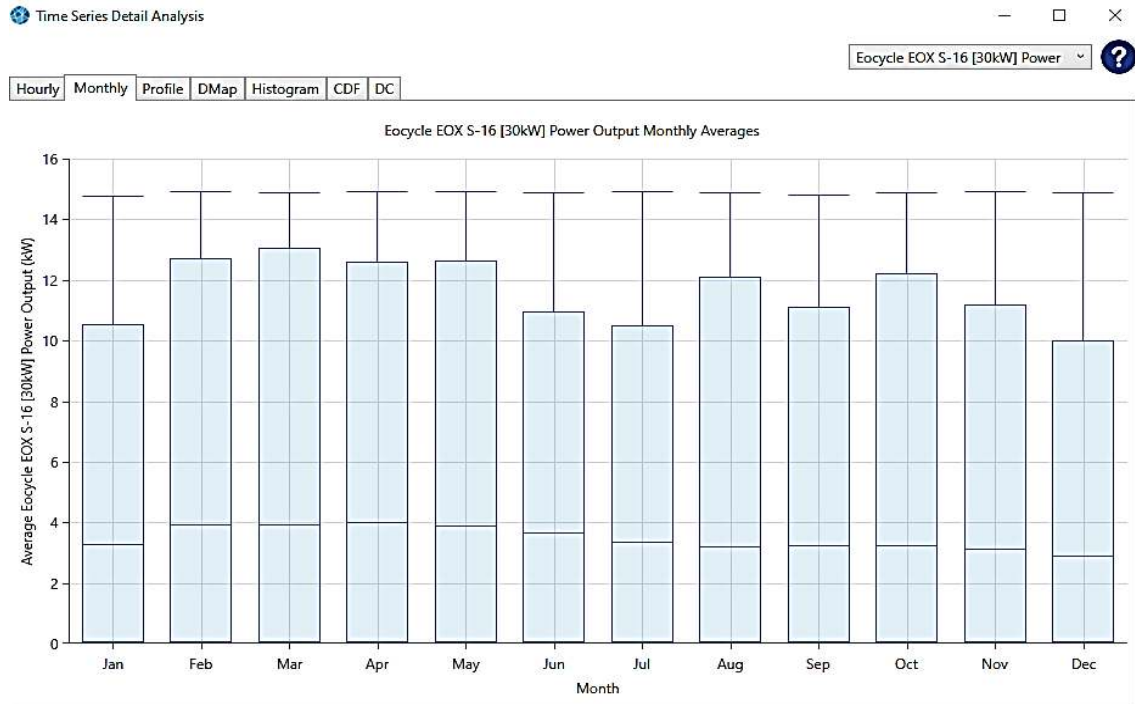
Sistem Düzeni	
Rüzgâr Türbini	30 kW
PV Dizi	3.03 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Batarya	4 adet
Dönüştürücü	2.96 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet (NPC)	32,184.14 \$
Birim Enerji Maliyeti (COE)	0.1705 \$/kWh
İşletme Maliyeti	147.71 \$



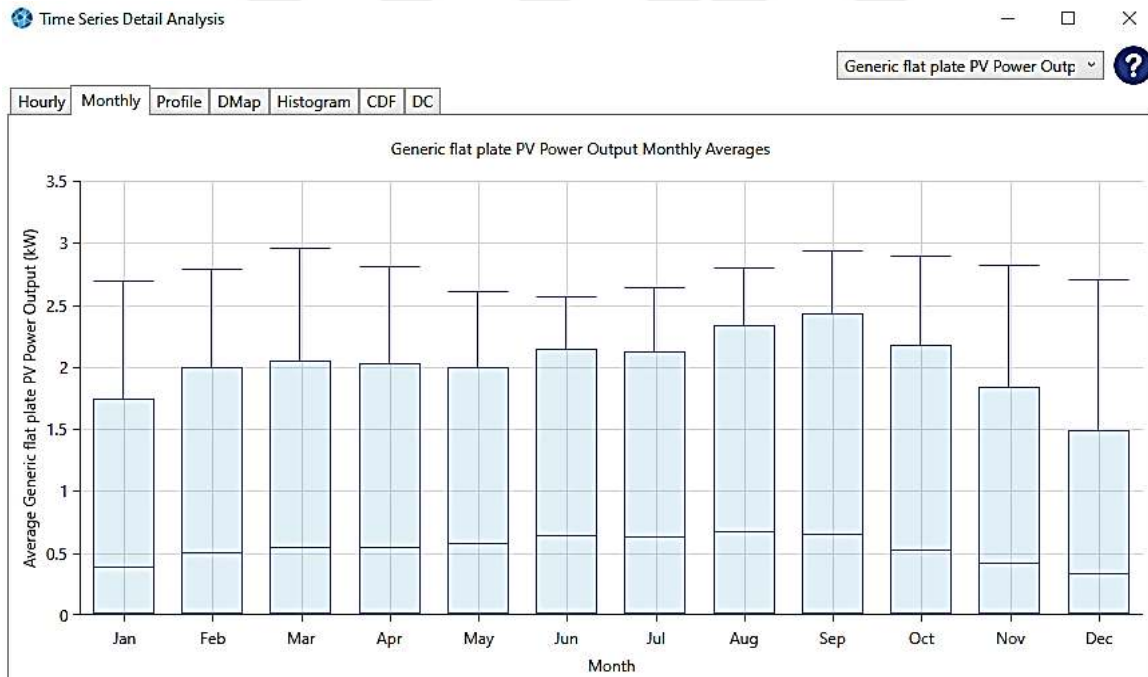
Şekil 6.10: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgâr) elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.



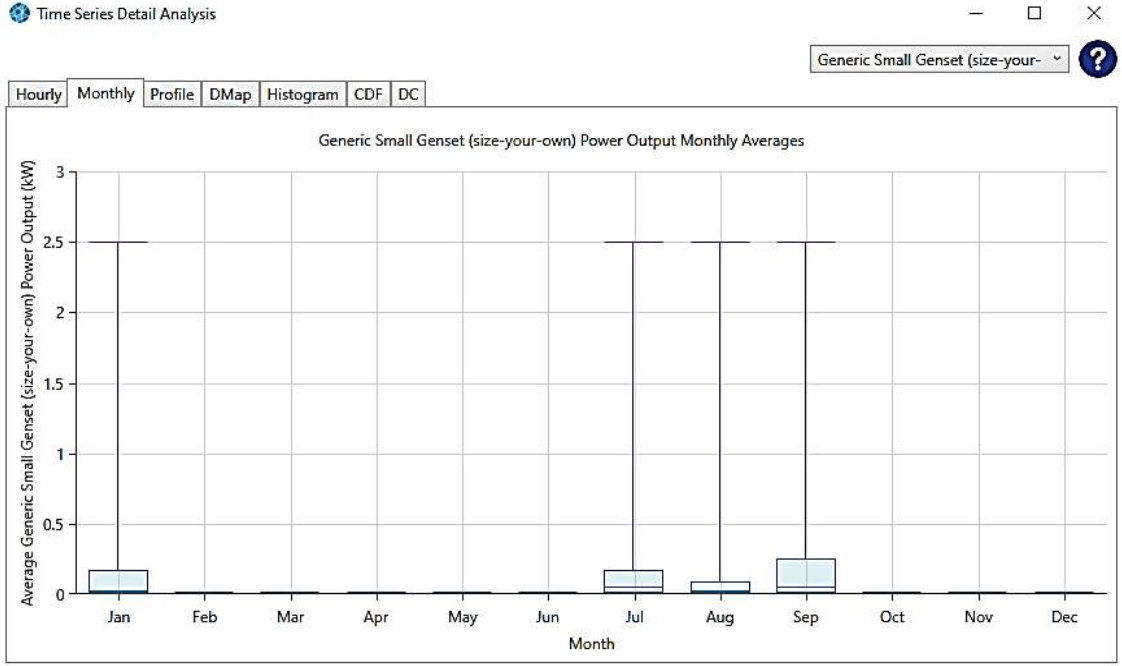
Şekil 6.11: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.



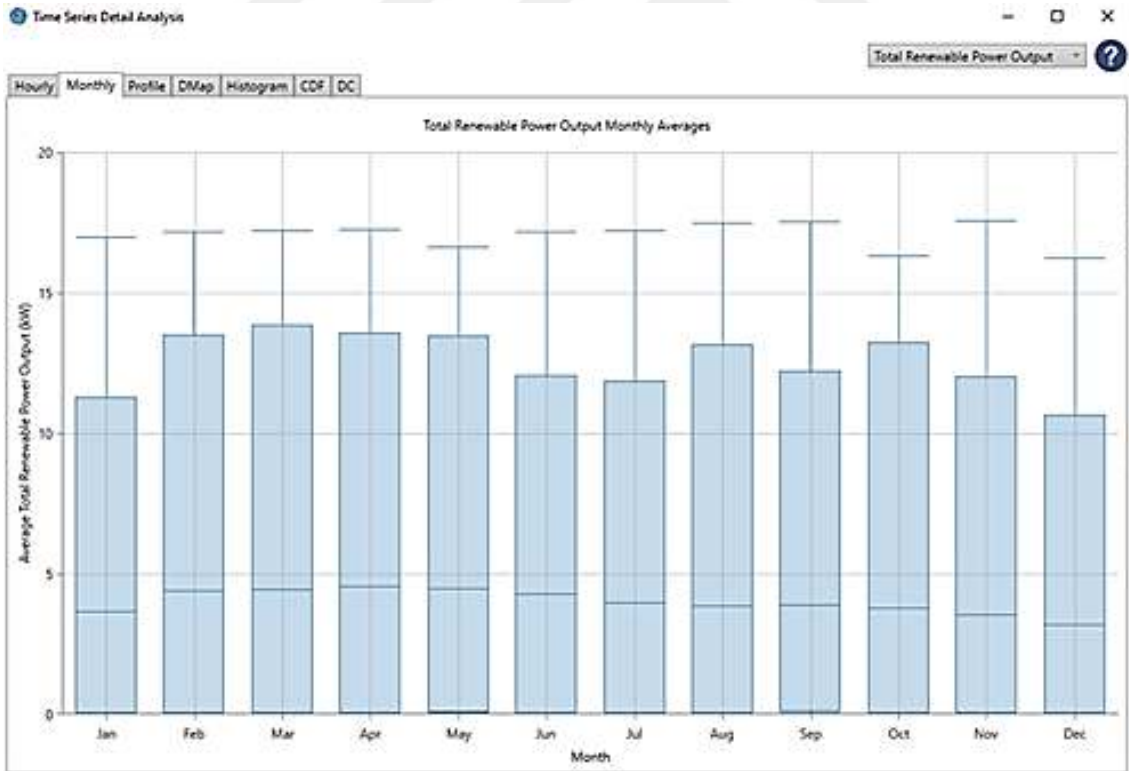
Şekil 6.12: Şebekeden bağımsız rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları.



Şekil 6.13: Şebekeden bağımsız PV dizisi güç çıkışı aylık ortalamaları.



Şekil 6.14: Şebekeden bağımsız dizel jeneratör sisteminin güç çıkışı aylık ortalamaları.



Şekil 6.15: Şebekeden bağımsız toplam güç çıkışı aylık ortalamaları.

Simulation Results

System Architecture: Generic Small Genset (size-your-own) (10.0 kW) HOMER Load Following
 Generic flat plate PV (3.03 kW) EnerSys PowerSafe SBS 1800 (4.00 strings)
 Eocycle EOX S-16 (30kW) (1.00) System Converter (2.96 kW)

Total NPC:	\$32,184.14
Levelized COE:	\$0.1705
Operating Cost:	\$147.71

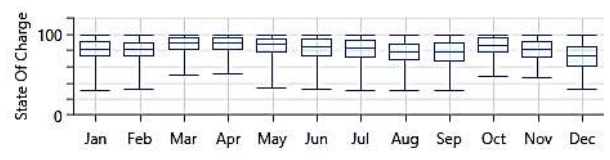
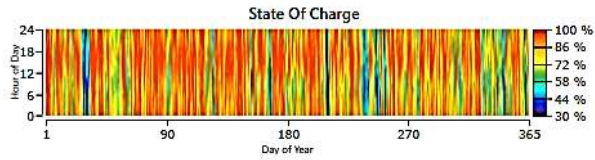
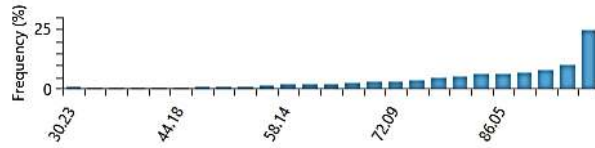
Generic flat plate PV Eocycle EOX S-16 (30kW) System Converter Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration EnerSys PowerSafe SBS 1800

Quantity	Value	Units
Batteries	4.00	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	4.00	strings
Bus Voltage	12.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	41.6	hr
Storage Wear Cost	0.0461	\$/kWh
Nominal Capacity	99.1	kWh
Usable Nominal Capacity	69.3	kWh
Lifetime Throughput	105,745	kWh
Expected Life	14.7	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	\$/kWh
Energy In	7,298	kWh/yr
Energy Out	7,104	kWh/yr
Storage Depletion	24.4	kWh/yr
Losses	219	kWh/yr
Annual Throughput	7,213	kWh/yr



Create Proposal

Time Series Plot Other...

Şekil 6.16: Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin batarya simülasyon sonuçları.

Çizelge 6.7: Şebekeden bağımsız rüzgar enerji sisteminin gaz emisyon sonuçları.

Nicelik	Değer	Birim
Karbondioksit	101	kg/yıl
Karbon monoksit	0.629	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbon	0.0277	kg/yıl
Parçacıklı Maddeler	0.00377	kg/yıl
Sülfürdioksit	0.247	kg/yıl
Azot Oksitler	0.591	kg/yıl

Çizelge 6.8: Sistemin ekonomik analizi.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	66,337
Yıllık maliyet (\$/yıl)	5,131
Yatırım geri ödemesi (%)	59.2
Dâhili getiri oranı (%)	63.1
Basit geri ödeme (yıl)	1.63
İskontolu geri ödeme (yıl)	1.76

6.1.2 Şebekeden bağımsız (off-grid) temel senaryoların sonuçlarının karşılaştırılması

Tez çalışmasında analiz edilen şebekeden bağımsız temel senaryolara temel senaryolara (RT-1, PV-1, HT-1) ait sonuçlar Çizelge 6.9'da toplu olarak sunulmuştur. Temel senaryolara ait model sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- (a) Sistemler içerisinde en yüksek birim enerji maliyetine (0.2332 \$/kWh) sahip olan sistem rüzgâr enerji sistemi, en düşük birim enerji maliyetine (0.1079 \$/kWh) sahip olan sistem güneş enerji sistemidir. Hibrit enerji sisteminin (rüzgâr/güneş) birim enerji maliyeti (0.1705 \$/kWh) bu iki sistem arasında yer almaktadır.
- (b) En düşük birim enerji maliyetine (0.1079 \$/kWh) sahip olan sistemin güneş enerji sistemi olmasında Van ilinin güneşlenme süresinin yüksek olması etkili olmuştur. Şebekeden bağımsız güneş enerjisi sisteminde 13.5 kW gücünde PV panel kullanılmış ve fazla elektrik oranı %26.00 olmuştur. Sistem yaz aylarında daha fazla enerji üretirken kış aylarında enerji üretim miktarı azalmıştır. Fazla elektrik miktarını azaltmak için farklı kapasiteli PV paneller kullanılıp simülasyonlar yapılarak optimum çözüm aranabilir.
- (c) Ülkemizde Şubat 2025 tarihi itibarıyla mesken aboneleri için 1 kWh elektrik fiyatı aylık toplam 240 kWh'e kadar 2.0723 TL/kWh (0.0575 USD/kWh), 240 kWh'ten fazlası için 3.1085 TL/kWh (0.0863 USD/kWh)'tir. Bu tarih için USD kuru 36.02 TL/USD alınmıştır. Bu tutarlara tüm vergiler (enerji bedeli, dağıtım bedeli, elektrik tüketim vergisi ve katma değer vergisi) dâhildir (EPDK, 2025). Öte yandan uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı 0.045 USD/kWh'tir (GlobalPetrolPrices, 2025). Bu değer (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeden bağımsız tüm enerji sistemleri için birim enerji fiyatları bu fiyatın üzerinde gerçekleşmiştir.
- (d) Şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sisteminde elektrik üretimine en fazla katkıyı rüzgâr türbinleri (%86.42) sağlamıştır. Güneş panellerinin elektrik üretimine katkısı oldukça azdır (%13.31).
- (e) Şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %26.00 ile %55.70 arasında değer almıştır. En yüksek fazla elektrik miktarı (%55.70) şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sisteminde, en düşük fazla elektrik miktarı (%26.00) şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminde meydana gelmiştir. Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminde fazla elektrik miktarı %48.30 olarak gerçekleşmiştir. Şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde fazla enerji miktarlarının fazla olması

(%26.00-%55.70) daha düşük kapasiteli rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri kullanılarak incelenen dubleks evin elektrik gereksiniminin karşılanabileceği anlamına gelmektedir.

- (f) Şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarını azaltmak için rüzgâr türbini kapasitesi ve güneş panellerinin kapasitesi azaltılarak baha fazla batarya ve daha yüksek kapasitede dönüştürücü kullanılabilir. Ancak bu tasarımın birim enerji maliyetini önemli ölçüde artırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 6.9: Şebekeden bağımsız temel senaryo sonuçlarının karşılaştırılması.

Sistem Tipi	RT (kW)	PV (kW)	DJ (kW)	Batarya (Adet)	Dnştrc. (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Fazla Elekt. (%)
Senaryo 1 (RT-1)	30	-	10	5	4.38	44,016.06	0.2332	48.30
Senaryo 2 (PV-1)	-	13.50	10	5	2.96	20,365.13	0.1079	26.00
Senaryo 3 (HT-1)	30	03.03	10	4	2.96	32,184.14	0.1705	55.70

6.1.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) alternatif senaryoların analizi ve temel senaryolar ile karşılaştırılması

Temel senaryo analiz sonuçları göz önüne alınarak temel senaryo kapasitelerinden farklı rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri kapasitelerine sahip 12 senaryo daha simüle edilerek analiz edilmiştir. 3 adet temel senaryo haricinde (RT-1, PV-1, HT-1) ek olarak 4 adet şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemi senaryosu (RT-2, RT-3, RT-4, RT-5), 4 adet şebekeden bağımsız güneş enerji sistemi senaryosu (PV-2, PV-3, PV-4, PV-5) ve 4 adet şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi senaryosu (HT-2, HT-3, HT-4, HT-5) senaryosu analiz edilmiştir. Bu senaryolar alternatif senaryolar olarak adlandırılmıştır. 3 adet temel senaryo ve 12 adet alternatif senaryo olmak üzere toplam 15 adet senaryoya ait sonuçlar toplu olarak Çizelge 6.10'da verilmiştir. Temel ve alternatif senaryolara ait model sonuçlarının incelenmesi sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- (a) Rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1681-0.4457 \$/kWh arasında değişmektedir. Rüzgâr enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (0.1681 \$/kWh) olan sistem RT-4 sistemidir. Bu sistemde rüzgâr türbininin gücü 10 kW, batarya sayısı 5 adet, dönüştürücü gücü 4.30 kW'tır. Öte yandan RT-5 sisteminde rüzgâr türbininin gücü 5 kW olmasına rağmen birim enerji maliyeti en yüksektir (0.4457 \$/kWh). Bu durum batarya sayısının az olmasına ve dönüştürücü gücünün yüksek olmasına bağlanabilir.

- (b) Rüzgâr enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.07 ile %64.50 arasında değişmektedir. En düşük fazla enerji miktarı rüzgâr türbini gücünün en düşük olduğu (5 kW) RT-5 sisteminde elde edilmiştir.
- (c) Güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1079-0.3987 \$/kWh arasında değişmektedir. Güneş enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (0.1079 \$/kWh) olan sistem PV-1 sistemidir. Bu sistemde PV panellerinin gücü 13.5 kW, batarya sayısı 5 adet, dönüştürücü gücü 2.96 kW'tır. Güneş enerji sistemlerinde PV-2 sisteminin birim enerji maliyeti en yüksek (0.3987 \$/kWh) bulunmuştur.
- (d) Güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.25 ile %56.90 arasında değişmektedir. En düşük fazla enerji miktarı PV panel gücünün en düşük olduğu (2.48 kW) PV-5 sisteminde elde edilmiştir. PV panellerinin sayısının azalması ile fazla enerji miktarı azalmaktadır.
- (e) Hibrit enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0804-0.2108 \$/kWh arasında değişmektedir. Hibrit enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (0.0804 \$/kWh) olan sistem HT-2 sistemidir. Bu sistemde rüzgâr türbininin gücü 11 kW, PV panellerinin gücü 8 kW, batarya sayısı 3 adet, dönüştürücü gücü 2.94 kW'tır.
- (f) Hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %03.20 ile %55.70 arasında değişmektedir. En düşük fazla enerji miktarı HT-4 sisteminde elde edilmiştir.

Çizelge 6.10: Farklı kapasiteler içeren alternatif şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri sonuçlarının karşılaştırılması.

Sistem Tipi	RT (kW)	PV (kW)	DJ (kW)	Batarya (Adet)	Dnstrc. (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Fazla Elekt. (%)
Rüzgâr Enerji Sistemleri (RT)								
Senaryo 1 (RT-1)	30	-	10	5	4.38	44,016.06	0.2332	48.30
Senaryo 2 (RT-2)	25	-	10	4	3.83	37,683.40	0.2006	61.60
Senaryo 3 (RT-3)	20	-	10	4	3.05	32,934.94	0.1745	64.50
Senaryo 4 (RT-4)	10	-	10	5	4.30	31,734.32	0.1681	45.30
Senaryo 5 (RT-5)	05	-	10	2	8.26	84,118.28	0.4457	00.07
Güneş Enerji Sistemleri (PV)								
Senaryo 6 (PV-1)	-	13.50	10	5	2.96	20,365.13	0.1079	26.00
Senaryo 7 (PV-2)	-	20.00	10	3	3.73	75,247.89	0.3987	56.90
Senaryo 8 (PV-3)	-	08.25	10	4	5.26	25,588.28	0.1356	03.43
Senaryo 9 (PV-4)	-	04.40	10	2	4.87	60,478.20	0.3204	01.05
Senaryo 10 (PV-5)	-	02.48	10	2	2.09	63,720.17	0.3376	00.25
Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemleri (HT)								
Senaryo 11 (HT-1)	30	03.03	10	4	2.96	32,184.14	0.1705	55.70
Senaryo 12 (HT-2)	11	08.25	10	3	2.94	15,173.55	0.0804	47.30
Senaryo 13 (HT-3)	05	07.00	10	4	2.94	39,793.72	0.2108	05.95
Senaryo 14 (HT-4)	06	04.40	10	3	2.93	30,825.74	0.1633	03.20
Senaryo 15 (HT-5)	20	01.94	10	3	2.95	22,806.30	0.1208	67.10

Rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1681-0.4457 \$/kWh arasında, güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1079-0.3987 \$/kWh arasında, hibrit (rüzgâr/güneş) enerji

sistemlerinin COE değerleri 0.0804-0.2108 \$/kWh arasında değişmiştir. Rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri arasında genel bir karşılaştırma yapıldığında en düşük birim enerji maliyetine sahip sistemlerin hibrit enerji sistemleri olduğu görölmektedir. Toplam net bugünkü maliyet (NPC), sistem bileşenlerinin maliyetinin toplamından oluşmaktadır. Rüzgâr enerji sisteminin bileşenleri rüzgâr türbini, batarya, jeneratör ve dönüştürücü; güneş enerji sisteminin bileşenleri PV panelleri, batarya, jeneratör ve dönüştürücü; hibrit enerji sisteminin bileşenleri rüzgâr türbini, PV panelleri, batarya, jeneratör ve dönüştürücüdür. Her bir bileşenin toplam net bugünkü maliyeti ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Rüzgâr türbininin gücü, PV panellerinin gücü, batarya sayısı ve dönüştürücü gücü toplam net bugünkü maliyeti önemli oranda etkilemektedir.

Rüzgâr enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.07-%64.50, güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.25-%56.90, hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %03.20-%67.10 arasında değişmiştir. Fazla elektrik miktarı rüzgâr türbini gücüne, PV panelleri gücüne, batarya gücüne, dönüştürücü gücüne ve jeneratör gücüne bağlıdır. Her bir konfigürasyonda bileşenlerin sayısı ve güçleri çok farklı değerler içerdüğinden fazla elektrik miktarı geniş bir aralıkta değişim göstermiştir. Yapılan simölasyonlar rüzgâr türbin gücünün ve PV panellerinin sayısının azalması ile fazla enerji miktarının azaldığını göstermektedir.

Tüm bunlarla birlikte fazla elektriğin temel nedeninin bataryaların yüksek fiyatları olduğu söylenebilir. HOMER, sistemi en düşük maliyete sahip olacak şekilde optimize ettiğinden, bataryada depolamak yerine daha fazla elektrik üretme eğilimindedir. Bataryaların yüksek maliyetlerinin hibrit sistemlerin tasarımında önemli bir sorun olduğu iddia edilebilir. Batarya fiyatlarının önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde düşmesi beklendiğinden, toplam maliyetin önemli ölçüde azalacağı ve böylece hibrit sistemlerin gelecekte daha uygulanabilir ve yaygın olacağını söylemek mümkündür.

6.2. şebekeye Bağlı (On-Grid) Enerji Sistemleri

Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamaya yönelik yüksek lisans tez çalışmasının ikinci kısmında, rüzgar enerjisi sistemleri, güneş enerjisi sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (rüzgar/güneş) şebekeye bağlı olarak simölasyonla modellenmiştir.

şebekeden bağımsız sistemlerle benzer şekilde ilk önce şebekeye şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi (RT-6), şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemi (PV-6) ve

şebekeye bağlı (on-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi (HT-6) modellemeleri yapılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve bu modeller “temel senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Ardından farklı kapasitelerde rüzgâr türbini ve PV panelleri içeren şebekeye bağlı simülasyonlar (RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, PV-7, PV-8, PV-9, PV-10, HT-7, HT-8, HT-9, HT-10) gerçekleştirilmiştir. Bunlar ise “alternatif senaryolar” olarak adlandırılmıştır. Tüm sistemler için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir.

6.2.1 Şebekeye bağlı (on-grid) temel senaryoların analizi

6.2.1.1 Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin (RT-6) analizi

Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini (30 kW), EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya (1 adet), Generic Small Genset jeneratör (10 kW), dönüştürücü (3.00 kW) ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Elektrik şebekesi satış kapasitesi 10,000 kW, satın alma kapasitesi şebeke güç değeri ise 1,000 kW olarak sisteme girilmiştir. Rüzgâr enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir.

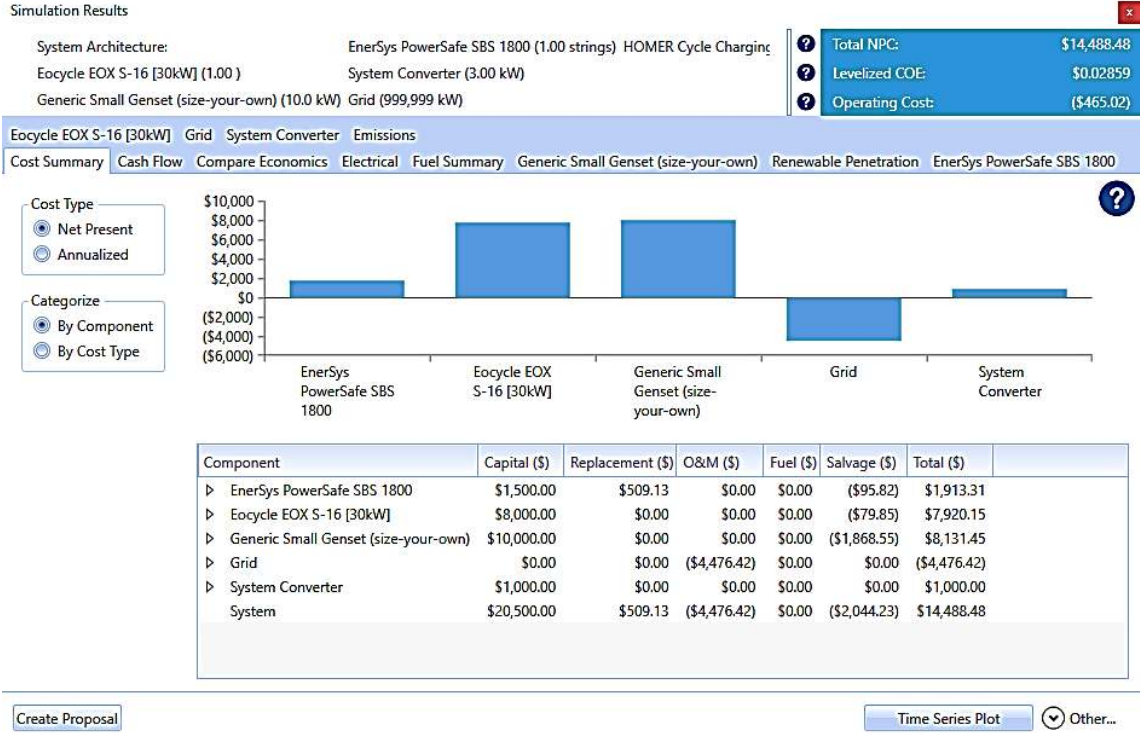
Rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.17’de rüzgâr enerjisi sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.18 ve Şekil 6.19 ise sırasıyla şebekeye bağlı rüzgâr enerjisi sisteminin aylık ortalama elektrik üretimini ve şebeke elektrik alım-satım değerlerini göstermektedir. Çizelge 6.12 şebekeye bağlı rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları vermektedir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 14,488.48 \$ ve 0.0286 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.11). Şekil 6.18’in incelenmesi ideal sistemdeki fazla elektrik miktarının sıfır olduğunu göstermektedir; başka bir deyişle hiç fazla elektrik bulunmamaktadır. Sistem kendisine yapılan bu toplam maliyete %18.7’lik yatırım dönüşü olarak cevap vermekte ve kendisini 4.43 yılda amorti etmektedir (Çizelge 6.12).

Aylık ortalama elektrik üretimi grafiğinde de görüleceği üzere yıllık bazda üretilen elektriğin %77.5’i türbinden, geriye kalanı (%22.5) ise şebekeden sağlanmaktadır. Rüzgâr hızının yüksek olması elektrik üretimini ve yenilenebilir enerji oranını olumlu yönde etkilemiştir.

Buna ek olarak fazla elektriğin sıfır olması ve gaz emisyon değerlerinin çok düşük olması iyi bir avantajdır (Çizelge 6.13).

Çizelge 6.11: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler.

Sistem Düzeni	
Rüzgâr Türbini	30 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Şebeke	1000 kW
Batarya	1 adet
Dönüştürücü	3.00 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet	14,488.48 \$
Birim Enerji Maliyeti	0.0286 \$/kWh
İşletme Maliyeti	465.02 \$



Şekil 6.17: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerjisi sistem elemanları ve sistemin tümüne ait maliyet.

Simulation Results

System Architecture: EnerSys PowerSafe SBS 1800 (1.00 strings) HOMER Cycle Charging
 Eocycle EOX S-16 [30kW] (1.00) System Converter (3.00 kW)
 Generic Small Genset (size-your-own) (10.0 kW) Grid (999,999 kW)

Total NPC:	\$14,488.48
Levelized COE:	\$0.02859
Operating Cost:	(\$465.02)

Eocycle EOX S-16 [30kW] Grid System Converter Emissions

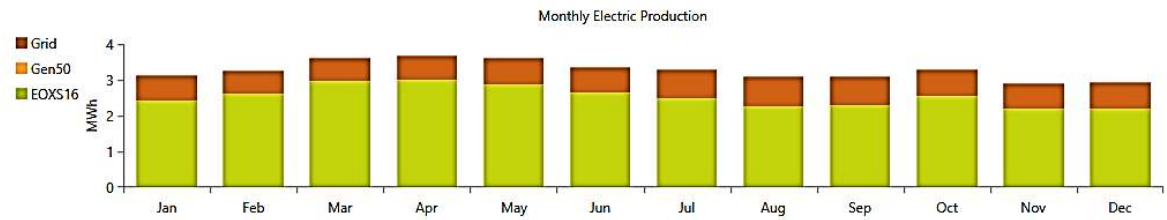
Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration EnerSys PowerSafe SBS 1800

Production	kWh/yr	%
Generic Small Genset (size-your-own)	0	0
Eocycle EOX S-16 [30kW]	30,352	77.5
Grid Purchases	8,837	22.5
Total	39,189	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	14,600	37.2
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	24,599	62.8
Total	39,199	100

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

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	77.5	%
Max. Renew. Penetration	283	%



Create Proposal

Time Series Plot Other...

Şekil 6.18: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemi aylık ortalama elektrik üretimi.

Simulation Results

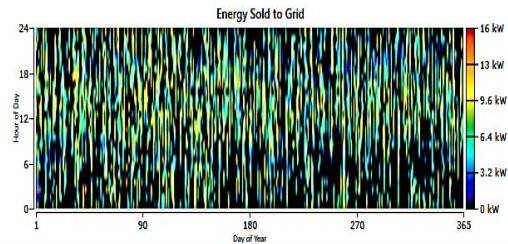
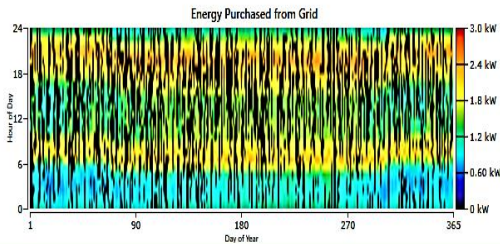
System Architecture: System Converter (3.00 kW)
 Eocycle EOX S-16 [30kW] (1.00) Grid (999,999 kW)
 Generic Small Genset (size-your-own) (10.0 kW) HOMER Cycle Charging
 EnerSys PowerSafe SBS 1800 (1.00 strings)

Total NPC:	\$14,488.48
Levelized COE:	\$0.02859
Operating Cost:	(\$465.02)

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic Small Genset (size-your-own) Renewable Penetration EnerSys PowerSafe SBS 1800 Eocycle EOX S-16 [30kW] Grid System Converter Emissions

Rate Schedule: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Load (kW)	Energy Charge \$	Demand Charge \$
January	693	1,994	-1,300	3	(\$30.35)	\$0
February	617	2,067	-1,450	3	(\$41.66)	\$0
March	673	2,427	-1,754	3	(\$54.04)	\$0
April	674	2,462	-1,788	3	(\$55.67)	\$0
May	750	2,337	-1,587	3	(\$41.86)	\$0
June	723	2,101	-1,378	3	(\$32.74)	\$0
July	813	1,980	-1,167	3	(\$17.74)	\$0
August	850	1,784	-934	3	(\$4.19)	\$0
September	808	1,838	-1,030	3	(\$11.11)	\$0
October	746	2,039	-1,293	3	(\$27.32)	\$0
November	721	1,789	-1,068	3	(\$17.34)	\$0
December	768	1,781	-1,013	3	(\$12.25)	\$0
Annual	8,837	24,599	-15,762	3	(\$346.27)	\$0



Şekil 6.19: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin şebeke elektrik alım-satım değerleri.

Çizelge 6.12: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	15,417
Yıllık maliyet (\$/yıl)	1,193
Yatırım geri ödemesi (%)	18.7
Dahili getiri oranı (%)	22.4
Basit geri ödeme (yıl)	4.43
İskontolu geri ödeme (yıl)	5.29

Çizelge 6.13: Şebekeye bağlı (on-grid) rüzgar enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.

Nicelik	Değer	Birim
Karbondioksit	-9,962	kg/yıl
Karbon monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbon	0	kg/yıl
Parçacıklı Maddeler	0	kg/yıl
Sülfürdioksit	-43.2	kg/yıl
Azot Oksitler	-21.1	kg/yıl

6.2.1.2 Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin (PV-6) analizi

Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi; Generic flat plate PV dizisi (9 kW), EnerSys PowerSafe SBS 1800 batarya (2 adet), Generic Small Genset jeneratör (10 kW), dönüştürücü (2.37 kW) ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Elektrik şebekesi satış kapasitesi 10,000 kW, satın alma kapasitesi ise 1,000 kW olarak sisteme girilmiştir. Güneş enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir.

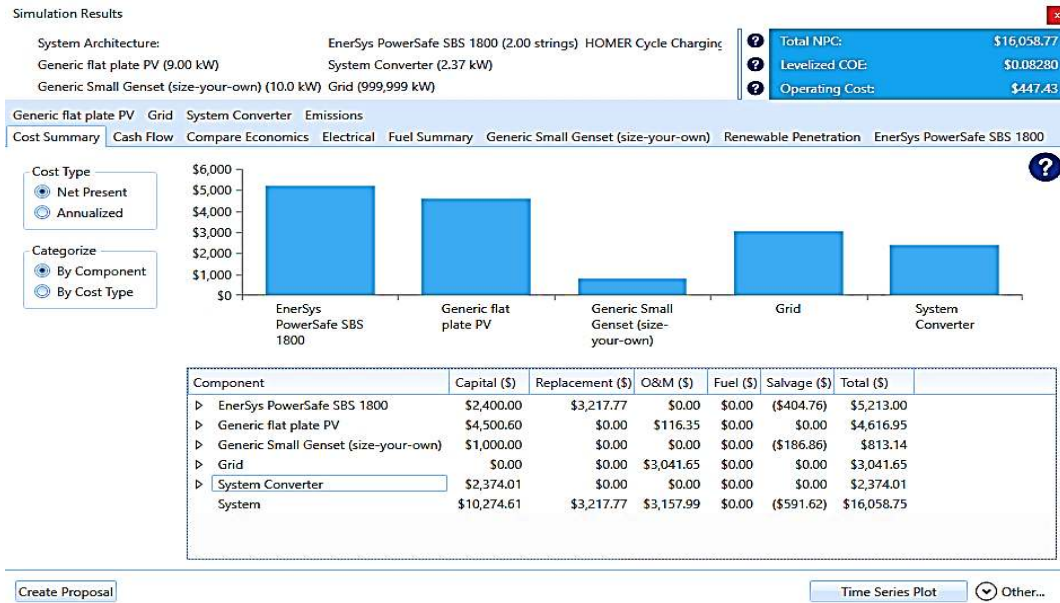
Güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.14’de verilmiştir. Şekil 6.20’de güneş enerjisi sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 ise sırasıyla şebekeye bağlı güneş enerjisi sisteminin aylık ortalama elektrik üretimini ve şebekeden alınan ve satılan elektrik miktarlarını göstermektedir. Çizelge 6.15 şebekeye bağlı güneş enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktılarını vermektedir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 16,058.77 \$ ve 0.0828 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.14). Sistemdeki fazla elektrik yükünün % 3.56 olduğu görülmektedir (Şekil 6.21). Başka bir deyişle üretilen elektriğin çok az bir miktarı fazla olarak kalmaktadır. Güneş enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları Çizelge 6.15’de

verilmiştir. Bu parametreler ve çıktılarına göre optimum sistemin ihtiyaç duyduğu batarya sayısının 2 ve optimum şebekeye bağlı güneş enerjisi sisteminin yatırım anlamında geri dönüşü ya da amorti oranının % 6.7 olduğunu ve kendisini 9.6 yılda amorti ettiğini söylemek mümkündür (Çizelge 6.15). Maliyetlerin fazla olmasının sebebinin bataryaların, dönüştürücünün sisteme oranla pahalı olması olduğu söylenebilir.

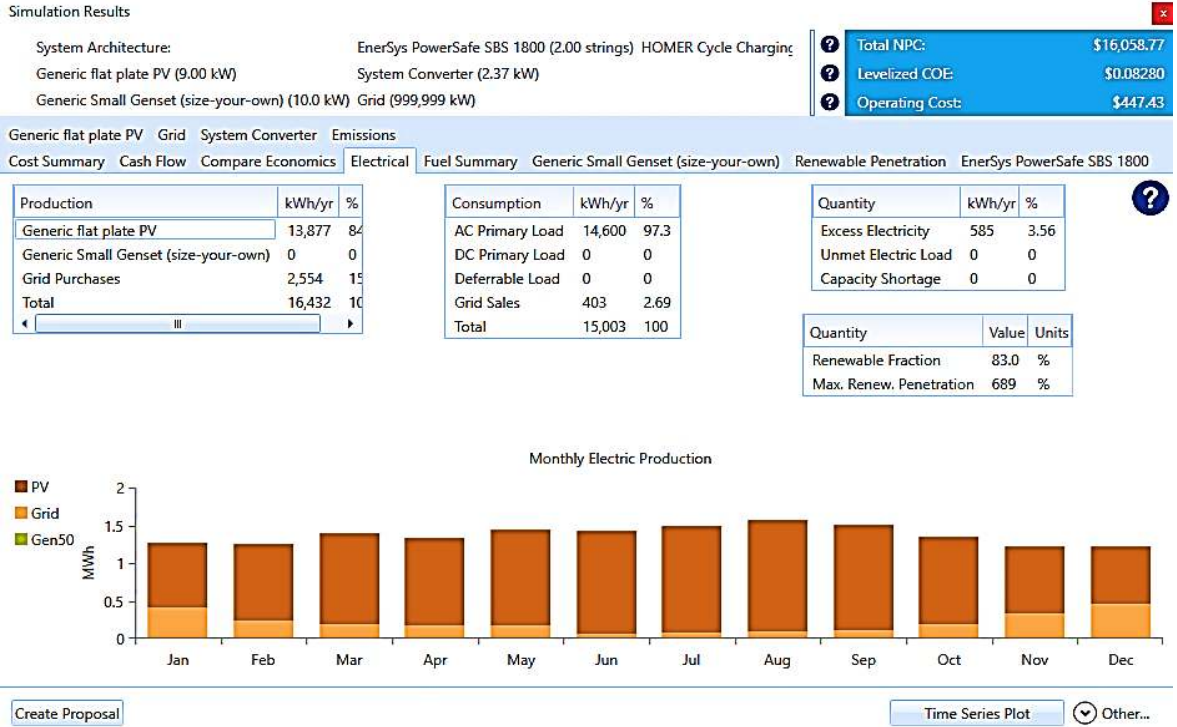
Aylık ortalama elektrik üretimi grafiğinde de görüleceği üzere yıllık bazda üretilen elektriğin %85'i fotovoltaik panellerden, geriye kalanı (%15) ise şebekeden sağlanmaktadır. Van ilinin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması elektrik üretimini ve yenilenebilir enerji oranını olumlu yönde etkilemiştir. Buna ek olarak fazla elektriğin çok düşük olması ve gaz emisyon değerlerinin çok düşük olması iyi bir avantajdır (Çizelge 6.16).

Çizelge 6.14: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.

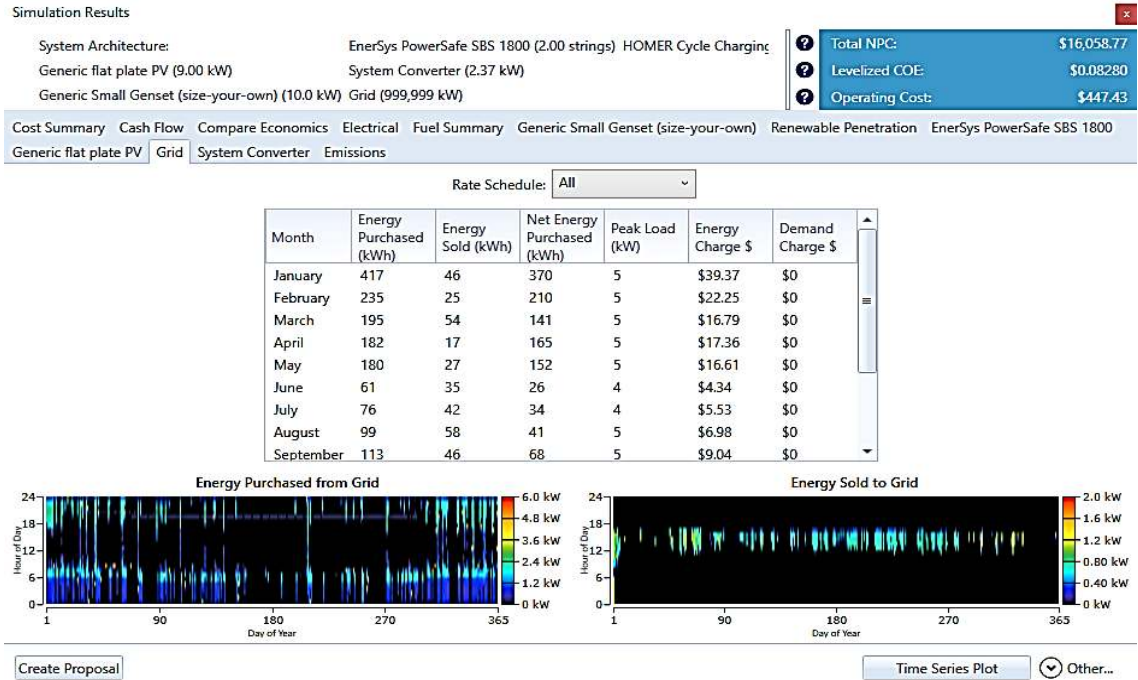
Sistem Düzeni	
PV Serisi	9 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Şebeke	1000 kW
Batarya	2 adet
Dönüştürücü	2.37 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet	16,058.77 \$
Birim Enerji Maliyeti	0.0828 \$/kWh
İşletme Maliyeti	447.43 \$



Şekil 6.20: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.



Şekil 6.21: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin aylık ortalama elektriksel üretimi.



Şekil 6.22: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin şebeke elektrik alım-satım değerleri.

Çizelge 6.15: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktıları.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	3,629
Yıllık maliyet (\$/yıl)	281
Yatırım geri ödemesi (%)	6.7
Dahili getiri oranı (%)	10.0
Basit geri ödeme (yıl)	9.60
İskontolu geri ödeme (yıl)	12.99

Çizelge 6.16: Şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemi gaz emisyon sonuçları.

Nicelik	Değer	Birim
Karbondioksit	-9,955	kg/yıl
Karbon monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbon	0	kg/yıl
Parçacıklı Maddeler	0	kg/yıl
Sülfürdioksit	-43.2	kg/yıl
Azot Oksitler	-21.1	kg/yıl

6.2.1.3 Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) (HT-6) analizi

Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sistemi; Eocycle EOX S-16 rüzgâr türbini (30 kW), Generic flat plate PV dizisi (3.95 kW), Generic Small Genset jeneratör (10 kW), dönüştürücü (1.76 kW) ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Elektrik şebekesi satış kapasitesi 10,000 kW, satın alma kapasitesi ise 1,000 kW olarak sisteme girilmiştir. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi için elektrik yükü 40 kWh/gün, maksimum yük miktarı ise 2.73 kW olarak belirlenmiştir.

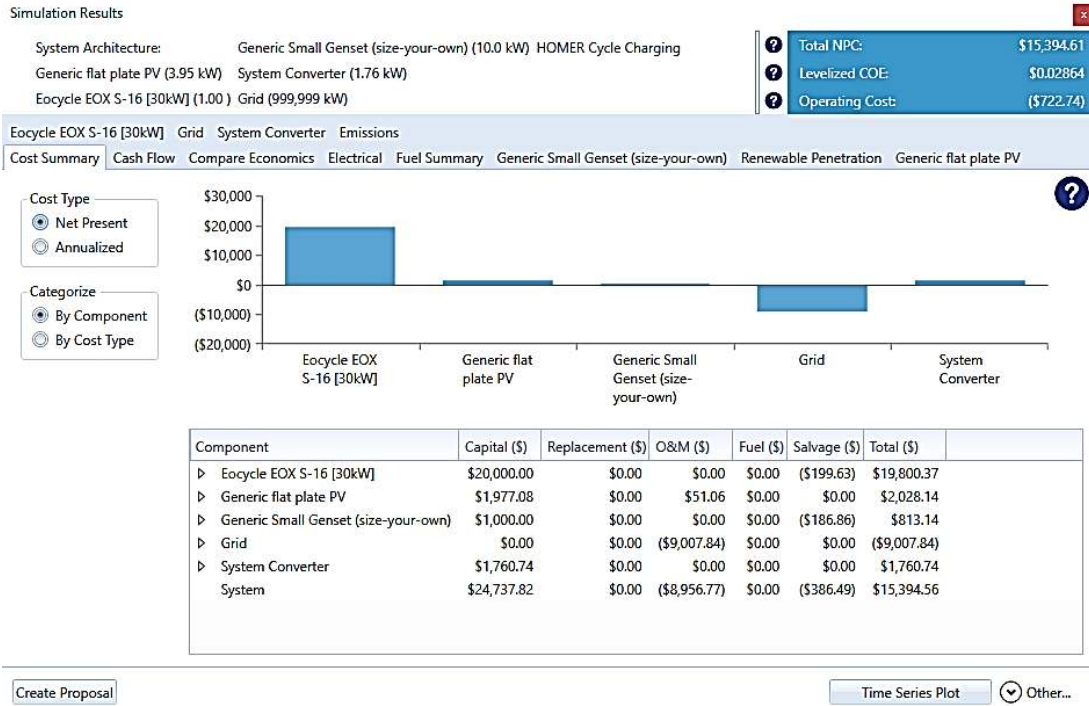
Hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve simülasyon sonucunda elde edilen maliyetler Çizelge 6.17’de verilmiştir. Şekil 6.23’de hibrit enerji sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin maliyetini gösteren toplu ekran çıktısı sunulmuştur. Toplam net bugünkü maliyet ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 6.24 ve Şekil 6.25 ise sırasıyla şebekeye bağlı hibrit enerjisi sisteminin aylık ortalama elektrik üretimini ve şebeke elektrik alım-satım değerlerini göstermektedir. Simülasyonu yapılan bu sistem incelendiğinde, toplam net bugünkü maliyetin (NPC) ve birim enerji maliyetinin (COE) sırasıyla 15,394.61 \$ ve 0.0286 \$/kWh olduğu görülmektedir (Çizelge 6.17). Şekil 6.24’ün incelenmesi ideal sistemdeki fazla elektrik yükünün %2.66 olduğunu göstermektedir; başka bir deyişle üretilen elektriğin çok az bir kısmı fazla olarak kalmaktadır. Çizelge 6.18 şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminin ekonomik açıdan çıktılarını

vermektedir. Hibrit enerji sisteminin yatırım anlamında geri dönüşü ya da amorti oranının % 5.3 ile makul bir değerde olduğunu ve kendisini 10.75 yılda telafi ettiğini söylemek mümkündür. Ayrıca hibrit modelde gaz emisyon değerlerinin düşük olduğu gözlenmektedir (Çizelge 6.19).

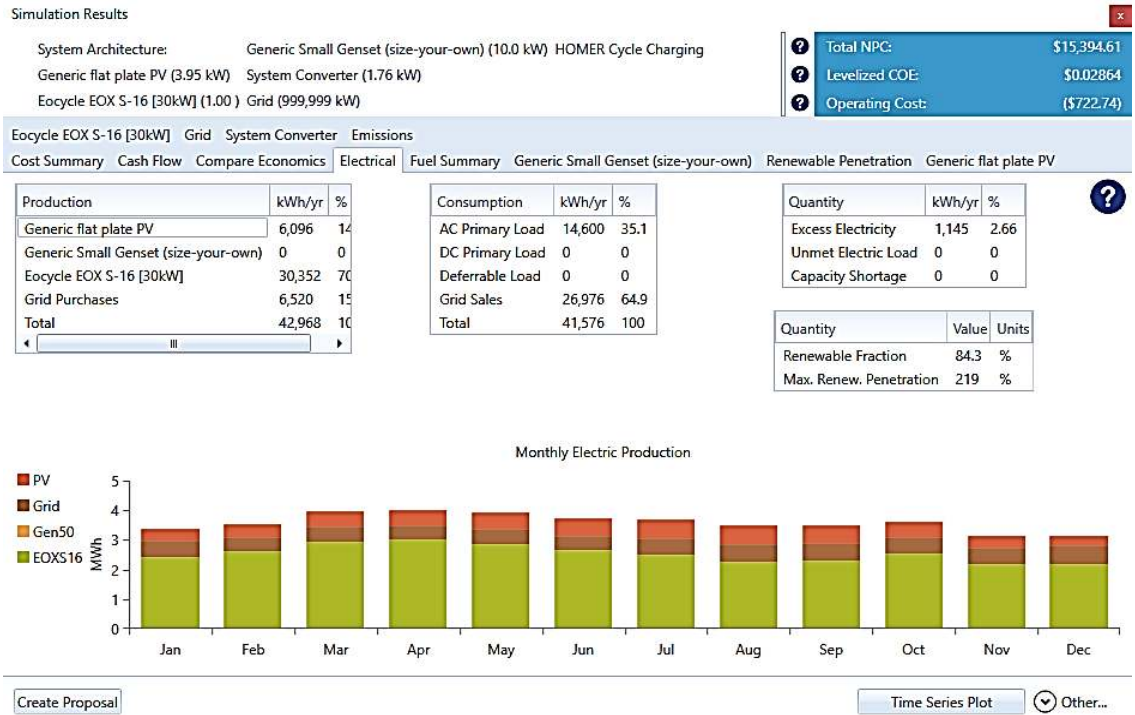
Aylık ortalama elektrik üretimi grafiğinde de görüleceği üzere hibrit enerji sisteminde yıllık bazda üretilen elektriğin %70.64'ü rüzgâr türbinleri, %14.19'u güneş panelleri tarafından üretilmekte, %15.17'si şebeke tarafından sağlanmaktadır.

Çizelge 6.17: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sistemine ait sistem düzeni bilgileri ve maliyet analizi.

Sistem Düzeni	
Rüzgâr Türbini	30 kW
PV Dizisi	3.95 kW
Dizel Jeneratör	10 kW
Şebeke	1000 kW
Batarya	-
Dönüştürücü	1.76 kW
Maliyet	
Toplam Net Maliyet (NPC)	15,394.61 \$
Birim Enerji Maliyeti (COE)	0.02864 \$/kWh
İşletme Maliyeti	722.74 \$



Şekil 6.23: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sistemi (güneş/rüzgâr) elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.



Şekil 6.24: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) aylık ortalama elektrik üretimi.



Şekil 6.25: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (rüzgâr/güneş) şebeke elektrik alım-satım değerleri.

Çizelge 6.18: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) ekonomik analizi.

Nicelik	Değer
Şimdiki maliyet (\$)	756
Yıllık maliyet (\$/yıl)	58
Yatırım geri ödemesi (%)	5.3
Dahili getiri oranı (%)	7.9
Basit geri ödeme (yıl)	10.75
İskontolu geri ödeme (yıl)	17.52

Çizelge 6.19: Şebekeye bağlı (on-grid) hibrit enerji sisteminin (güneş/rüzgâr) gaz emisyon sonuçları.

Nicelik	Değer	Birim
Karbondioksit	-12,928	kg/yıl
Karbon monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbon	0	kg/yıl
Parçacıklı Maddeler	0	kg/yıl
Sülfürdioksit	-56.0	kg/yıl
Azot Oksitler	-27.4	kg/yıl

6.2.2 Şebekeye bağlı (on-grid) temel senaryoların sonuçlarının karşılaştırılması

Tez çalışmasında analiz edilen şebekeye bağlı temel senaryolara (RT-6, PV-6, HT-6 ait sonuçlar Çizelge 6.20'de toplu olarak verilmiştir. Temel senaryolara ait model sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Şebekeye bağlı sistemler içerisinde en yüksek birim enerji maliyetine (0.0828 \$/kWh) sahip olan sistem güneş enerji sistemidir. Rüzgâr enerji sistemi ile hibrit enerji sisteminin birim enerji maliyetleri aynıdır.
- Ülkemizde Şubat 2025 tarihi itibarıyla mesken aboneleri için 1 kWh elektrik fiyatı aylık toplam 240 kWh'e kadar 2.0723 TL/kWh (0.0575 USD/kWh), 240 kWh'ten fazlası için 3.1085 TL/kWh (0.0863 USD/kWh)'tir. Bu tarih için USD kuru 36.02 TL/USD alınmıştır. Bu tutarlara tüm vergiler (enerji bedeli, dağıtım bedeli, elektrik tüketim vergisi ve katma değer vergisi) dâhildir (EPDK, 2025). Öte yandan uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı 0.045 USD/kWh'tir (GlobalPetrolPrices, 2025). Bu değer (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeye bağlı güneş enerji sisteminin birim enerji maliyeti bu fiyatın üzerinde, rüzgâr ve hibrit enerji sistemlerinin birim enerji fiyatları bu fiyatın altında gerçekleşmiştir.

- (c) Şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sisteminde elektrik üretimine en fazla katkıyı rüzgâr türbinleri (%70.64) sağlamıştır. Güneş panellerinin elektrik üretimine katkısı %14.19 olmuştur. %15.17'lik oran şebeke tarafından sağlanmıştır.
- (d) Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sisteminde fazla elektrik miktarı sıfır, güneş ve hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı çok düşük çıkmıştır.

Çizelge 6.20: Şebekeye bağlı temel senaryo sonuçlarının karşılaştırılması.

Sistem Tipi	RT (kW)	PV (kW)	DJ (kW)	Batarya (Adet)	Dnstrc. (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Fazla Elekt. (%)
Senaryo 16 (RT-6)	30	-	10	1	3.00	14,488.48	0.0286	00.00
Senaryo 21 (PV-6)	-	09.00	10	2	2.37	16,058.77	0.0828	03.56
Senaryo 26 (HT-6)	30	03.95	10	-	1.76	15,394.61	0.0286	02.66

6.2.3 Şebekeye bağlı (on-grid) alternatif senaryoların analizi ve temel senaryolar ile karşılaştırılması

Şebekeye bağlı temel senaryo analiz sonuçları göz önüne alınarak temel senaryo kapasitelerinden farklı rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri kapasitelerine sahip şebekeye bağlı 12 senaryo daha simüle edilerek analiz edilmiştir. 3 adet temel senaryo (RT-6, PV-6, HT-6) haricinde ek olarak 4 adet şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemi senaryosu (RT-7, RT-8, RT-9, RT-10), 4 adet şebekeye bağlı güneş enerji sistemi senaryosu (PV-7, PV-8, PV-9, PV-10) ve 4 adet şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemi senaryosu (HT-7, HT-8, HT-9 HT-10) senaryosu analiz edilmiştir. Bu senaryolar alternatif senaryolar olarak adlandırılmıştır. 3 adet temel senaryo ve 12 adet alternatif senaryo olmak üzere şebekeye bağlı toplam 15 adet senaryoya ait sonuçlar toplu olarak Çizelge 6.21’de verilmiştir. Şebekeye bağlı temel ve alternatif senaryolara ait model sonuçlarının incelenmesi sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- (a) Rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0007-0.1274 \$/kWh arasında değişmektedir. Rüzgâr enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (-0.0007 \$/kWh) olan sistem RT-8 sistemidir. Bu sistemde rüzgâr türbininin gücü 20 kW, dönüştürücü gücü 1.00 kW’tır. Öte yandan RT-10 sisteminde rüzgâr türbininin gücü 5 kW olmasına rağmen birim enerji maliyeti en yüksektir (0.1274 \$/kWh).
- (b) Rüzgâr enerji sistemlerinin tümünde fazla elektrik miktarı sıfırdır; başka bir deyişle hiç fazla elektrik oluşmamıştır.
- (c) Güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0209-0.0890 \$/kWh arasında değişmektedir. Güneş enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (0.0209

\$/kWh) olan sistem PV-7 sistemidir. Bu sistemde PV panellerinin gücü 20.0 kW, dönüştürücü gücü 1.00 kW'tır. Güneş enerji sistemlerinde PV-10 sisteminin birim enerji maliyeti en yüksek (0.0890 \$/kWh) bulunmuştur.

- (d) Güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.015 ile %03.56 arasında değişmektedir. En düşük fazla enerji miktarı (%0.015) PV panel gücünün en düşük olduğu PV-10 sisteminde elde edilmiştir.
- (e) Hibrit enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0050-0.0890 \$/kWh arasında değişmektedir. Hibrit enerji sistemlerinde en düşük birim enerji maliyeti (-0.0050 \$/kWh) olan sistem HT-10 sistemidir. Bu sistemde rüzgâr türbininin gücü 20 kW, PV panellerinin gücü 2 kW, dönüştürücü gücü 1.00 kW'tır.
- (f) Hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %00.04 ile %13.20 arasında değişmektedir. En düşük fazla enerji miktarı HT-9 sisteminde elde edilmiştir.
- (g) RT-8 rüzgâr enerji sistemi ile HT-10 hibrit enerji sisteminde sisteme ait birim enerji fiyatı (COE) negatif değerler almıştır. Negatif değerler gelirlerin, giderlerden daha fazla olduğu durumlarda oluşmaktadır.

Çizelge 6.21: Farklı kapasiteler içeren alternatif şebekeye bağlı rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri sonuçlarının karşılaştırılması.

Sistem Tipi	RT (kW)	PV (kW)	DJ (kW)	Batarya (Adet)	Dnstrc. (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Fazla Elekt. (%)
Rüzgâr Enerji Sistemleri (RES)								
Senaryo 16 (RT-6)	30	-	10	1	3.00	14,488.48	0.0286	00.00
Senaryo 17 (RT-7)	25	-	10	-	1.00	3,055.03	0.0051	00.00
Senaryo 18 (RT-8)	20	-	10	-	1.00	501.61	-0.0007	00.00
Senaryo 19 (RT-9)	10	-	10	-	1.00	7,839.88	0.0176	00.00
Senaryo 20 (RT-10)	05	-	10	-	1.00	24,755.72	0.1274	00.00
Güneş Enerji Sistemleri (GES)								
Senaryo 21 (PV-6)	-	09.00	10	2	2.37	16,058.77	0.0828	03.56
Senaryo 22 (PV-7)	-	20.00	10	-	1.00	1,184.43	0.0209	00.08
Senaryo 23 (PV-8)	-	08.25	10	-	1.00	11,530.83	0.0380	00.04
Senaryo 24 (PV-9)	-	04.40	10	-	1.00	15,491.90	0.0680	00.05
Senaryo 25 (PV-10)	-	02.48	10	-	1.00	17,498.12	0.0890	0.015
Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemleri (HT)								
Senaryo 26 (HT-6)	30	03.95	10	-	1.76	15,394.61	0.0286	02.66
Senaryo 27 (HT-7)	11	08.25	10	-	3.57	25,959.87	0.0680	07.89
Senaryo 28 (HT-8)	05	09.74	10	-	2.27	14,609.64	0.0650	13.20
Senaryo 29 (HT-9)	06	04.40	10	-	1.00	23,644.76	0.0890	00.04
Senaryo 30 (HT-10)	20	01.94	10	-	1.00	3,743.26	-0.0050	0.825

Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0007-0.1274 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0209-0.0890 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0050-0.0890

\$/kWh arasında değişmiştir. Rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri arasında genel bir karşılaştırma yapıldığında en düşük birim enerji maliyetine sahip sistemlerin rüzgar enerji sistemleri, en yüksek birim enerji maliyetine sahip sistemlerin ise güneş enerji sistemleri olduğu görülmektedir. Toplam net bugünkü maliyet (NPC), sistem bileşenlerinin maliyetinin toplamından oluşmaktadır. Rüzgâr enerji sisteminin bileşenleri rüzgâr türbini, batarya, jeneratör ve dönüştürücü; güneş enerji sisteminin bileşenleri PV panelleri, batarya, jeneratör ve dönüştürücü; hibrit enerji sisteminin bileşenleri rüzgâr türbini, PV panelleri, batarya, jeneratör ve dönüştürücüdür. Her bir bileşenin toplam net bugünkü maliyeti ilk yatırım, değiştirme, işletme/bakım, yakıt ve hurda maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Rüzgâr türbininin gücü, PV panellerinin gücü, batarya sayısı ve dönüştürücü gücü toplam net bugünkü maliyeti önemli oranda etkilemektedir.

Rüzgâr enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı sıfır, güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.015-%03.56, hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %00.04 ile %13.20 arasında değişmiştir. Fazla elektrik miktarı rüzgâr türbini gücüne, PV panelleri gücüne, batarya gücüne, dönüştürücü gücüne ve jeneratör gücüne bağlıdır. Bununla birlikte şebekeye bağlı sistemlerde fazla elektrik miktarının çok düşük olduğu ifade edilebilir.

6.3 Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler ile şebekeye bağlı (on-grid) sistemlerin karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında 15 adeti şebekeden bağımsız sistemler, 15 adeti şebekeye bağlı sistemler olmak üzere toplam 30 senaryo incelenmiştir. Çizelge 6.22 tüm bu senaryo sonuçlarını toplu olarak vermektedir. Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı senaryolara ait model sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- (a) Şebekeden bağımsız sistemlerin COE değerleri şebekeye bağlı sistemlerin COE değerlerinden çok yüksektir.
- (b) Uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeden bağımsız tüm enerji sistemleri için birim enerji fiyatları bu fiyatın üzerinde gerçekleşmiştir (GlobalPetrolPrices, 2025).
- (c) Uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeye bağlı güneş enerji sisteminin birim enerji maliyeti bu fiyatın üzerinde, şebekeye bağlı rüzgâr ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinin birim enerji fiyatları bu fiyatın altında gerçekleşmiştir (GlobalPetrolPrices, 2025).

- (d) Şebekeden bağımsız sistemlerin fazla elektrik miktarları %00.07-%67.10 aralığında değişmiştir. Öte yandan şebekeye bağlı sistemlerin fazla elektrik miktarları %00.00-%13.20 aralığında değişmiştir. Görüldüğü gibi şebekeden bağımsız sistemlerin fazla elektrik miktarları şebekeye bağlı sistemlerin fazla elektrik miktarlarından çok yüksektir.

Çizelge 6.22: 15 adeti şebekeden bağımsız sistemler, 15 adeti şebekeye bağlı sistemler olmak üzere incelenen tüm senaryolara ait sonuçlar.

Sistem Tipi	RT (kW)	PV (kW)	DJ (kW)	Batarya (Adet)	Dnştrc. (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Fazla Elekt. (%)
Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Rüzgâr Enerji Sistemleri (RT)								
Senaryo 1 (RT-1)	30	-	10	5	4.38	44,016.06	0.2332	48.30
Senaryo 2 (RT-2)	25	-	10	4	3.83	37,683.40	0.2006	61.60
Senaryo 3 (RT-3)	20	-	10	4	3.05	32,934.94	0.1745	64.50
Senaryo 4 (RT-4)	10	-	10	5	4.30	31,734.32	0.1681	45.30
Senaryo 5 (RT-5)	05	-	10	2	8.26	84,118.28	0.4457	00.07
Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Güneş Enerji Sistemleri (PV)								
Senaryo 6 (PV-1)	-	13.50	10	5	2.96	20,365.13	0.1079	26.00
Senaryo 7 (PV-2)	-	20.00	10	3	3.73	75,247.89	0.3987	56.90
Senaryo 8 (PV-3)	-	08.25	10	4	5.26	25,588.28	0.1356	03.43
Senaryo 9 (PV-4)	-	04.40	10	2	4.87	60,478.20	0.3204	01.05
Senaryo 10 (PV-5)	-	02.48	10	2	2.09	63,720.17	0.3376	00.25
Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemleri (HT)								
Senaryo 11 (HT-1)	30	03.03	10	4	2.96	32,184.14	0.1705	55.70
Senaryo 12 (HT-2)	11	08.25	10	3	2.94	15,173.55	0.0804	47.30
Senaryo 13 (HT-3)	05	07.00	10	4	2.94	39,793.72	0.2108	05.95
Senaryo 14 (HT-4)	06	04.40	10	3	2.93	30,825.74	0.1633	03.20
Senaryo 15 (HT-5)	20	01.94	10	3	2.95	22,806.30	0.1208	67.10
Şebekeye Bağlı (On-Grid) Rüzgâr Enerji Sistemleri (RES)								
Senaryo 16 (RT-6)	30	-	10	1	3.00	14,488.48	0.0286	00.00
Senaryo 17 (RT-7)	25	-	10	-	1.00	3,055.03	0.0051	00.00
Senaryo 18 (RT-8)	20	-	10	-	1.00	501.61	-0.0007	00.00
Senaryo 19 (RT-9)	10	-	10	-	1.00	7,839.88	0.0176	00.00
Senaryo 20 (RT-10)	05	-	10	-	1.00	24,755.72	0.1274	00.00
Şebekeye Bağlı (On-Grid) Güneş Enerji Sistemleri (GES)								
Senaryo 21 (PV-6)	-	09.00	10	2	2.37	16,058.77	0.0828	03.56
Senaryo 22 (PV-7)	-	20.00	10	-	1.00	1,184.43	0.0209	00.08
Senaryo 23 (PV-8)	-	08.25	10	-	1.00	11,530.83	0.0380	00.04
Senaryo 24 (PV-9)	-	04.40	10	-	1.00	15,491.90	0.0680	00.05
Senaryo 25 (PV-10)	-	02.48	10	-	1.00	17,498.12	0.0890	0.015
Şebekeye Bağlı (On-Grid) Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemleri (HT)								
Senaryo 26 (HT-6)	30	03.95	10	-	1.76	15,394.61	0.0286	02.66
Senaryo 27 (HT-7)	11	08.25	10	-	3.57	25,959.87	0.0680	07.89
Senaryo 28 (HT-8)	05	09.74	10	-	2.27	14,609.64	0.0650	13.20
Senaryo 29 (HT-9)	06	04.40	10	-	1.00	23,644.76	0.0890	00.04
Senaryo 30 (HT-10)	20	01.94	10	-	1.00	3,743.26	-0.0050	0.825

6.4 Diğer Literatürle Karşılaştırma

Çizelge 6.23 bu çalışma sonuçlarının literatürdeki bazı hibrit enerji sistemi çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu çalışmada şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1681-0.4457 \$/kWh arasında, şebekeden bağımsız güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1079-0.3987 \$/kWh arasında, şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0804-0.2108 \$/kWh arasında değişmiştir. Öte yandan şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri - 0.0007-0.1274 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0209-0.0890 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0050-0.0890 \$/kWh arasında değişmiştir.

Çizelge 6.23'ün incelenmesinden görülebileceği gibi diğer çalışmalardaki COE değerlerinin bazıları bu çalışmadaki değerlerden küçük iken bazıları daha yüksektir. Örneğin Taghavifar ve Zomorodian (2021) İran'da bir eğitim binası için COE değerini 0.0272 \$/kWh gibi küçük bir değer bulmuşlardır. Öte yandan Li ve diğ. (2013) Urumqi/Çin'de bir konut binası için COE değerini 1.045 \$/kWh gibi çok yüksek bir değer bulmuşlardır. Kolhe ve diğ. (2013) tarafından Sri Lanka'da kırsal bir bölge için 20 kW güneş paneli, 40 kW rüzgar türbini, 20 kW dizel jeneratör seti ve 40 akü bankasına sahip PV/RT/DJ/akü konfigürasyonunun en ekonomik konfigürasyon olduğu ve bu sistemin birim enerji maliyetinin 0.36 \$/kWh olduğu belirlenmiştir. Tawfik ve diğ. (2018) Mısır'ın Noubarya kentindeki bir çiftliğe kurulan bir tuzdan arındırma ünitesi için gereken enerjiyi karşılamak üzere çeşitli PV, RT, DJ ve bataryalardan oluşan şebekeden bağımsız hibrit sistemlerinin olası konfigürasyonların performansını araştırdıkları çalışmada optimizasyon sonunda birim enerji maliyeti (COE) 0.17 \$/kWh belirlemişlerdir. Zhang ve diğ. (2022) tarafından İran'ın Ardabil kentindeki bir sanayi bölgesinde orta büyüklükteki bir atölye için en iyi PV dizisi, rüzgâr türbini, jeneratör, dönüştürücü ve batarya konfigürasyonu belirlenmiş ve bu konfigürasyonun birim enerji maliyetinin 0.462 \$/kWh olduğu bulunmuştur.

Hibrit sistemlerin COE değerlerinin geniş bir aralıkta değişmesi enerji maliyeti üzerinde birçok parametrenin etkili olmasına bağlanabilir. Gerçek COE değerleri incelenen binanın enerji talebine, bina tipi ve konumuna, güneş ve rüzgâr kaynağı verilerine, diğer sistem tasarım ve yapılandırma parametreleri ile işgücü maliyetine bağlıdır. Bu parametreler sistemin yatırım, işletme ve bakım maliyetleri üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Çizelge 6.23: Bu çalışma sonuçlarının literatürdeki bazı hibrit enerji sistemi sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Kaynak	İncelenen Yer	Şehir/Ülke	Enerji Sistemi	COE
Kolhe ve diğ. (2013)	Kırsal Bölge	Sri Lanka	PV/RT/DJ	0.3600 \$/kWh
Li ve diğ. (2013)	Konut Binası	Urumqi/Çin	PV, RT, PV/RT	PV/RT: 1.045 \$/kWh
Baek ve diğ. (2016)	Metropol şehir	Busan/Güney Kore	PV/RT	0.3990 \$/kWh
Korkmaz (2016)	Üniversite Kampüsü	Malatya/Türkiye	PV, RT, PV/RT, PV/RT/DJ	RT: 0.9130 \$/kWh PV: 2.050 \$/kWh PV/RT: 0.9020 \$/kWh PV/RT/DJ: 0.4520 \$/kWh
Okonkwo ve diğ. (2017)	Ticari Bina	Ürdün	PV/RT	0.331 \$/kWh
Singh ve diğ. (2017)	Ada	Kavaratti/Lakshadweep/Hindistan	PV/RT	0.10995 \$/kWh
Arıkan ve Çam (2017)		Amasra/Bartın/Türkiye	PV, RT, PV/RT	RT: 0.190 TL/kWh PV: 0.580 TL/kWh PV/RT: 0.243-0.280 TL/kWh
Haratian ve diğ. (2018)	Üniversite Laboratuvarı	İsfahan/İran	PV, PV/RT	PV: 0.546 \$/kWh PV/RT: 0.620 \$/kWh
Tawfik ve diğ. (2018)	Tuzdan arındırma ünitesi	Noubarya/ Mısır	PV/RT/DJ	0.17 \$/kWh
Abdin ve Mérida (2019)	-	Colorado/USA	PV/RT/Hidrojen	0.50 \$/kWh
Jenkins ve diğ. (2019)	Üniversite Binası	Al-Marj, Libya	PV/RT	0.20 \$/kWh
Kayıkçı (2020)	Konut Binası	Didim/Aydın/Türkiye	PV, RT, PV/RT	PV: 0.015-0.414 TL/kWh RT: 0.510 TL/kWh PV/RT: 0.1120-0.4040 TL/kWh
Taghavifar ve Zomorodian (2021)	Eğitim Binası	İran	PV/RT/DJ	0.0272 \$/kWh
Akan (2021)	Konut Binası	Süleymanpaşa/TEKİRDAĞ	PV/RT	0.409-0.521 TL/kWh
Zhang ve diğ. (2022)	Atölye	Ardabil/İran	PV/RT/DJ	0.4620 \$/kWh
Muller ve diğ. (2023)	Üniversite Kampüsü	Manipal/Karnataka/Hindistan	PV/RT	0.0780 \$/kWh
Erdal ve diğ. (2024)	Havza Atık Su Arıtma Tesisi	İzmir/Türkiye	PV-RT/DJ	0.0782, 0.1400 \$/kWh
Aydın ve Çoban (2024)	Üniversite Kampüsü	Ardahan	PV/RT/DJ	0.0287-0.516 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	RT/DJ off-grid	0.1681-0.4457 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	PV/DJ off-grid	0.1079-0.3987 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	PV/RT/DJ off-grid	0.0804-0.2108 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	RT/DJ on-grid	-0.0007-0.1274 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	PV/DJ on-grid	0.0209-0.0890 \$/kWh
Bu çalışma (2025)	Konut Binası	Van/Türkiye	PV/RT/DJ on-grid	-0.0050-0.0890

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu tezin amaçları “Van ili enerji profilini incelemek” ve “Van ilinde rüzgâr, güneş ve hibrit (güneş/rüzgâr) enerji sistemleri ile elektrik üretim olanaklarını araştırmak” tır. Tezin ilk kısmında Türkiye’nin yenilenebilir enerji görünümü verilmiş ve Van ili enerji profili araştırılmıştır. Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi kapsamında değerlendirilmiştir. Van ilinde güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji santrallerinin kurulu güçleri ve enerji santrali potansiyeli verileri incelenmiştir. Van ili yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulmuş, bu doğrultuda tespitler ve öneriler yapılmıştır.

Tezin ikinci kısmında Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgar enerjisi sistemleri, güneş enerjisi sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (güneş/rüzgar) şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak simülasyonla modellenmiştir. Simülasyonlar HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen sistemlerin ekonomik ve ekolojik analizleri yapılarak toplam net bugünkü maliyet (NPC), birim enerji maliyeti (COE), fazla elektrik miktarı, geri ödeme süresi bakımından uygun sonuçları veren sistemler araştırılmıştır.

7.1.1 Van İli Yenilenebilir Enerji Potansiyeline İlişkin Sonuçlar

Van ili enerji profilinin araştırılması ve Van ilinin yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- (a) Toplam enerji tüketimi “1,430,000 MWh” olan Van, bu oranı ile Türkiye’de enerji tüketiminde % 0.4’lük bir paya sahiptir.
- (b) Van ili aktif durumda kurulu gücü “282 MW” olan 21 adet enerji santraline sahip bulunmaktadır. Türkiye’deki kurulu güç payı % 0.3 olan bu santraller ile yılda yaklaşık 497 GWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Van ilinin elektrik tüketiminin yüzde 35’lik kısmını bu şehirdeki santraller karşılamaktadır.

- (c) Van ilindeki santrallerden 9'u HES, 7'si GES, 2'si termik, 1'i RES, 1'i Biyogaz ve 1'i doğalgaz santralidir. Van'daki elektrik santrallerinden "Edremit Enerji Termik Santrali", "Erciş Şeker Fabrikası Termik Santrali" ile "Doğalgaz Santrali" dışındakilerin tamamı yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ise 75 MW kurulu güçleri ile güneş ve hidroelektrik santralleri ilk sırayı paylaşmaktadır. Bu santralleri 50 MW ile rüzgâr, 20 MW ile termik santraller ve 13 MW ile biyokütle santrali izlemektedir. İlde jeotermal enerji ile çalışan santral bulunmamaktadır.
- (d) Van ilinde güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle enerji potansiyelinin yüksek, jeotermal enerji potansiyelinin ise düşük olduğu değerlendirilmesine varılmıştır.
- (e) Van ilindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmaların ve bu kaynakların kullanımının yaygınlaştırılmasının sürekli hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir.

7.1.2 Van İlinde Rüzgâr, Güneş ve Hibrit (Güneş/Rüzgâr) Enerji Sistemleri ile Elektrik Üretim Olanaklarına İlişkin Sonuçlar

Akdamar Adası'nda dubleks bir evin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla rüzgar enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri ve hibrit enerji sistemleri (rüzgar/güneş) şebekeden bağımsız (off-grid) ve şebekeye bağlı (on-grid) olarak HOMER yazılımı kullanılarak simülasyonla modellenmiştir. Şebekeden bağımsız (off-grid) rüzgâr enerji sistemleri (RT-1, RT-2, RT-3, RT-4, RT-5); şebekeden bağımsız (off-grid) güneş enerji sistemleri (PV-1, PV-2, PV-3, PV-4, PV-5); şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri (HT-1, HT-2, HT-3, HT-4, HT-5); şebekeye bağlı (on-grid) rüzgâr enerji sistemleri (RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10); şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerji sistemleri (PV-6, PV-7, PV-8, PV-9, PV-10) ve şebekeye bağlı (on-grid) hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri (HT-6, HT-7, HT-8, HT-9, HT-10) olmak üzere 30 adet senaryo incelenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda öz olarak verilmiştir:

- (a) Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1681-0.4457 \$/kWh arasında, şebekeden bağımsız güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.1079-0.3987 \$/kWh arasında, şebekeden bağımsız hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0804-0.2108 \$/kWh arasında değişmiştir. Şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri arasında genel bir karşılaştırma yapıldığında

en düşük birim enerji maliyetine sahip sistemlerin hibrit enerji sistemleri olduğu görülmektedir.

- (b) Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.07-%64.50, şebekeden bağımsız güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.25-%56.90, şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %03.20-%67.10 arasında değişmiştir. Fazla elektrik miktarı rüzgâr türbini gücüne, PV panelleri gücüne, batarya gücüne, dönüştürücü gücüne ve jeneratör gücüne bağlıdır. Her bir konfigürasyonda bileşenlerin sayısı ve güçleri çok farklı değerler içerdiğinden fazla elektrik miktarı geniş bir aralıkta değişim göstermiştir.
- (c) Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0007-0.1274 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinin COE değerleri 0.0209-0.0890 \$/kWh arasında, şebekeye bağlı hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemlerinin COE değerleri -0.0050-0.0890 \$/kWh arasında değişmiştir. Şebekeye bağlı rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri arasında genel bir karşılaştırma yapıldığında en düşük birim enerji maliyetine sahip sistemlerin rüzgâr enerji sistemleri, en yüksek birim enerji maliyetine sahip sistemlerin ise güneş enerji sistemleri olduğu görülmektedir.
- (d) Şebekeye bağlı rüzgâr enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı sıfır, şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %0.015-%03.56, şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinde fazla elektrik miktarı %00.04 ile %13.20 arasında değişmiştir. Şebekeye bağlı sistemlerde fazla elektrik miktarının çok düşük olduğu ifade edilebilir.
- (e) Şebekeden bağımsız sistemlerin COE değerleri şebekeye bağlı sistemlerin COE değerlerinden çok yüksektir.
- (f) Uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeden bağımsız tüm enerji sistemleri için birim enerji fiyatları bu fiyatın üzerinde gerçekleşmiştir (GlobalPetrolPrices, 2025).
- (g) Uluslararası bazda Türkiye için birim elektrik fiyatı (0.045 USD/kWh) temel alındığında şebekeye bağlı güneş enerji sisteminin birim enerji maliyeti bu fiyatın üzerinde, şebekeye bağlı rüzgâr ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinin birim enerji fiyatları bu fiyatın altında gerçekleşmiştir (GlobalPetrolPrices, 2025).
- (h) Şebekeden bağımsız sistemlerin fazla elektrik miktarları %00.07-%67.10 aralığında değişmiştir. Öte yandan şebekeye bağlı sistemlerin fazla elektrik miktarları %00.00-%13.20 aralığında değişmiştir. Şebekeden bağımsız sistemlerin fazla elektrik miktarları şebekeye bağlı sistemlerin fazla elektrik miktarlarından oldukça yüksek bulunmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının optimize edilmesi konusunda değerli iç görüler sunarak, optimum sürdürülebilirlik ve maliyet tasarrufu elde etmek için güneş ve rüzgarı dengelemenin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bulgular, rüzgâr, güneş ve dizel çözümlerini içeren hibrit sistemlerin uygulanmasını güçlü bir şekilde desteklemektedir. Hibrit sistemler, gelişmiş güvenilirlik, çevresel faydalar ve ekonomik avantajlar sunarak, iklim ve hava kirliliği etkilerini azaltırken kentlerimizin elektrik ağları için uygulanabilir, sürdürülebilir çözümler sunarlar.

7.2 Öneriler

Van ili için şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hibrit (rüzgâr/güneş) enerji sistemleri kullanılarak elektrik üretim potansiyelinin araştırıldığı bu tezde güneş/rüzgar hibrit enerji sistemleri ve ülkemizde kullanılması konusunda ayrıntılı bir literatür taraması yapılmış; Van ili yenilenebilir enerji profili araştırılmış; Akdamar adasında örnek bir dubleks konutun elektrik enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla HOMER yazılımı kullanılarak şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı çeşitli rüzgar, güneş ve hibrit enerji sistemleri tasarlanmış ve karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Konuya yönelik gelecekteki araştırmalar aşağıdaki konular üzerine yoğunlaşabilir:

- (a) Van ili için çalışmada incelenen kapasitelerden farklı rüzgar türbini kapasiteleri ve PV paneli kapasiteleri kullanılıp optimizasyon yapılarak en uygun sistem belirlenebilir.
- (b) Enerji karışımını çeşitlendirmek ve genel dayanıklılığı artırmak için hibrit yapılandırmalara biyokütle veya jeotermal gibi diğer yenilenebilir kaynakları dâhil edilebilir.
- (c) Bakım, kullanım ömrü ve devre dışı bırakmayı göz önünde bulundurarak çeşitli hibrit sistemlerin uzun vadeli finansal uygulanabilirliğini ve çevresel etkilerini değerlendirmek için ayrıntılı ekonomik analizler ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri yapılabilir.
- (d) Hibrit enerji sistemlerine dâhil edilebilecek yeni enerji depolama teknolojileri araştırılabilir.
- (e) Hibrit enerji sistemlerine en son kontrol sistemlerinin ve yapay zekanın entegre edilmesiyle enerji üretimi ve tüketiminin gerçek zamanlı optimizasyonu yapılabilir.
- (f) Piller yerine hidrojen üretimi kullanılarak hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirilmesi üzerine ileri çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdin Z. & Mérida W.** (2019). Hybrid energy systems for off-grid power supply and hydrogen production based on renewable energy: A techno-economic analysis, *Energy Convers. Manag.*, 196, 1068–1079. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.068>
- Acar, S., Kitson, L., & Bridle, R.** (2015). Subsidies to Coal and Renewable Energy in Turkey, GSI Report March 2015. The International Institute for Sustainable Development.
- Açıkgöz, S. & Manav, E.** (2003). Ayrancılar (Çaldıran -Van) Sahasının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, s. 167, Ankara.
- Adan, H.K. & Filik, Ü.B.** (2021). Technical and economic evaluation of a standalone and on grid hybrid renewable energy: A case study At Eskişehir Technical University, *Sigma J Eng Nat Sci*, 39 (2), 184–194.
- Ahmed, M.M., Das, B.K., Das, P., Hossain, M.S., & Kibria, M.G.** (2024). Energy management and sizing of a stand-alone hybrid renewable energy system for community electricity, fresh water, and cooking gas demands of a remote island, *Energy Conversion and Management*, 299, 117865.
- Akan, A.E.** (2021). Techno-Economic Analysis of an off-grid hybrid energy system with homer pro, *Icontech International Journal of Surveys, Engineering, Technology*, 5(3), 56-61.
- Aktar, A.K.** (2017). Bir meskenin elektrik ihtiyacının rüzgâr türbini ve güneş panellerinden oluşan hibrit sistem ile sağlanması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye.
- Arıkan, Y. & Çam, E.** (2017). Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin fizibilite analizlerinin web tabanında gerçekleştirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 1-10.
- Ariaei, A.R, Fakhr, M.H, Ahmadi, R., & Jahangiri, M.** (2024). Comparative analysis of hybrid and single-source power systems for sustainable electricity generation for remote areas: A case study in Zahedan, *International Journal of Photoenergy*, 24 pages, Article ID 1929512.
- Arslan, F.** (2016). Manisa İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Üzerine Bir Değerlendirme, *CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi* 14(3), 313-337.
- Aydın, K. & Çoban, H.H.** (2024). Bir üniversite kampüsü için hibrit enerji sisteminin optimizasyonu ve maliyet analizi. In 4th International World Energy Conference, (pp. 702-717), Kayseri, Türkiye, December 06-08.
- Aydın, S. & Karabey, A.** (2023). Sürdürülebilir Enerji Üretiminde Hibrit Modellerin Analizi. In 11th International Congress on Engineering, Architecture and Design, İstanbul, Turkey, 1293-1302.
- Aydıncioğlu, M.** (2019). *Van ili güneş enerji santralleri raporu*, Van ve Ticaret Sanayi Odası, Van.

- Baek, S., Park, E., Kim, M., Kwon, S.J., Kim, K.J., Ohm, J.Y., & Pobil, A.P.** (2016). Optimal renewable power generation systems for Busan metropolitan city in South Korea, *Renewable Energy*, 88, 517-525.
- Baran, B.** (2012). Güneş - Rüzgâr Hibrit Sistemlerin Maliyet Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Malatya.
- BEPA, Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası.** (2025). Erişim: 10 Ocak 2025, <https://bepa.enerji.gov.tr/>
- Bilen, K., Ozyurt, O., Bakırcı, K., Karşı, S., Erdogan, S., Yılmaz, M., & Comaklı, O.** (2008). Energy production, consumption, and environmental pollution for sustainable development: A case study in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1529-1561.
- Bozok, M.N.** (2017). Düzce İlinde Tipik Bir Konut İçin Rüzgâr-Güneş Hibrit Enerji Sistemlerinin Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Düzce.
- Busby, R. L.** (2012). *Wind power – the industry grows up*, PennWell.
- Chandramouly, M. & Raghuram, A.** (2017). Introduction to Solar Wind Hybrid Energy Systems. *International Journal of Engineering Research in Electrical and Electronic Engineering (IJEREE)*, 3 (12), 1-6.
- Cicek, B., Ozturk, N., & Ozek, M.** (2009). Renewable energy market conditions and barriers in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1428–1436.
- COP 28.** (2023). BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 28. Taraflar Konferansı. 01-02 Aralık 2023, Dubai / Birleşik Arap Emirlikleri.
- Çırak, B.** (2019). Karaman İlinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 19-49.
- Çifci A., Kırbas İ., & İşyarlar B.** (2014). Güneş pili kullanılarak burdur’da bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 14-17.
- Coban, H, H.** (2022). Assessment of Hybrid Renewable Energy System in Beledweyne City Somalia, Technical and Economical Analysis, *Journal of Eng. Research No.(1A)*, 273-284.
- DAKA, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.** (2014). *Van İli tarım sektörü yatırım kılavuzu*. Van. Erişim: 12 Kasım 2024. <https://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/Van%20İli%20Tarim%20Sektoru%20Yatirim%20Kilavuzu.pdf>
- DAKA, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.** (2019). *Güneş enerjisi sektörel analiz raporu*. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Van. <https://www.daka.org.tr/>.
- DAKA, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.** (2023). *Van ili yatırım potansiyeli*. <https://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/van-yatirim-potansiyeli-2023.pdf>.
- Demirgil, B.** (2024). Yenilenebilir Enerji Kapsamında Sivas İli Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *Enderun Dergisi*, 8 (2), 112-126.

- DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.** (2023). 2023 Yılı Faaliyet Raporu.
- Dursun, B., Gokcol, C., Umut, I., Ucar, E., & Kocabey, S.** (2013). Techno-economic evaluation of a hybrid PV-wind power generation System, *International Journal of Green Energy*, 10, 117-136.
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü.** (2025). Erişim: 16 Ocak 2025, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>.
- Elektromarketim.** (2024). Ortalama bir evde günlük elektrik harcaması kaç kW olabilir? Erişim: 15 Aralık 2024. <https://www.elektromarketim.com/>
- Elibüyük, U. & Üçgül, İ.** (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri, *Yekarum e-Dergi*, 2(3), 1-14.
- Enerji Atlası.** (2025). Erişim: 15 Ocak 2025, <https://www.enerjiatlası.com/>.
- EPDK, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.** (2025). Erişim: 01 Şubat 2025, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>
- Erdal, S., Aydın, E., & Andiç, C.** (2024). Design of a stand-alone hybrid solar/wind/battery/diesel microgrid for a wastewater treatment plant in İzmir using HOMER Pro software, *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 4(1), 26-39.
- Erdil, A. & Erbiyık, H.** (2015). Renewable Energy Sources of Turkey and Assessment of Sustainability, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 669 – 679.
- ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2022). Erişim: 01 Şubat 2025, Türkiye Ulusal Enerji Planı 2022. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EİGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf
- ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2025). Erişim: 01 Şubat 2025, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- ETKB/EİGM, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Enerji İşleri Genel Müdürlüğü.** 2022. 2022 Yılı Genel Enerji Dengesi. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>.
- Eurostat.** (2025). Erişim: 05 Ocak 2025, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Fossil_fuel
- GEPA, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası.** (2024, 2025). Erişim: 08 Ekim 2024, <https://gepa.enerji.gov.tr/pages/65.aspx>
- GlobalPetrolPrices.** (2025). Erişim: 03 Şubat 2025. <https://www.globalpetrolprices.com/>
- Haratian, M., Tabibi, P., Sadeghi, M., Vaseghi, B., & Poustdouz, A.** (2018). A renewable energy solution for stand-alone power generation: a case study of KhshU Site-Iran, *Renewable Energy*, 125, 926–935.
- Hassan, Q, Algburi, S., Sameen, A.Z., Salman, H.M., & Jaszczur, M.** (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications, *Results in Engineering*, 20, 101621.
- HOMER, Hybrid Optimization Model for Electric Renewable.** (2023, 2024, 2025). Erişim: 17 Ocak 2024, <https://www.homerenergy.com/>

- Jafarzadeh, N.** (2017). Analysis of Hybrid Wind-Solar Power Plant For İTÜ Ayazaga Campus. M.Sc. Thesis. İTÜ Energy Institute. Energy Science and Technology Division. İstanbul.
- Jenkins, P., Elmnifi, M., Younis, A., & Emhamed, A.** (2019). Hybrid power generation by using solar and wind energy: case study, *World Journal of Mechanics*, 9, 81-93.
- JEPA, Jeotermal Enerji Potansiyel Atlası.** (2025). Erişim: 08 Şubat 2025, <https://jepa.enerji.gov.tr/pages/65.aspx>
- Kaabeche A, Belhamel M., & Ibtouen R.** (2011). Sizing optimization of grid independent hybrid photovoltaic/wind power generation System, *Energy*, 36, 1214–1222.
- Kabul, A. & Yaşar, E.** (2017). Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 9(1), 17-32.
- Karipoğlu, F. & Denizli, O.** (2025). Towards renewable energy islands in Türkiye: Potential and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 211, 115324.
- Kayıkçı, B.** (2020). Aydın ili Didim ilçesindeki kırsal bölgede yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit güneş-rüzgâr enerji sistemi ile karşılanmasının analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye.
- Kırbaş, İ. & Kocakulak, T.** (2021). Hibrit sistemler ile enerji üretimi: MAKU-TBMYO Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 127-135.
- Kolhe, M., Ranaweera, I., K.M., & Gunawardana, B.S.** (2013). Techno-economic optimum sizing of hybrid renewable energy System, In *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Vienna, Austria, 1898-1903.
- Korkmaz, E.E.** (2016). İnönü Üniversitesinin Elektrik Enerji İhtiyacının Hibrit Sistemle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya.
- Köse, G.** (2010). Hibrit (güneş + rüzgâr) enerji sisteminden elektrik üretimi: Kütahya örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye.
- KTB, Kültür ve Turizm Bakanlığı.** (2025). Van İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Erişim: 06 Ocak 2025, <https://van.ktb.gov.tr/TR-52093/genel-bilgiler>
- Li, Ch., Ge, X., Zheng, Y., Xu, Ch., Ren, Y., Song, Ch., & Yang, Ch.** (2013). Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi. China, *Energy*, 55, 263-272.
- Mamur H., Yakar M.C., & Zerafet A.** (2019). Bir kamu binası için hibrit enerji sistemi fizibilitesi. *International Journal of Technological Sciences*, 11(1), 51-58.
- Matpay, B.** (2024). Coğrafi bakımdan güneş enerji santrali (GES) için uygun yerlerin belirlenmesi: Van ili örneği, *Türk Coğrafya Dergisi*, 85, 7-19.
- Mert, B.A. & Aydın, A.** (2017). Çaldıran/VAN Jeotermal Enerji Kaynakları ve Kullanım Olanaklarının Araştırılması, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi / Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences*, 22 (1), 12-20.

- MMO, Makine Mühendisleri Odası. (2024).** Türkiye'nin Enerji Görünümü Oda Raporu 2024. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/758, E-ISBN: 978-605-01-1645-8, Ankara.
- Muller, C. D., Selvanathan, P. S., Cüce, E., & Kumarasamy, S. (2023).** Hybrid Solar, Wind, And Energy Storage System For A Sustainable Campus: A Simulation Study, *Science and Technology for Energy Transition, EDP Sciences*, 78, 1-12.
- Nassar, Y.F., Abdunnabi, M.J., Sbeta, M.N., Hafez, A.A., Amer, K.A., Ahmed, A.Y., & Belgasim, B. (2021).** Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study, *Energy Convers. Manag.*, 229, 113744.
- Nazari-Heris, M., Esfehankalateh, A.T., & Ifaei, P. (2023).** Hybrid energy systems for buildings: a techno-economic-enviro systematic review, *Energies*, 16, 4725, 1-15.
- Okonkwo E.C., Okwose C.F., & Abbasoglu S. (2017).** Technoeconomic analysis of the potential utilization of a hybrid PV-wind turbine system for commercial buildings in Jordan, *Int. J. Renew. Energy Res.* 7 (2), 908–914.
- Ozcan, M. (2018).** The role of renewables in increasing Turkey's self-sufficiency in electrical energy, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 (3), 2629-2639.
- Özcan, H. (2009).** Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Lisansüstü Programı, İstanbul.
- Özgül, S., Koçar, G., & Eryaşar, A. (2020).** The progress, challenges, and opportunities of renewable Energy cooperatives in Turkey, *Energy for Sustainable Development*, 59, 107–119.
- Patil, A. A., Arora, R., Sridhara, S. N., & Arora, R. (2023).** Performance Analysis of Hybrid Renewable Energy Using Homer Software, *India, Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 44 (3), 2832-2853.
- Polat, E. (2012).** Şırnak İli Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Araştırılması Projesi Araştırma Sonuç Raporu - 2012. Şırnak Üniversitesi Yayınları – 3, ISBN: 978-605-4536-12-2.
- Pürlü, M., Andiç, C., Aydın, E., & Solak, B. (2023).** Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System For A Region İn Turkey Using HOMER, *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems, TEPEs*, 3(3), 146-155.
- PVMars. (2024).** Erişim: 14 Kasım 2024, <https://www.pvmars.com/wind-solar-hybrid-system/>
- REPA, Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası. (2025).** Erişim: 06 Ocak 2025, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/VAN-REPA.pdf>
- Roy, D., Zhu, S., Wang, R., Mondal, P., Ling-Chin, J., & Roskilly, A.P. (2024).** Techno-economic and environmental analyses of hybrid renewable energy systems for a remote location employing machine learning models. *Applied Energy*, 361, article 122884.
- Rüstemli, S. & Dinçer, F. (2011).** Van İli Elektrik Üretiminde Güneş Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (1), 22-33.

- Sahin, H. & Esen, H.** 2022. The usage of renewable energy sources and its effects on GHG emission intensity of electricity generation in Turkey. *Renewable Energy*, 192, 859-869.
- Sarıkaya S.** (2010). Güneş Enerjisi Sektörel Analiz Raporu, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Van.
- Saygin, D., Tor, O.B., Cebeci, M.E., Teimourzadeh, S., & Godron P.** (2021). Increasing Turkey's power system flexibility for grid integration of 50% renewable energy share, *Energy Strategy Rev*, 34, 100625.
- Sharifishourabi, M., Alimoradiyan, H., & Atikol, U.** (2016). Modeling Of Hybrid Renewable Energy System: The Case Study Of Istanbul, Turkey, *Journal of Thermal Engineering*, 2 (6), Special Issue 5, 990-994.
- Singh, G., Baredar, P., Singh, A., & Kurup, D.** (2017). Optimal sizing and location of PV, wind and battery storage for electrification to an island: A case study of Kavaratti, Lakshadweep, *Journal of Energy Storage*, 12, 78-86.
- Sirin, S.M. & Yilmaz, B.N.** (2020). Variable renewable energy technologies in the Turkish electricity market: Quantile regression analysis of the merit-order effect, *Energy Policy*, 144, 111660.
- Soylu, O.B., Turel, M., Balsalobre-Lorente, D., & Radulescu, M.** (2024). Evaluating the impacts of renewable energy action plans: A synthetic control approach to the Turkish case, *Heliyon*, 10, e25902.
- Taghavifar H. & Zomorodian Z.S.** (2021). Technoeconomic viability of on grid micro-hybrid PV/wind/Gen system for an educational building in Iran, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 143, 110877.
- Tawfik, T.M., Badr, M.A., El-Kady, E.Y., & Abdellatif, O.E.** (2018). Optimization and energy management of hybrid standalone energy system: a case study, *Renewable Energy Focus*, 25, 48–56.
- Tawil, E.** (2022). How a Wind Turbine Works? *Continuing Education and Development, Inc., Course No: R01-011*.
- Toklu, E.** (2013). Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey, *Renew. Energy*, 50, 456–463.
- Toklu E.** (2017). Biomass Energy Potential and Utilization in Turkey, *Renewable Energy* 107, 235-244.
- Topcu, I., Ülengin, F., Kabak, Ö., Isik, M., Unver, B., & Ekici, S.O.** (2019). The evaluation of electricity generation resources: The case of Turkey, *Energy*, 167, 417-427.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu.** (2025). İstatistik veri portalı. Erişim: 14 Şubat 2025. <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=n%C3%BCfus>
- Türkdoğan, S., Dilber, S., & Çam, B.** (2018). Hibrit enerji sistemlerinin şebekeden bağımsız bir çiftlik evinde uygulanabilirliğinin ekonomik ve teknik açıdan incelenmesi, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 52-65.
- Türkdoğan, S., Mercan, M., & Çatal, T.** (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.

- Tywniuk, A. & Skorupka, Z.,** (2018). Wind Power Plants – Types, Design and Operation Principles, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 25 (3), 479-487.
- Wikipedia.** (2025). Erişim: 20 Nisan 2025. [Wikipedia://en.wikipedia.org/wiki/Akdamar_Island](https://en.wikipedia.org/wiki/Akdamar_Island)
- Windmills Tech.** (2024). Erişim: 21 Ekim 2024, <https://windmillstech.com/wind-turbine-components/>.
- Yahlı, M.** (2021). Lisanslı fotovoltaiik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 1055-1074.
- Yaman, A., Yakın, A., & Behçet, R.** (2019). Van İli Güneş ve Hidroelektrik Enerji Potansiyelleri ve İl Ekonomisine Katkıları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 243-250.
- Yavuz, İ. & Özbay, H.** (2020). Rüzgâr türbinlerinde kurulum ve bakım süreçleri: Bandırma örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 58-68.
- Yayla, S. & Harmancı, E.** (2019). Van ili belirli ilçeleri için hesaplanan rüzgâr potansiyellerinin karşılaştırılması. *In 2nd International Congress on Engineering and Architecture (ENAR)*, Muğla, Türkiye, 22 - 24 Nisan 2019, 1-16.
- Yayla, S., Yumak, H., & Almalı, M.N.** (2010). Vangölu kıyısı üzerinde bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. 8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Bursa, Turkey, 159-166.
- Yayla, S., Yumak, H., & Bayram, A.** (2010). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanının rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, *Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1), 17-23.
- YEK. 2005.** Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. Kanun No: 5346. Resmi Gazete: 18/05/2005 tarih ve 25819 sayı.
- YEKDEM. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması.**
- Yeler, O., Aslantaş, P., & Karabey, A.** (2016). Van ili iklim koşullarında seralarda kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler. *In 3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESN-2016)*, 19-24 October 2016, Antalya, Turkey.
- Yılmaz, U.** (2008). Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, ř.** (2024). Dünyada ve Türkiye’de Birincil Enerji Arzı. Türkiye’nin Enerji Görünümü Oda Raporu 2024. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/758, E-ISBN: 978-605-01-1645-8, Ankara, 17-36.
- Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H.L.** (2010). Gökçeada’da yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretim potansiyelinin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 13(3), 215-223.
- Yumak, H., Ucar, T., & Yayla, S.** (2012). Wind energy potential on the coast of Lake Van, *International Journal of Green Energy*, 9 (1), 1-12.
- Zhang, G., Xiao, C., & Razmjoo, N.** (2022). Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study, *Int. J. Ambient Energy*, 43 (1), 3953–3966.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yunus DURSUN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2009, Van İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi
- **Lisans** : 2021, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2025, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

(Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Dursun, Y., Yılmaz, M., & Karabey, A. (2025).** Van İli Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi. In ISARC 3. International Gaziantep Scientific Research Congress, 12-13 April 2025, Gaziantep University, Gaziantep/Turkey, 111-133.
- **Dursun, Y., & Yılmaz, M. (2025).** Van İli İçin Şebekeden Bağımsız Rüzgâr, Güneş ve Hibrit (Rüzgâr/Güneş) Enerji Sistemlerinin Tasarımı ve Karşılaştırmalı Analizi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Kabul edildi.