



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

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**BALIKESİR MANYAS İLÇESİNDE BİR MAHALLİN ENERJİ İHTİYACININ
ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT SİSTEMLE KARŞILANMASI: ENERJİ VE
EKONOMİK ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EREN ADIGÜZEL

DANIŞMAN: PROF. DR. FİKRET YÜKSEL

**YALOVA
HAZİRAN 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

BALIKESİR MANYAS İLÇESİNDE BİR MAHALLİN ENERJİ İHTİYACININ
ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT SİSTEMLE KARŞILANMASI: ENERJİ VE
EKONOMİK ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EREN ADIGÜZEL
218107003

DANIŞMAN: PROF. DR. FİKRET YÜKSEL

YALOVA
HAZİRAN 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “BALIKESİR MANYAS İLÇESİNDE BİR MAHALLİN ENERJİ İHTİYACININ ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT SİSTEMLE KARŞILANMASI: ENERJİ VE EKONOMİK ANALİZLERİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Eren ADIGÜZEL

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. Fikret Yüksel'e ve yüksek lisans eğitimimi tamamladığım Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri'ne teşekkür ederim.

Haziran – 2024

Eren ADIGÜZEL



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vi
SİMGELER	vi
KISALTMALAR	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Güneş Enerji Sistemi	10
2.1.1. Fotovoltaik hücre	11
2.1.2. Fotovoltaik panel ve dizi.....	12
2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi	13
2.2.1. Balıkesir güneş enerji potansiyeli	17
2.3. Rüzgâr Enerji Sistemi.....	18
2.3.1. Kule.....	20
2.3.2. Türbin rotor kanatları.....	21
2.3.3. Dişli kutusu	21
2.3.4. Jeneratör.....	21
2.3.5. Diğer ekipmanlar	22
2.4. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi	22
2.4.1. Balıkesir rüzgâr enerji potansiyeli	26
2.5. Karbondioksit Emisyonları.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Kullanılan Yazılım	30
3.1.1. Simülasyon.....	32
3.1.2. Optimizasyon	34
3.1.3. Hassaslık analizi	37
3.1.4. Ekonomik hesaplamalar.....	38
4. SİSTEM TANITIMI	45
4.1. Proje Uygulama Yeri.....	45
4.2. Elektrik Ve Termal Yük Yapısı.....	45

4.3. Sisteme Tanımlanan Güneş ve Rüzgâr Verileri	47
4.4. Kullanılan Komponentler	48
4.4.1. Güneş paneli	50
4.4.2. Rüzgâr türbini	54
4.4.3. Dizel jeneratör - yakıt	57
4.4.4. Batarya	60
4.4.5. Dönüştürücü.....	63
4.4.6. Kazan	65
4.4.7. Termal yük kontrolörü.....	65
4.5. Hibrit Sistem Modeli	65
4.6. Cihazların Matematiksel Modellemesi.....	67
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	69
5.1. Güneş Paneli Kullanımının Sisteme Olan Etkisi.....	69
5.4. Rüzgâr Türbini Kullanımının Sisteme Olan Etkisi	70
5.4.1. Rüzgâr türbininin sistemden çıkarılması (Senaryo 2).....	71
5.4.2. Rüzgâr türbini kule yüksekliğinin sisteme olan etkisi (senaryo 3).....	76
5.2. Batarya Kullanımının Sisteme Olan Etkisi (Senaryo 4).....	80
5.5. Jeneratörün Farklı Çalışma Yükünün Sisteme Etkisi (Senaryo 5)	82
5.6. Faiz ve Enflasyon Oranının Sisteme Etkisi (Senaryo 6)	89
5.7. Seçilen Sistemin Gerçek Hayatta Uygulanma Simülasyonu.....	89
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR.....	106
EKLER	111
EK-A CW Enerji 570Wp 144TNB M10 TOPCon güneş paneli teknik özellikleri	111
EK-B Altech turbine Altech Boreas 10000 - 10 kW yatay rüzgâr türbini teknik özellikleri.....	113
EK-C Kama Jeneratör Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör	114
EK-D Pylontech Force-H1 Lityum Akü 48 Volt 3,55 kWh lityum batarya teknik özellikleri.....	115
EK-E Tommatech HV Plus 10 kW Hibrit Akıllı İnverter Çevirici	116
ÖZGEÇMİŞ	117

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

a_h	: Üstel Güç Yasası
$C_{\text{değiştirme}}$	: Değiştirme Fiyatı (\$)
$C_{\text{işletme}}$	: Toplam Yıllık İşletme Maliyeti (\$/yıl)
$C_{\text{kazan,emis}}$	: Emisyon Ceza Tutarı (\$/kg yakıt)
$C_{\text{NPC,toplam}}$	: Toplam Net Şimdiki Maliyet
C_{NPC}	: Toplam Şimdiki Maliyet (\$)
c_p	: Güç Katsayısı
$C_{\text{yakıt}}$	: Yakıt Masrafı (\$/kg yakıt)
$C_{\text{yıllık toplam}}$	: Toplam Yıllık Maliyet (\$)
$C_{\text{yıllık,sermaye}}$	: Toplam Yıllık Sermaye Maliyeti (\$/yıl)
$E_{\text{Batt}}(t)$	: Bataryanın T Saatinde Kullanılabilir Kapasitesi (kWh)
$E_{\text{Batt}}(t-1)$	: Bataryanın T-1 Saatinde Kullanılabilir Kapasitesi (kWh)
E_{ert}	: Ötelenebilir Yükün İşine Yarayan Toplam Enerji (kWh/yıl)
E_L	: T Saatindeki Yük Talebi (kWh)
$E_{\text{PV}}(t)$	: PV Modülünün T Saatinde Enerji Tüketimi (kWh)
$E_{\text{WT}}(t)$	: Rüzgâr Türbininin T Saatindeki Enerji Üretimi (kWh)
$EM_{\text{jen/boiler}}$	: Jeneratör/Kazan tarafından salınan zararlı gazların emisyonu (g)
$E_{\text{şebeke,s}}$	: Şebekeye Toplam Enerji Satışı (kWh/yıl)
$E_{\text{yük,AC}}$	: Alternatif Akım Yük Toplamı (kWh/yıl)
$E_{\text{yük,DC}}$	: Doğru Akım Yük Toplamı (kWh/yıl)
f	: Güncel Enflasyon Oranı (%)
$f_{\text{jen boiler}}^{\text{emis}}$	: Emisyon Faktörü (g/kWh)
F_t	: Toplam Senelik Yakıt Tüketimi
H	: Rüzgâr Türbini Gövde Yüksekliği (m)
H_m	: Rüzgâr Türbini Kule Yüksekliği (m)
H_t	: Rüzgâr Türbini Referans Yüksekliği (m)
i'	: Gerçek Faiz Oranı (%)
i	: Reel Faiz (iskonto) Oranı (%)
$LHV_{\text{yakıt}}$	: Yakıt Alt Isıl Değer (MJ/kg)
m	: Türbin Adedi
n	: Kapasite Faktörü
N	: Yıl
P	: Rüzgâr Türbinlerinin Ürettiği Toplam Elektrik Gücü (kWh/Yıl)
$P_L(t)$	: Yük Gücü (kW)
$P_{\text{nominal guc}}$	: Sistemde Kullanılan Rüzgâr Türbinlerinin Toplam Gücü (kW)
$P_{\text{ortalama guc}}$	: Sistemde Kullanılan Rüzgâr Türbinlerinin Ortalama Gücü (kW)
P_r	: Rüzgâr Türbini Nominal Gücü (kW)
$P_{pvout}(t)$	: PV Modül Çıkış Gücü (W)
$P_{(PVrated)}$	: Standart Koşullar Altında Nominal PV Gücü (W)
P_{WT}	: Rüzgâr Türbini Çıkış Gücü (kW)
$P_{\text{türbingücü}}$	: Sistemde Modellenen Rüzgâr Gücü (kW)
$R_{\text{kalan ömrü}}$	: Cihaz Kalan Yaşam Süresi (yıl)
$R_{\text{proje ömrü}}$	: Proje Ömrü

$R_{\text{yaşam mr}}$	: Cihaz Yaşam Süresi (yıl)
$\$$	: ABD Para Birimi
r	: Rotor Yarıçapı (m)
S	: Hurda Fiyatı (\$)
T_{amb}	: Ortam Sıcaklığı (0°C)
T_{Csrc}	: Hücre Sıcaklığı (0°C)
v_{cut-in}	: Rüzgâr Türbininin Yüksek Kesme Hızı (m/s)
v_{cut-o}	: Rüzgâr Türbininin Düşük Kesme Hızı (m/s)
$v_i(t)$	: Güneş Radyasyonunun Değerini (W/m^2)
V_m	: Rüzgâr Türbini Kule Yüksekliğindeki Rüzgâr Hızı (m/s)
v_r	: Rüzgâr Türbini Nominal Hızı (m/s)
V_t	: Rüzgâr Türbini Referans Yüksekliğindeki Rüzgâr Hızı (m/s)
v	: Rüzgâr Hızı (m/s)
ρ	: Havanın Yoğunluğu (kg/m^3)
η_{BC}	: Batarya şarjının Verimliliği
η_{BD}	: Batarya Deşarjının Verimliliği
η_{Inv}	: İnvörtör Verimliliği
η_{kazan}	: Kazan verimliliği
α_c	: Sıcaklık Katsayısı (-3.7×10^{-3} (1/°C))
σ	: Bataryanın Kendi Kendine Boşalma Oranı

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
CC	: Döngü şarj
CFC	: Kloroflorokarbon
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbon monoksit
COE	: Birim Enerji Maliyeti (Cost of Energy)
CRF	: Sermaye Geri Kazanım Faktörü
DC	: Doğru Akım
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GHI	: Global Yatay Işıma
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
HFC	: Hidroflorokarbon
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
Kozlu EML	: Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
LCOE	: Seviyelendirilmiş Enerji Masrafı
LF	: Yük İzleme
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
NO ₂	: Azot Dioksit
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
N ₂ O	: Nitröz Oksit
NO	: Nitrik Monoksit
NPC	: Net şimdiki Maliyet (Net Present Cost)
NREL	: Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarı

O ₃	: Ozon
PM	: Partikül Madde
PV	: Güneş Paneli
RT	: Rüzgâr Türbini
SF ₆	: Sülfür hekzaflorür
SO ₂	: Sülfür dioksit
SO ₃	: Sülfür trioksit
SO	: Sülfür monoksit
UHC	: Yanmamış Hidrokarbonlar
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
(NO) _x	: Nitrik oksit
(H ₂ O) _{buhar}	: Su buharı



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. İlçelerde 50 metre yükseklikteki en yüksek, en düşük ve ortalama rüzgâr hızları [75]	27
Tablo 3.1. 140 farklı sistem yapılandırmasından oluşan araştırma tablosu ($5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$) [87, 89]	36
Tablo 3.2. Toplam net şimdiki maliyetlere göre sıralanmış optimizasyon sonuçları tablosu [84, 89]	37
Tablo 3.3. Sınıflanmış optimizasyon sonuçları tablosu [84, 89]	37
Tablo 5.1. Simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji senaryoları	69
Tablo 5.2. Simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi optimum senaryoları	72
Tablo 5.3. a) senaryo 1 emisyon değeri b) senaryo 2 emisyon değeri	72
Tablo 5.4. Senaryo 4 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi	77
Tablo 5.5. Senaryo 4 emisyon değerleri	77
Tablo 5.6. Senaryo 1 (bataryalı sistem) ve senaryo 4 (bataryasız sistem) sonuçları	81
Tablo 5.7. Senaryo 4 emisyon değeri	81
Tablo 5.8. Senaryo 5 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi	83
Tablo 5.9. Senaryo 5 emisyon değerleri	83
Tablo 5.10. Senaryo 5'teki komponentlerin maliyet tabloları	88
Tablo 5.11. Senaryo 5 ve senaryo 6 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi	89
Tablo 5.12. Sistemde kullanılan komponentler ve güçleri	89
Tablo 5.13. Sistem yatırım maliyetleri	90
Tablo 5.14. Cihazlar ve güçleri	92
Tablo 5.15. Gerçek hayata uyarlanan sistem simülasyon sonucu	94
Tablo 5.16. Gerçek hayata uyarlanan sistem simülasyon emisyon değerleri	95
Tablo 6.1. Simülasyon sonuçları (senaryo 1 ve senaryo 5)	101
Tablo 6.2. Simülasyon sonuçları (Gerçek hayata uyarlanan senaryo ve senaryo 5)	102
Tablo 6.3. Emisyon değerleri karşılaştırması	103
Tablo 6.4. Gerçek hayata uyarlanan sistemin komponentlerin maliyet tabloları	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [16]	3
Şekil 1.2. Kale Ev – Londra [16]	3
Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması [25].....	7
Şekil 2.2. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi 2021 [14, 35].....	9
Şekil 2.3. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi 2022 [14, 35].....	10
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin iç yapısı [36-38].....	11
Şekil 2.5. Fotovoltaik hücrelerin birleşmesi [39]	12
Şekil 2.6. Fotovoltaik panellerin ışınlama göre değişen akım, gerilim, güç değişim miktarları [40].....	13
Şekil 2.7. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası (global yatay ışınlım) [43].....	14
Şekil 2.8. Türkiye’nin aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/ m ² .gün) [32]	15
Şekil 2.9. Türkiye’nin aylara göre güneşlenme süresi (saat/gün)	15
Şekil 2.10. Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli haritası [32]	16
Şekil 2.11. Türkiye’nin yıllara göre güneş enerjisi kurulu gücü [44]	16
Şekil 2.12. Balıkesir ili güneş enerji potansiyeli haritası [44]	17
Şekil 2.13. Balıkesir’in aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/ m ² -gün) [46]	18
Şekil 2.14. Balıkesir’in aylara göre güneşlenme süresi (saat/gün) [46].....	18
Şekil 2.15. Betz kanunu [49].....	19
Şekil 2.16. Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar [51].....	20
Şekil 2.17. Dünya teknik rüzgâr potansiyelinin kıtalara göre dağılımı [67]	24
Şekil 2.18. Küresel rüzgâr enerjisi potansiyeli atlası [68].....	24
Şekil 2.19. Türkiye’de rüzgâr potansiyeli atlası [71]	25
Şekil 2.20. Balıkesir rüzgâr hızı haritası, H = 50 mt [75]	26
Şekil 3.1. Seçilen arazinin google earth görüntüsü [82]	29
Şekil 3.2. HOMER programı ara yüzü, örnek bir sistem tasarımı	31
Şekil 3.3. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki [84, 89]	32
Şekil 3.4. Homer’in tasarlayabildiği bazı mikro enerji sistem çeşitlerinin şematik diyagramları: (a) ac elektrik yükünü besleyen bir dizel konfigürasyonu (b) dc elektrik yükünü besleyen bir fotovoltaik-akü konfigürasyonu (c) bataryaya ve ac-dc invertöre sahip hidro-rüzgâr-dizel konfigürasyonu (d) hem elektrik hem de termal yükleri besleyen, ayrıca iki jeneratöre, rüzgâr türbinine, ac-dc invertöre, akü grubuna, buhar kazanına ve fazla rüzgâr türbini enerjisinin bir dirençli ısıtıcı (resistive heater) boyunca tutulması ile termal yükün nemalanmasına yardım eden bir de boşaltıcı yüke (dump load) sahip bir rüzgâr-dizel sistemi [84, 89].....	33
Şekil 3.5. Rüzgâr-dizel-akü sistemi [84, 89].....	35

Şekil 3.6. Simülasyon sonucu sıralanan hibrit enerji sistemleri.....	41
Şekil 3.7. Yakıt eğrisi sekmesi	43
Şekil 4.1. Topluluk yük profil grafiği	45
Şekil 4.2. Aylık elektrik yükü değer grafiği.....	46
Şekil 4.3. Aylık termal yükü değer grafiği.....	46
Şekil 4.4. Günlük termal yük değer grafiği.....	47
Şekil 4.5. Aylık ortalama güneş radyasyon değeri.....	47
Şekil 4.6. Aylık ortalama rüzgâr hızı	48
Şekil 4.7. PV giriş penceresi	50
Şekil 4.8. PV özellik pencereleri.....	51
Şekil 4.9. PV giriş penceresinin elde edilen görüntüleri	53
Şekil 4.10. Rüzgâr türbini açılış ekranı	54
Şekil 4.11. Rüzgâr türbini giriş ekranı	55
Şekil 4.12. Rüzgâr türbini giriş penceresinin elde edilen görüntüleri.....	56
Şekil 4.13. Jeneratör açılış ekranı.....	57
Şekil 4.14. Jeneratör özellik ekranları.....	59
Şekil 4.15. Dizel jeneratör giriş penceresinin elde edilen görüntüleri	60
Şekil 4.16. Batarya açılış ekranı.....	61
Şekil 4.17. Batarya giriş penceresinin elde edilen görüntüleri.....	62
Şekil 4.18. Dönüştürücü açılış ekranı.....	63
Şekil 4.19. Dönüştürücü inputs penceresinin elde edilen görüntüleri.....	65
Şekil 4.20. Hibrit sistem modeli.....	65
Şekil 5.1. Elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali a) senaryo 1 b) senaryo 2	73
Şekil 5.2. Termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali a) senaryo 1 b) senaryo 2	74
Şekil 5.3. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 1).....	75
Şekil 5.4. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 1).....	75
Şekil 5.5. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 2).....	76
Şekil 5.6. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 2).....	76
Şekil 5.7. Senaryo 1’de kullanılan bataryanın yıl içerisindeki doluluk oranları	82
Şekil 5.8. Senaryo 1’de kullanılan güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri.....	70
Şekil 5.9. Senaryo 1’de kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri.....	71
Şekil 5.10. Senaryo 4 elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	78
Şekil 5.11. Senaryo 4 termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	79
Şekil 5.12. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 4).....	80
Şekil 5.13. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 4).....	80

Şekil 5.14. Senaryo 5’te kullanılan güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri.....	84
Şekil 5.15. Senaryo 5’te kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri.....	85
Şekil 5.16. Senaryo 5 elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	85
Şekil 5.17. Senaryo 5 termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	86
Şekil 5.18. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 5)	87
Şekil 5.19. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 5)	87
Şekil 5.20. Senaryo 5 nakit akış diyagramı	88
Şekil 5.21. SkecthUp programı ile mahalin görüntüsü	93
Şekil 5.22. Sistemde modellenen komponentlerin bağlantı şeması	94
Şekil 5.23. Gerçek hayata uyarlanan senaryonun elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	96
Şekil 5.24. Gerçek hayata uyarlanan senaryonun termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali	96
Şekil 5.25. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (gerçek hayata uyarlanan sistem)	97
Şekil 5.26. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (gerçek hayata uyarlanan sistem)	97
Şekil 6.1. Gerçek hayata uyarlanan sistemin nakit akış diyagramı	103

BALIKESİR MANYAS İLÇESİNDE BİR MAHALLİN ENERJİ İHTİYACININ ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT SİSTEMLE KARŞILANMASI: ENERJİ VE EKONOMİK ANALİZLERİ

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisi talebi, artan nüfusla doğru orantılı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi talebinin büyük bir çoğunluğu halen fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükenebilir olmaları, kullanılması sonucu açığa çıkan yüksek emisyon sebebiyle çevreye ve insan sağlığına karşı olumsuz etkileri, tabiat olaylarına negatif etkileri ve farklı krizler nedeniyle bazı zamanlarda temin edilmesinde yaşanan sorunları nedeniyle; yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelme isteğini ciddi miktarda arttırmıştır. Özellikle sürekli olarak artan elektrik enerjisi talebine bağlı olarak 20.Yüzyılın son çeyreğinden başlayan bu artış önemli bir ivme kazanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları emisyon miktarının düşük olması sebebiyle daha çevreci olması, tükenebilir olmaması ve ithal olarak temin edilmesine gerek duyulmaması gibi avantajlara sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanımı ile kurulacak hibrit sistemler daha verimli olabilmektedir. Güneş paneli günün belli saatlerinde elektrik enerji üreteceği için aslında kesintili bir enerji sunuyorken, rüzgâr enerjisi ile birlikte çalıştığında sistem günün her saatinde elektrik üretebilecektir. Enerji kaynaklarının birlikte kullanımı ile oluşturulan sistem olarak adlandırılan hibrit enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarında gittikçe artan önemin bir neticesi ve şebeke bağlantılı sistemden uzak bölgelerde bulunan mahalleri besleyebilmenin bir çaresi olarak ortaya çıkmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sistemlerinde gerek ilk yatırım masrafının fazla olması gerekse sürekli aynı ihtiyaçta enerji üretimi temin edilememesi nedeniyle maliyet etkili bir şekilde kullanılamamaktadır. Enerji üretiminde sene boyunca ihtiyaç duyulan bazı yüklerin yenilenebilir enerji kaynakları yardımıyla, pik yüklerin ise hem yenilenebilir hem de fosil yakıtların yardımıyla temin edilmesi makul maliyet ve devamlı üretim için en elverişli uygulamalardır.

Bu çalışmada HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programı en uygun kombinasyonun bulunması için kullanılarak beş adet hibrit sistem modellenmiş, simülasyon ve optimizasyon süreçlerinden sonra değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada Balıkesir Manyas bölgesi tercih edilmiştir. Marmara bölgesinde bulunan Balıkesir ili Çavuşköy (40.063583, 27.908583) lokasyonunda oluşturulacak olan dördüz binaların içerisinde yaşayacak 60 haneli 240 kişiden oluşan bir topluluğun, şebekeden bağımsız bir şekilde hem elektrik hem de termal yük gereksiniminin karşılanması için farklı hibrit enerji sistemlerin kurulumu tasarlanmıştır. HOMER programında modellenecek olan sistemler, ortalama 480 kWh/gün elektrik ve 170,95 kWh/gün termal yük ihtiyaçlarının karşılanması ve bunun için modellenecek olan enerji sistemlerinin üreteceği enerjinin birim değerinin mevcut değere yakın elde edilebilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemler en optimum sistemin saptanabilmesi için çeşitli parametreler (jeneratör çalışma yükü, rüzgâr türbini kule yüksekliği vb.) değiştirilerek hassasiyet çözümlemeleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar nihayetinde şebekeden bağımsız şekilde modellenerek sistemlerden temin edilebilecek enerjinin birim maliyet fiyatının parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Gerçek hayata uyarlanabilmesi tartışılmış ve SketchUp programı ile modelleme gerçekleştirilmiştir. HOMER programı ile yapılan analiz sonucu aylık hane başı 380 \$ ödenerek 25 yıl sonra sistemin kendini karşılayacağı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Hibrit enerji sistemleri, Homer, SketchUp

MEETING THE ENERGY NEEDS OF A LOCATION IN BALIKESİR MANYAS DISTRICT WITH A GRID-INDEPENDENT HYBRID SYSTEM: ENERGY AND ECONOMIC ANALYSIS

ABSTRACT

In today's context, the demand for electrical energy is steadily increasing in proportion to the growing population. The majority of this demand is still met by fossil fuels. The depletion of fossil energy sources, the adverse environmental and health effects due to high emissions, negative impacts on natural events, and occasional procurement challenges have significantly heightened the desire to shift towards renewable energy sources. Particularly, since the last quarter of the 20th century, this shift has gained considerable momentum, driven by the continuously increasing demand for electrical energy.

Renewable energy sources offer advantages such as lower emissions, non-depletable nature, and reduced dependency on imports. The combined use of renewable energy sources in systems can enhance efficiency. For instance, while solar panels generate electricity during specific hours, combining solar and wind energy allows the system to produce electricity throughout the day. Hybrid energy systems, referred to as systems created by the combined use of energy sources, have emerged as a solution to meet the increasing importance of renewable energy sources and to supply remote areas away from grid-connected systems. However, the utilization of renewable energy sources in systems faces challenges, including high initial investment costs and the inability to consistently meet the same energy production needs. To address this, a cost-effective approach involves meeting the baseline energy needs throughout the year using renewable energy sources, while peak loads are supplied by both renewable and fossil fuels. This ensures reasonable costs and continuous production.

In this study, HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) program was used to find the most suitable combination and five hybrid systems were modeled and evaluated after simulation and optimization processes. Balıkesir Manyas region was preferred in the study. Different hybrid energy systems were designed to meet both the electricity and thermal load requirements of a community consisting of 240 people with 60 households living in quadruple buildings to be established in Balıkesir province Çavuşköy (40.063583, 27.908583) location in Marmara region, independent from the grid. The systems to be modeled in HOMER program were designed to meet the average 480 kWh/day electricity and 170.95 kWh/day thermal load needs and to ensure that the unit value of the energy to be produced by the energy systems to be modeled for this purpose can be obtained close to the current value. These designed systems were subjected to sensitivity analysis by changing various parameters (generator operating load, wind turbine tower height, etc.) in order to determine the most optimum system. All these studies were eventually modeled independently of the grid and it was observed that the unit cost price of the energy that could be provided from the systems varied depending on the parameters. Adaptation to real life was discussed and modeling was carried out with the SketchUp program. As a result of the analysis made with the HOMER program, it was observed that the system would pay for itself in 25 years by paying \$ 380 per household per month.

Keywords: Renewable energy, Hybrid energy systems, Homer, SketchUp

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusu gün geçtikçe artmaktadır. Artan nüfusla doğru orantılı olarak enerji talebi de artış göstermektedir. Enerji, günlük yaşamımızı etkileyen ve biçimlendiren en önemli faktörlerdendir. Su ve gıda gibi temel yaşam ihtiyaçlarının elde edilmesi ve taşınması da enerjiyle olmaktadır. Bu nedenle, enerjinin kaliteli ve kesintisiz olması temel bir ihtiyaçtır. İhtiyaç duyulan enerji fosil yakıt ve yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır [1]. Fosil kaynaklı yakıtlar yenilenebilir değildir [2]. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanmasında büyük rol oynamasına karşın emisyon oranının yüksek olması, çevreye ve insan sağlığına zarar vermesi, iklim değişikliği ve doğa olaylarına sebebiyet vermesi ve tükenbilir kaynak olması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtlar denilen bu kaynaklar hem yenilenebilir değildir hem de fosil kaynaklı yakıtların tüketilmesiyle karbondioksit (CO_2), karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) gibi gazlar açığa çıkmaktadır. Dünya çapında sera gazlarının azaltılmasına yönelik uluslararası anlaşmalar yapılmaktadır. Bu anlaşmalardan en önemlisi 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolüdür [3].

Petrol kaynaklı enerjinin, petrol fiyatlarının sürekli artması ve petrolün bir gün tükenecek olmasından dolayı risk faktörü yükselmektedir. Kömür ve doğal gaz gibi kaynaklar da maliyetlidir ve bir gün tükenecektir. Dolayısıyla rezervlerin tükenmesiyle, fiyat artışları ve temin güçlükleri ortaya çıkacaktır. Bunların yanında, fosil yakıtların kullanılacağı tesise taşınması da ayrı bir maliyeti ortaya çıkarmaktadır. Ciddi çevresel sorunlara neden olmasının yanında bir de fosil yakıtların azalması enerji güvenliği açısından ciddi endişelere yol açmıştır [4]. Sanayi devriminden bu yana enerji elde etmek amacıyla yoğun olarak kullanılan fosil yakıtların tükenmeye başlaması ve çevre üzerinde oluşturduğu yüksek tahribat, günümüzde alternatif enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir [5]. Fosil yakıtlara göre çok düşük seviyede çevresel etkilere sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma, ülkelerin temiz ve tükenmez nitelikteki enerji temini hedeflerinde öne çıkmaktadır [6]. Buna dayanarak fosil yakıtlar yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjisi başta olmak üzere hidroelektrik, gel-git, jeotermal, biyokütle ve hidrojen enerjisinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olması, sürdürülebilir (zamanla tükenmeyen) olması ve yerli kaynakları kullanmaya teşvik etmesi yönünden avantajlı enerji kaynaklarıdır [7]. Ayrıca yıllık ortalama %9,8 gibi yüksek büyüme oranına sahip olan bu kaynakların, 2040 yılına gelindiğinde Dünya enerji üretimindeki payının %16,1 olacağı öngörülmektedir [8, 9]. Enerji projeksiyonlarına göre 2050 yılında

rüzgâr ve güneş enerjisinin dünya genelinde elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %50'sini karşılayacağı belirtilmektedir [10]. Yenilenemez enerji kaynaklarının rezervleri incelendiğinde; petrolün kullanım ömrünün 54 yıl, doğalgazın kullanım ömrünün 64 yıl ve kömürün ise kullanım ömrünün 112 yıl yetecek kadar kaldığı düşünülmektedir [11-13]. Ülkemizde 2022 yılında toplam elektrik üretiminin %34,6'sı kömürden, %22,2'si doğal gazdan, %20,6'sı hidrolik enerjiden, %10,8'i Rüzgârdan, %4,7'si güneşten, %3,3'ü jeotermal enerjiden ve %3,7'si diğer kaynaklardan sağlanmıştır [14].

Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak bulundukları için tükenebilir kaynaklar değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse hepsi doğrudan veya paralel olarak güneş enerjisinden beslenir. Rüzgâr; güneşin Dünya'yı farklı sıcaklıklar ile ısıtması neticesinde meydana gelmektedir. Rüzgârdaki bu enerji, rüzgâr türbinleri vasıtası ile yakalanır. Güneşin Dünya'yı ısıtmasıyla okyanus, dere ve akarsu gibi su topluluklarındaki su kütlelerinde buharlaşmalar meydana gelir. Buharlaşan su kütleleri, kar veya yağmur olarak tekrardan dere, akarsuya ulaştığında, hidroelektrik santraller ile hidroelektrik enerjisi yakalanabilir. Tabii ki her ne kadar güneşten kaynaklanan yenilenebilir enerji kaynakları olduğu gibi, güneşten kaynaklanmayan yenilenebilir enerji kaynakları da vardır. Denizlerde oluşan gel-git enerjisi, ay ve güneşin birbirleri ile kütleli etkileşimlerinden dolayı meydana gelir. Gel-git enerjisine ek olarak, deniz dalgalarının, rüzgâr ve gel-gitler ile birlikte yarattığı okyanus enerjisi vardır. Güneş, suyun yüzeyini suyun derinliklerinden daha fazla ısıttığından dolayı su yüzeyi ile derinlikleri arasında bir sıcaklık farkı meydana gelir. Bu sıcaklık farkından da bir enerji kaynağı olarak faydalanılabilir [2]. Yenilenebilir enerjiden oluşan sistemler; 10'larca türbin kullanılarak MW değerinde rüzgâr çiftliklerinden meydana gelebileceği gibi, kW değerinde hane kullanımına uygun rüzgâr türbinleri kullanılarak da meydana gelebilir. Solar paneller için de aynı durum geçerlidir. Yenilenebilir enerjiden oluşan sistemlerin binalarla etkileşim içinde kullanılmasının da örnekleri gün geçtikçe fazlalaşmaktadır. Solar enerji sistemlerinin konutlara kolay entegre edilebilmesi sebebiyle, solar batarya ile donatılmış konut örnekleri fazladır. Bir gökdelen üzerinde uygulanmış olan rüzgâr enerjisi sisteminin Dünya'daki ilk örneği Şekil 1.1.'de verilmiştir. Bu sistemde 3 adet rüzgâr türbini tercih edilmiştir. Burada kullanılan 3 adet rüzgâr türbininin hepsi 225 kW güce sahiptir ve sırasıyla 60 metre, 98 metre ve 136 metre yüksekliklere monte edilmiştir. Kurulan bu rüzgâr türbinlerinin devreye alınma tarihi ise Kasım 2007'dir. Rüzgâr türbinlerinin senede 120 MWh elektrik üretimi gerçekleştireceği öngörülmektedir. Şekil 1.2'de ise 3 adet rüzgâr

türbini tercih edilmiştir ve hepsi 20 kW güce sahiptir. Bu sistem Londra- Kale Ev (Castle House)'dir [15].



Şekil 1.1. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [16]



Şekil 1.2. Kale Ev – Londra [16]

Güneş ve rüzgâr enerjilerinin birlikte kullanıldığı yerlerde hibrit enerji sistemleri çok önem arz etmektedir [17]. Hibrit sistem tasarımlarının amacı; güneşin doğumundan batımına kadar güneş

enerjisinden, rüzgârın olduğu zaman rüzgârdan elektrik üretimi sağlayarak elektrik üretiminde sürekliliği sağlamaktır [18]. Rüzgâr ve güneş enerjilerinin birlikte kullanıldığı hibrit enerji sistemleri hem yük kısmında istenen elektrik enerjisini karşılamaları bakımından hem de çevreye olan zararlarının fazla olmaması nedeniyle son dönemlerde kendileri dışındaki enerji kaynaklarına kıyasla daha ön planda olmaktadır. Hibrit sistemlerde iki veya daha fazla sistemin birbirini tamamlayamadıkları ve elektrik üretiminin eksik kaldığı noktada bataryalar devreye girmektedir ve bundan dolayı hibrit sistemler şebekeye uzak veya şebeke bulunmadığı için enerji çekilemeyen yerlerde oldukça iyi bir tercih olmaktadır [17].

Hibrit enerji sistemler üzerine yapılan araştırma çalışmaları, sistemlerin daha etkin ve verimli kullanımları üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu bağlamda çalışma yapan Z. Öztürk ve Ark. [19] Bursa ili Gemlik ilçesindeki sanayi alanın elektriksel yük gereksiniminin karşılanması için kullanılması planlanan örnek hibrit yenilebilir enerji modelinin şebekeli ve şebekesiz olarak, teknik ve ekonomik bakımdan uygulanabilirliğini araştırmıştır. Güneş Paneli (PV) / Rüzgâr Türbini (RT) / Dizel Jeneratör / Dönüştürücü / Batarya'dan oluşan şebekeden bağımsız (off-grid) sistem ile Güneş Paneli / Rüzgâr Türbini / Dizel Jeneratör / Dönüştürücü / Batarya / Şebeke'den oluşan şebekeye bağımlı sistemi karşılaştırmıştır. Sistemlerinde 50 m yüksekliğinde 660 kW'lık rüzgâr türbini, 500 kW'lık flat tipi PV paneli, 700 kW'lık dönüştürücü, 2400 kW'lık dizel jeneratör, 100 kWh'lık Lityum-İyon batarya ve şebeke hattı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucu; Şebekeden bağımsız hibrit sistemde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %8,93 iken, şebekeye bağlı hibrit sistemde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını %19,4 olarak bulunmuştur. Şebekesiz sistemin net bugünkü maliyeti 3.478.302.000 \$ ve şebekeye bağlı sistemin net bugünkü maliyeti 134.579.900 \$ olarak bulunmuştur. Şebekeli sistemin, şebekeden bağımsız sisteme kıyasla 25,84 kat daha ekonomik bir maddi kaynak sağlayacağı ifade edilmiştir.

G. Yılmaz ve Ark. [20] İzmir ilinde şebekeye bağlı ve yenilebilir enerji sistemlerinden meydana gelen beş değişik senaryo tasarlamışlardır. Senaryolarını oluşturdukları santrallerde kullanılan bileşenler; Güneş Paneli / Rüzgâr Türbini / Dönüştürücü / Batarya şeklinde olmuştur. HOMER programı kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarında birim enerji maliyeti, net şimdiki maliyeti, başlangıç maliyeti ve yıllık emisyon değerlerini karşılaştırılmıştır. Özellikle yıllık emisyon değeri ve birim elektrik maliyet kriterlerinin dikkate alındığı çalışmada en verimli sistemin bataryalı hibrit enerji sistem tasarımı olduğu değerlendirilmiştir. Bu sistem modellenmesinde birim elektrik maliyetinin 0,0730 \$ seviyesine indirildiği ve elektrik tüketiminin sebep olduğu yıllık emisyon değerlerinin %82 oranında azaltıldığı öne sürülmüştür.

H. Mamur ve Ark. [21] bir kamu binası olan Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde (Kozlu EML) Güneş Paneli / Rüzgâr Türbini / Dönüştürücü / Şebeke ile elektrik ihtiyacının şebekeye bağlı olarak karşılanması için fizibilite çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sistemin kurulacağı kamu binasının senelik elektrik enerji tüketimi, maksimum ve minimum elektrik enerji tüketimlerinin zaman ve miktarlarını ve senelik ortalama enerji tüketim değerlerini belirlemişlerdir. Göz önüne alınan kamu binasında rüzgâr ve güneş hibrit sistemin şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynağı olarak kurulumunun analizlerini yapmışlardır. Analizleri klasik hesaplamalar ile yapan analiz ekibi, kapsamlı hesaplamalar için HOMER programı kullanmışlardır. Yapılan analizler neticesinde, 36 kW rüzgâr türbini ve 23 kW güneş panelli şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin Kozlu EML'nin elektrik enerjisi gereksinimini karşılayabileceği değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, aralık ayında elektrik enerjisinin belli bir miktarının şebekeden çekilirken, diğer aylarda şebekeye elektrik enerjisi iletebileceği ifade edilmiştir. Bunların neticesinde de kurulan sistem modelinin 7-8 sene sonra kendini amorti edebileceği belirtilmiştir.

S. Adalı ve Ark. [22] evsel elektrik talebinin giderilmesi amacıyla HOMER Pro programı kullanarak müstakil bir konutun 2020 yılı elektrik tüketim dataları ile şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemleri dizaynı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Tasarlanan enerji sistemlerinin kurulum ve işletim giderleri hesaplanmış, sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Şebekeye bağlı sistemde Güneş Paneli / Dönüştürücü / Şebeke bileşenleri kullanılırken, şebekeden bağımsız sistemde Güneş Paneli / Dizel Jeneratör / Dönüştürücü / Lityum-İyon Batarya bileşenleri kullanılmıştır. Şebekeden bağımsız sistem için toplam net bugünkü maliyet 9159,6 \$ olarak bulunurken, şebekeye bağlı sistem için toplam net bugünkü maliyet 1366,9 \$ olarak bulunmuştur. Şebekeye bağlı sistemin konut için en ideal sistem olduğu değerlendirilmiştir.

M. Kılıç ve Ark. [23] yaptıkları çalışmada, Bursa ilinin Osmangazi ilçesinde bulunan üç katlı bir apartmanın elektrik gereksiniminin karşılanması amacıyla 2020 yılı elektrik tüketim datalarını kullanmışlardır. HOMER Pro programında şebekeye bağlı fotovoltaiik enerji sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistemde Güneş Paneli / Dönüştürücü / Şebeke bileşenleri kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak sadece güneş paneli kullanılması, sistemdeki yenilenebilir enerji fraksiyonunun düşük olmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca enerji sisteminin uygulanan maliyet analizi sonucunda, enerji gideri 0,562 TL/kWh, 25 senelik proje ömrü için sistemin net şimdiki masrafı 5974,12 \$ olarak bulunmuştur.

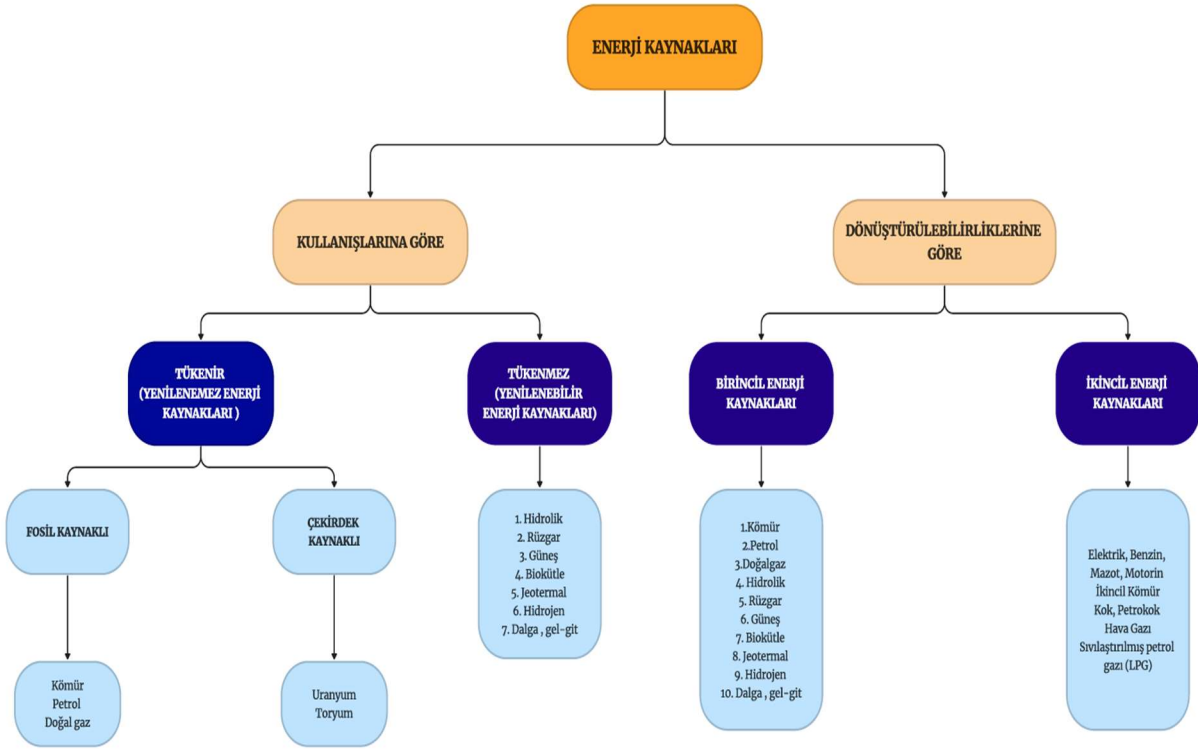
M. Tokmak ve Ark. [24] Yozgat bölgesindeki 50 hanelik bir köyün şebekeden bağımsız sistemle 25 yıllık elektrik ihtiyacını sağlamak amacıyla değişik tasarımlarda simülasyonlar yapmışlardır. Hibrit enerji sistemlerinin ekonomik, teknik ve çevresel analizleri üzerinde değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Şebekeden bağımsız sistemde Güneş Paneli / Rüzgâr Türbini / Dizel Jeneratör / Dönüştürücü / Lityum-İyon Batarya bileşenleri kullanılmıştır. HOMER programı analiz sonuçlarına göre; en ideal sistemin kurulum maliyeti 423.900 \$, ve köyün 25 yıllık elektrik masrafı 597.682 \$ olarak hesaplanmıştır. Enerji gideri ise 0,243\$/kWh olarak bulunmuştur. 50 hanelik köy için yapılan bu çalışmaya göre her evin ortalama olarak 11.953 \$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık elektrik giderini karşılaması öngörülmüştür.

Bu çalışmada ise, Marmara bölgesinde bulunan Balıkesir ili Çavuşköy (40.063583, 27.908583) lokasyonunda oluşturulan dördüz binaların şebekeden bağımsız bir şekilde hem elektrik hem de termal yük ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları olan, rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit bir sistemle karşılanması için gerekli olan konfigürasyon araştırılacaktır. Bu sistem konfigürasyonu; şebekeden bağımsız rüzgâr türbini, güneş paneli, jeneratör ve akü grubundan oluşan hibrit bir sistem olabileceği gibi onlarca farklı sistem grubu da olabilmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

Enerji kaynakları; kullanışlarına ve dönüştürülebilirliğine göre iki ayrı özellik altında toplanabilir (Şekil 2.1.) [25].

Ekonomik ve toplumsal yönden bakıldığında enerji, Dünya’da yaşam standartlarında ve ülkelerin kalkınmasında ilerlemeye yardımcı olan en önemli unsurdur. Hem Dünya popülasyonunda yaşanan artış hem de endüstri alanında yaşanan büyük ilerlemeler ve değişimler enerjiye olan ihtiyacı gözler önüne sermektedir [26, 27]. Yaşam standartlarının her bölgesinde rol alan enerji, önceki zamanlarda fosil yakıtlardan (kömür, doğalgaz, petrol vb.) karşılanırken, bugünlerde genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgâr, güneş vb.) karşılanmaktadır [27]. Şekil 2.1’de belirtilen bilgileri referans alarak enerji kaynakları; kullanım ve dönüştürülmelerine göre iki farklı özellikte toplanabilir.



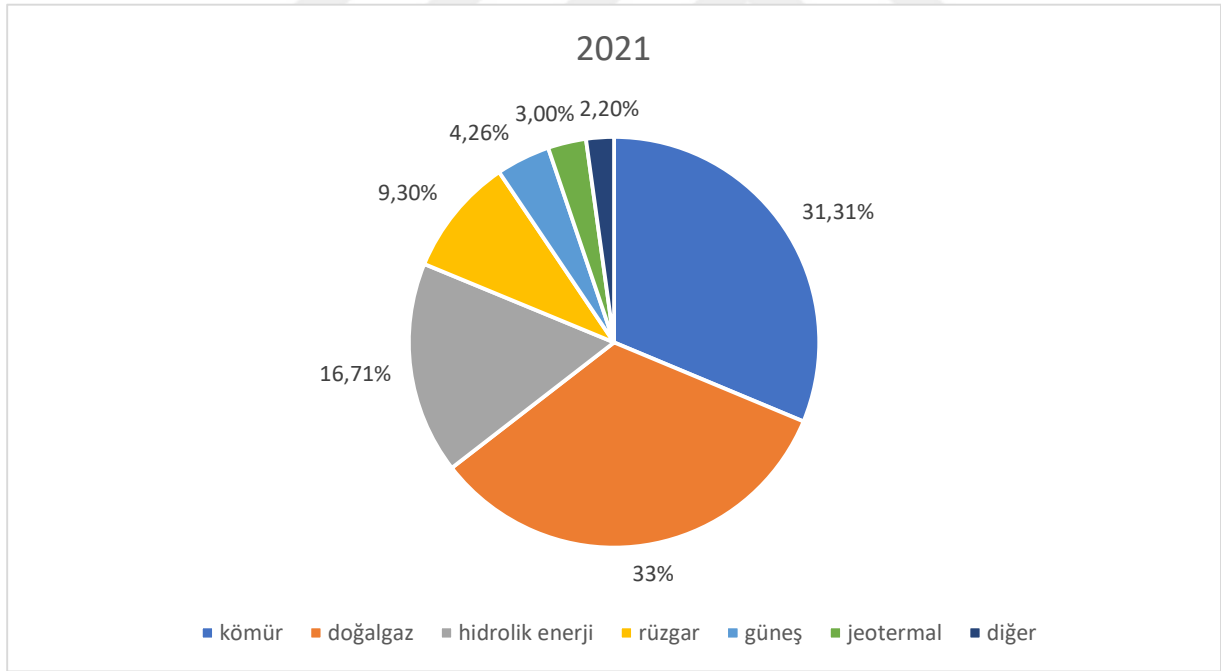
Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması [25]

Enerji kaynakları kullanımlarına kıyasla yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki çeşide ayrılırken, dönüştürülmelerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki çeşide ayrılmaktadır [26-28]. Herhangi bir müdahaleye maruz kalmamış, böylelikle yapısında fiziksel ya da kimyasal herhangi bir değişiklik olmamış enerji çeşidine birincil enerji denir. Birincil enerji kaynakları başlıca; petrol, doğalgaz, kömür ve biyokütle, rüzgâr, hidrolik, güneş,

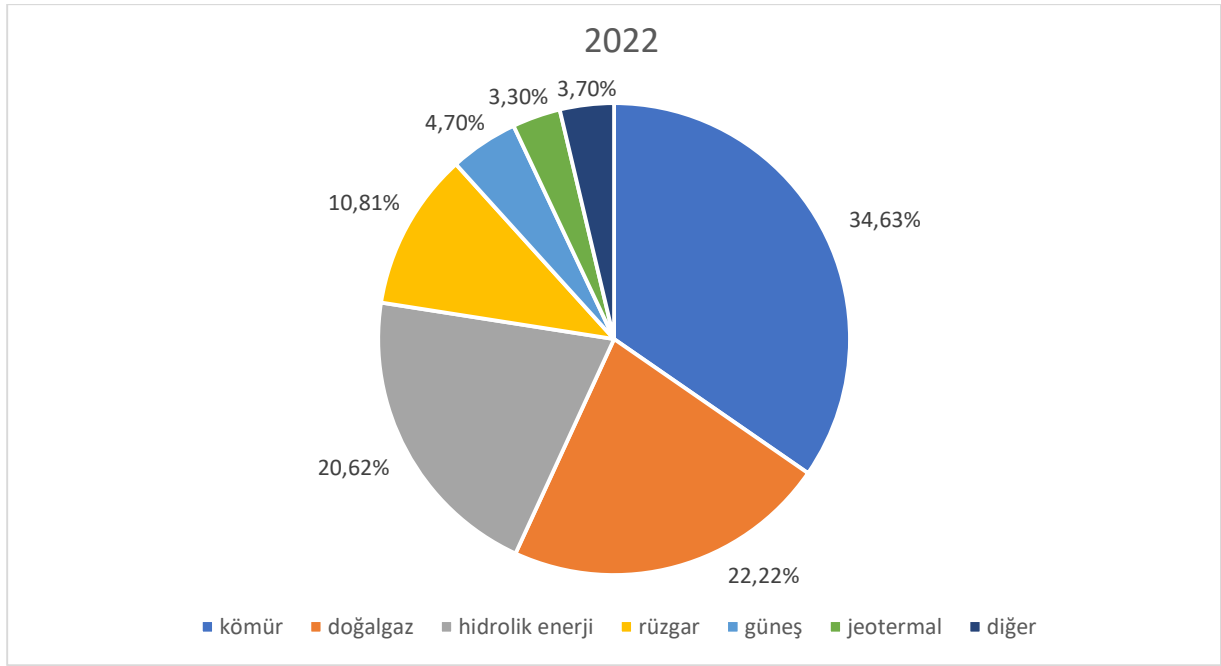
nükleer, dalga'dır. Birincil enerji kaynağı dışarıdan herhangi bir müdahaleye maruz kalıp ve yapısında fiziksel ve(ya) kimyasal olarak değişim meydana gelmesiyle farklı bir enerji türüne dönüşür ve bu enerji çeşidine ikincil enerji denir. Fosil enerji kaynakları, sınırlı rezerve sahip olan yenilenemez enerji kaynaklarıdır ve gelecekte tükenecek olan enerji türlerini kapsamaktadırlar. Yenilenemez enerji kaynakları başlığı altında kömür, petrol, doğalgaz olarak çeşitlere ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı ise, doğal kaynaklardan elde edilen, sürekli olarak elde edilebilir enerji anlamına gelir. Ana türleri rüzgâr, hidrolik, güneş, hidrojen, biyokütle, jeotermal ve dalga enerjisine ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal olarak elde edilebilmesi sebebiyle yurt dışından ithal edilmesine gerek yoktur. Bunlara ek olarak, yenilenebilir enerji doğaya zarar vermeyecek şekilde karbondioksit emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olduğundan dünya çapında bu enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır [29, 30].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı emisyonu ve karbondioksit gazı emisyon değerinin az olması, Dünya'nın yenilenebilir enerjiye yönelmesinin ana isteklerinden biridir. Sera gazları doğaya ve çevreye zarar vermekte, doğada uyum ve nizamı bozarak olağan akışa negatif şekilde tesir etmektedir. Bunun sonucunda insanlık iklim değişikliği sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. İnsanın yaptığı işler sonucu atmosferdeki sera gazı emisyon değeri artarak ortalama sıcaklık ölçüsünde artış ve iklim özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. Gerçekleşen bu değişime küresel iklim değişikliği denir. İnsan kökenli sera gazının atmosferde çoğalmasına sebep olan şey insanların yaptığı işlerdir. Yenilenemez enerji kaynaklarının üretim, iletim ve tüketimi sonucu emisyon artışı ve doğaya verdiği yıkım nedeniyle sera gazında yükseliş meydana gelir [31]. Fosil kaynaklar, içerisinde karbon ve hidrojen bulunduran organik bileşiklerdir ve yanma tepkimesine girdiklerinde çevreye zararlı gazlar olan karbon monoksit ve karbondioksit salınımı yaparak atmosferdeki zararlı gaz değerini artırırlar. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği, tarım ve diğer işler için ormanların yok edilmesi ve arazi kullanımındaki değişiklikler; atmosferden karbondioksiti alıp oksijene dönüştüren bitki örtüsünü yok ettiği için sera gazlarını artırıyor [32]. Et tüketen kişilerin atmosfere saldıkları diyet kökenli sera gazı emisyon miktarı, et tüketmeyen kişilerin atmosfere saldıkları diyet kökenli sera gazı emisyon miktarından yaklaşık iki kat daha fazladır [33]. İnsan kökenli her iş, atmosferdeki sera gazlarını farkı değerde yükseltmektedir [34]. Atmosferde sera etkisine sebebiyet veren gazlar; su buharı (H_2O)_{buhar}, karbon dioksit CO_2 , karbon monoksit CO , sülfür monoksit (SO), SO_2 , sülfür trioksit (SO_3), metan (CH_4), ozon (O_3), kloroflorokarbon (CFC) bileşikler ve sülfür hekzaflorür (SF_6) bileşikleridir [32].

Sera gazı emisyonunun azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim yıllık bazda artış gösterse de her ülkede bu eşit oranda gitmemektedir. Nitekim çoğu ülke halen enerji tüketimlerinin büyük bir bölümünü yenilenemez enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Özellikle elektrik tüketiminde yenilenemez enerji kaynakları halen ilk sıralardadır. 2021 yılında Dünya’da elektrik üretimi 28466,3 TWh’dır ve bu üretimin %34,6’sı kömürden, %22,2’si doğal gazdan, %20,6’sı hidrolik enerjiden, %10,8’i rüzgâr enerjisinden, %4,7’si güneş enerjisinden, %3,3’ü jeotermal enerjiden ve %3,7’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Türkiye’de elektrik üretimi 2021 yılında 333,3 TWh iken, 2022 yılında %2,16’lık azalma ile 326,1 TWh olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılında elektrik üretiminin %31,3’ü kömürden, %33,2’si doğal gazdan, %16,7’si hidrolik enerjiden, %9,3’ü rüzgâr enerjisinden, %4,26’sı güneş enerjisinden, %3’ü jeotermal enerjiden ve %2,2’si diğer kaynaklardan elde edilmiş iken 2022 yılında %34,6’sı kömürden, %22,2’si doğal gazdan, %20,6’sı hidrolik enerjiden, %10,8’i rüzgâr enerjisinden, %4,7’si güneş enerjisinden, %3,3’ü jeotermal enerjiden ve %3,7’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir [14, 35]. Şekil 2.2.’de 2021 yılında Türkiye’nin kaynaklara göre elektrik üretimi ve Şekil 2.3.’te ise 2022 yılında Türkiye’nin kaynaklara göre elektrik üretimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi 2021 [14, 35]



Şekil 2.3. Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi 2022 [14, 35]

2.1. Güneş Enerji Sistemi

Birbirinden farklı iki malzemenin solar ışıınıma maruz kalmasından sonra ortak jonksiyonunun arasında meydana gelen elektriksel potansiyele fotovoltaiik hücre (güneş pili hücresi) denir. Fotovoltaiik hücre bunun sonucunda ışığı direkt olarak elektriğe dönüştürür. Bu tesir 1839 yılında Fransız fizikçi Besquerel tarafından keşfedilmiştir [36]. Güneş bataryaları, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her çalışmada kullanılabilir. Güneş bataryası modülleri çalışmaya bağlı olarak; eviriciler, akü şarj denetim aygıtları, akümülatörler ve çeşitli elektronik destek devreleri ile entegre şekilde uygulanarak fotovoltaiik sistemi meydana getirirler. Fotovoltaiik sistem, daha çok yerleşik hayattan uzak, şebekeye bağlı elektriğin olmadığı yerlerde ve jeneratöre enerji için yakıt taşımanın kolay ve ucuz olmadığı koşullarda uygulanır. Bu koşullardan farklı olarak, dizel jeneratörler gibi diğer güç sistemleri ile de entegre şekilde karma olarak uygulanmaları da muhtemeldir [37]. Fotovoltaiik sistem, alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) elektriğin tüketilmesi ile çalışan yükü besleme düşüncesiyle, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Tüketilen elektriğin aksine üretilen elektrik sadece doğru akımdır. Bu üretilen elektrik ile doğru akım ile çalışan yük beslenmesi yapılabilir. Güneşten gelen ışın kararlı ve devamlı olmadığından dolayı, yükün beslenmesinin yeterli olmadığı durumlar ile karşılaşılabilir. Ayrıca, üretilen enerjinin tüketilen enerjiden fazla olacağı zamanlar ile de karşılaşılabilir. Tüketim sonucu artan fazla enerji bataryalarda (akülerde) depolanır ve güneşten gelen ışıınının tüketimi karşılamadığı vakitlerde devreye girerek gerekli

enerji karşılanabilir. Çalıştırılmak istenen yük profili doğru akım olmak zorunda değildir, üretilen elektrik vasıtasıyla alternatif akım ile çalışan yük beslenmesi de yapılabilir. Bu durumda evirici kullanılarak doğru akım alternatif akıma çevrilir. Fotovoltaik sistemler yerleşik hayattan uzak mahallerde elektrik yüklerini beslemek amacıyla, şebekeden bağımsız inşa edilebilirler. Bununla birlikte, yerleşik hayata ve yerel elektrik şebekesine yakın yerlerde bulunan fotovoltaik sistemler, üretilen enerjiyi şebekeye iletebilecek şekilde yapılabilir [38].

2.1.1. Fotovoltaik hücre

Fotovoltaik hücre ile PN yüzeye sahip bir birleşmeli diyotlar fiziksel özellik bakımından birbirlerine benzerdir ve Şekil 2.4.'te de bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir. Birleşme yüzeyi ışını emdiğinde, malzeme emilmiş olan ışınların sahip olduğu enerjiyi elektron sistemine transfer eder ve böylelikle birleşme yüzeyinde farklı bölümlere gidilerek yük taşıyıcıları meydana gelir. Bu yük taşıyıcıları, sıvı haldeki elektrolitin içinde olan elektron iyonları ya da katı haldeki yarı iletken malzemenin içinde olan elektron oyun çifti olabilir. Bu yük taşıyıcıları birleştirilme yüzeyi yerinde, elektrik alana maruz kaldığında artan ve sanki dıştan bir kaynak mevcutmuş gibi yenilenen bir potansiyel güç meydana getirmektedir. Elektriğe çevirilmiş olan güç, birleştirilme yüzeyinden akan akımın karesi ile hücrenin direncinin çarpımı olarak belirtilebilir. Işınlarda artan enerji, hücrede ısının yükselmesine neden olur. Fotovoltaik potansiyelin kökü, fermi sınıfı diye bilinen, iki yalıtılmış maddedeki elektronların birbiri arasındaki kimyasal potansiyel farktır. Bu iki farklı madde bir araya getirildiğinde yeni bir termodinamik denge meydana gelir. Güneş fotonunun elektron sayılarında değişime neden olmasıyla bu denge bozulur ve iki madde arasında elektron miktarını eşitlemek için tek taraflı bir elektron hareketi başlangıcı olur. Bu başlangıçla fotoakım meydana gelmektedir [36-38].

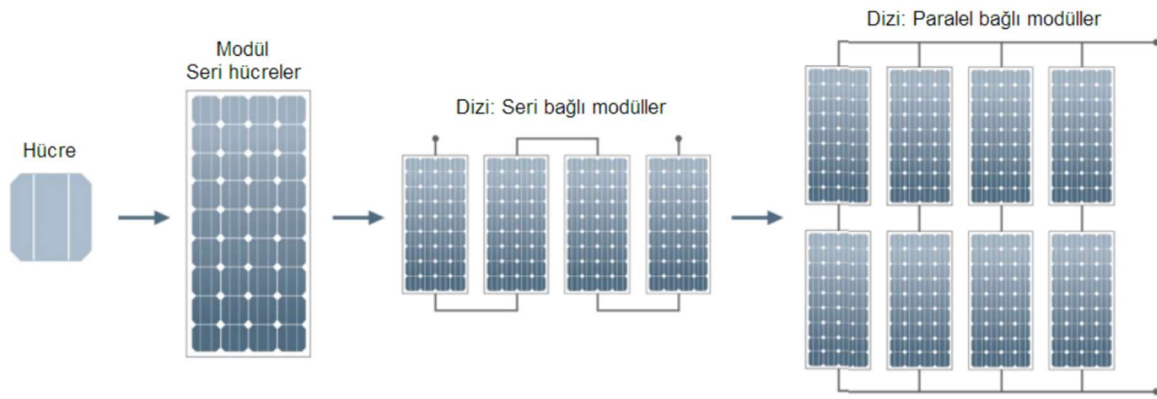


Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin iç yapısı [36-38]

Güneş fotonu olarak da adlandırılan güneş ışını cisim üzerinden belli bir değerde yansır ve foton geri döner. Bu da enerjide kayıp olmasına sebep olur. Bu duruma çare bulmak için cismin ön yüzüne yansıma önleyici bir madde ile kaplama yapılır. Hücre bu durumda bile darbelere maruz kaldığında kolaylıkla zarar görebilir. Önlemek amacıyla saydam bir yapıştırıcı kullanarak ön yüze cam monte edilmekte ve bu sayede mekanik koruma sağlanmaktadır [36].

2.1.2. Fotovoltaik panel ve dizi

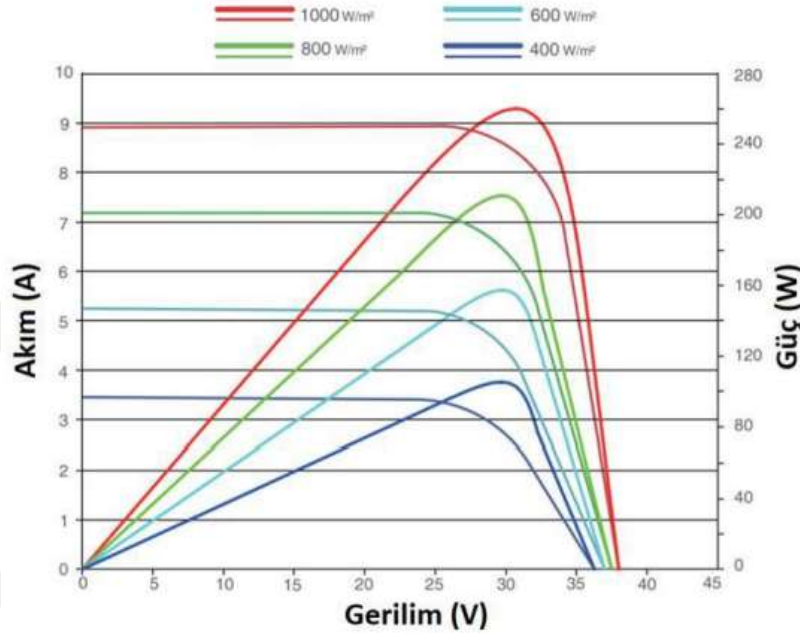
Fotovoltaik hücre, bir fotovoltaik güç sisteminin ana elemanıdır. Sıradan bir fotovoltaik hücre birkaç cm^2 'lik bir yere sahiptir ve küçük değere sahip güç üretimi gerçekleştirebilir. Fotovoltaik hücre tarafından üretilen bu güç değeri, bir fotovoltaik sistemi için tatmin edici değildir. Birden fazla fotovoltaik hücreyi birbirine paralel ve(ya) seri olarak bağlamak fotovoltaik güç sisteminde üretilen gücü artırır. Fotovoltaik hücrenin birbirine paralel ve(ya) seri olarak bağlanması sonucu oluşan birim fotovoltaik panel olarak adlandırılır. Çok sayıda sistem için panel gücü de yeterli olmayabilir. Bu tip durumlarda, fotovoltaik panellerde ihtiyaç duyulan gerilim ve akımın üretilebilmesi için panellerin seri ve(ya) paralel olarak birbirine bağlı olması gerekmektedir. Fotovoltaik panellerin seri ve(ya) paralel olarak bağlanması sonucu meydana gelen sisteme de fotovoltaik dizi adı verilir [36]. Şekil 2.5.'te fotovoltaik hücre, fotovoltaik panel ve fotovoltaik dizi görülmektedir [39].



Şekil 2.5. Fotovoltaik hücrelerin birleşmesi [39]

Fotovoltaik hücrelerle sistem dizaynında en kritik hususlardan biri de güneşten gelen ışıdır. Şekil 2.6.'da ışıının fotovoltaik panellerin verimine etkisi görülebilmektedir. Fotovoltaik panel dizisinin güç üretimi, normalde yatay olmayan fotovoltaik panel dizisinin yüzey kısmına temas eden radyasyon miktarıyla değişmektedir. Bu sebeple, her vakit bölümünde, fotovoltaik

panel dizisinin yüzey bölümündeki küresel güneş radyasyonu eylemini hesap etmektedir. Global yatay ışıma (GHI), yeryüzündeki yatay yüzey alana temas eden toplam solar radyasyonu değeridir. Yani global yatay ışıma; doğrudan normal ışıma, dağınık ışıma ve yer yüzeyinden seken radyasyonun toplamıdır. Düz panel fotovoltaik dizisi üretimini hesap etmek için global yatay ışıma kaynağı tercih edileceğinden dolayı buna benzer modellemelerde dizaynlar için global yatay ışıma verileri tercih edilmiştir.



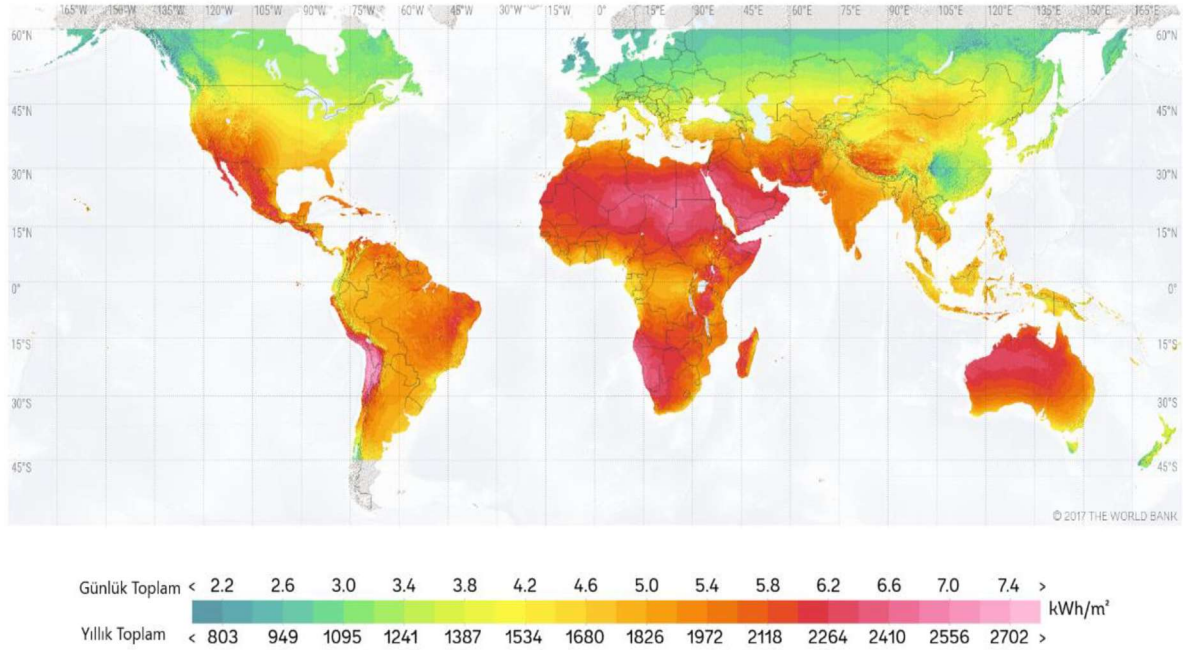
Şekil 2.6. Fotovoltaik panellerin ışımaya göre değişen akım, gerilim, güç değişim miktarları [40]

2.2. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi

Güneş ışıma şiddeti Dünya atmosferinin dışında iken 1367 W/m^2 olarak kabul edilmektedir. Dünya’nın yüzeyindeki ışıma şiddeti ise $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında lokasyona bağlı olarak farklılaşmaktadır [41]. Dünya atmosferinin dış yüzeyine gelen enerji 173104 kW değerinde iken, Dünya’da yeryüzüne gelen değer 1395 kW ’a kadar azalmaktadır. Yeryüzüne gelen enerji miktarı enerjideki düşüşe rağmen, Dünya’nın ihtiyacı olan toplam enerjinin milyarlarca katı değerindedir [42].

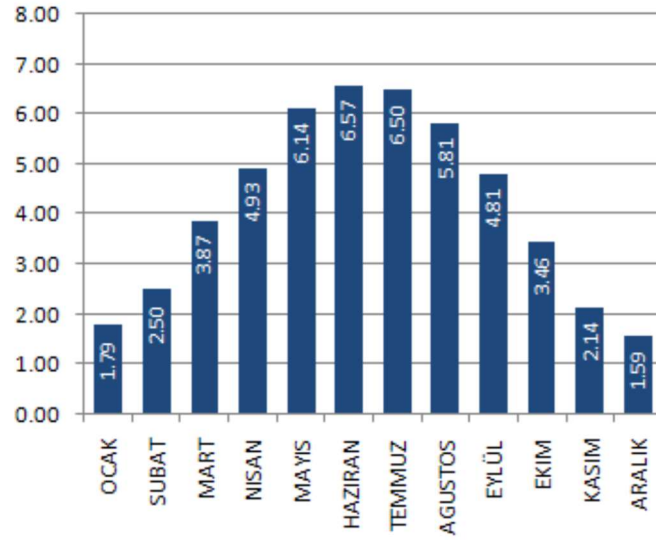
Dünya’da solar enerji potansiyeli lokasyon bazlı değişim göstermektedir. Dünya’nın sahip olduğu şekil sebebiyle, en fazla solar enerji potansiyeline sahip olan ülkeler ekvatora yakın olan ülkelerdir. Her ne kadar güneş enerji potansiyeli güneş enerjisine yapılacak olan yatırımları pozitif etkileyecek bir parametre olsa da ülkeler solar enerjiden faydalanma oranı ile doğru orantılı olarak büyümemiştir. Güneş enerjisine olan yatırımları güneş enerji potansiyelleri değil,

ülkelerin koşulları tayin etmektedir. Şekil 2.7.'de Dünya'nın güneş enerjisi potansiyeli haritası görülmektedir [43].

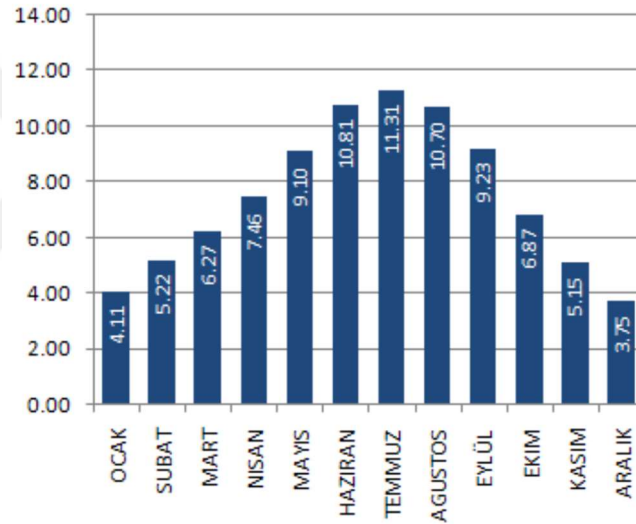


Şekil 2.7. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası (global yatay ışınım) [43]

Türkiye coğrafi olarak 36°- 42° Kuzey paralelleri ve 26°- 45° Doğu meridyenleri arasındaki konumda yer alır. Adalar ve göller de dâhil edildiğinde yüz ölçümü alanı 814578 km²'dir. İzdüşümü olarak ise 783562 km²'dir [44]. Türkiye coğrafi olarak bulunduğu konum itibarıyla güneş enerjisinde yüksek potansiyele sahiptir. Türkiye, güneş enerjisinde lider ülkeler ile kıyaslandığında bu ülkelere daha fazla güneş enerji potansiyeline sahip olmasına karşın, güneş enerjisi kullanımı bakımından oldukça geride kalmıştır. Türkiye'nin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından düzenlenen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda (GEPA); senelik toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), senelik toplam gelen güneş enerjisi ortalama 1527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu belirtilmiştir [14]. Ay bazında Türkiye global radyasyon değerleri Şekil 2.8.'de, güneşlenme süresinin Türkiye'de ay bazında gösterimi ise Şekil 2.9.'da grafiksel olarak verilmiştir [32].

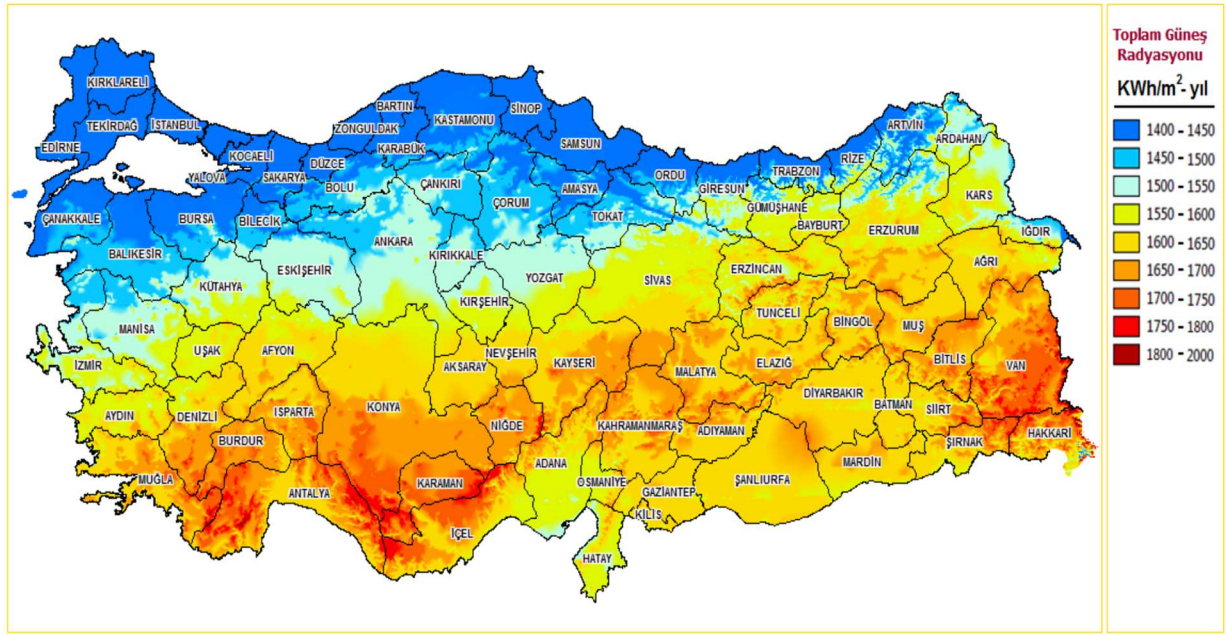


Şekil 2.8. Türkiye'nin aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/ m².gün) [32]



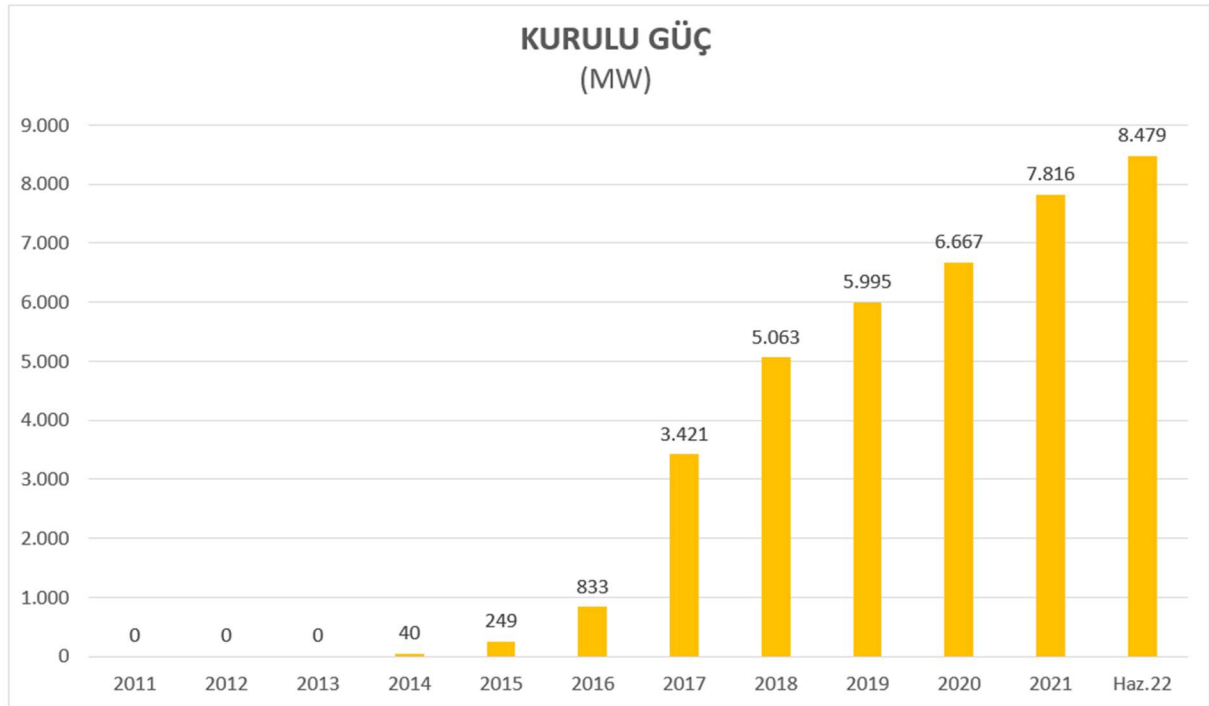
Şekil 2.9. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süresi (saat/gün)

Türkiye’de haritasının kuzey paralellerinde yukarıdan aşağıya doğru inildikçe güneş enerjisi potansiyelinde artış olmaktadır. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli yüksekten düşüğe doğru Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi olarak dizilmektedir. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken, güneş enerji potansiyelinin en düşük olduğu bölge ise Karadeniz Bölgesi’dir. Türkiye’nin güneş enerjisindeki potansiyelini gösteren harita Şekil 2.10.’da gösterilmiştir [32].



Şekil 2.10. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli haritası [32]

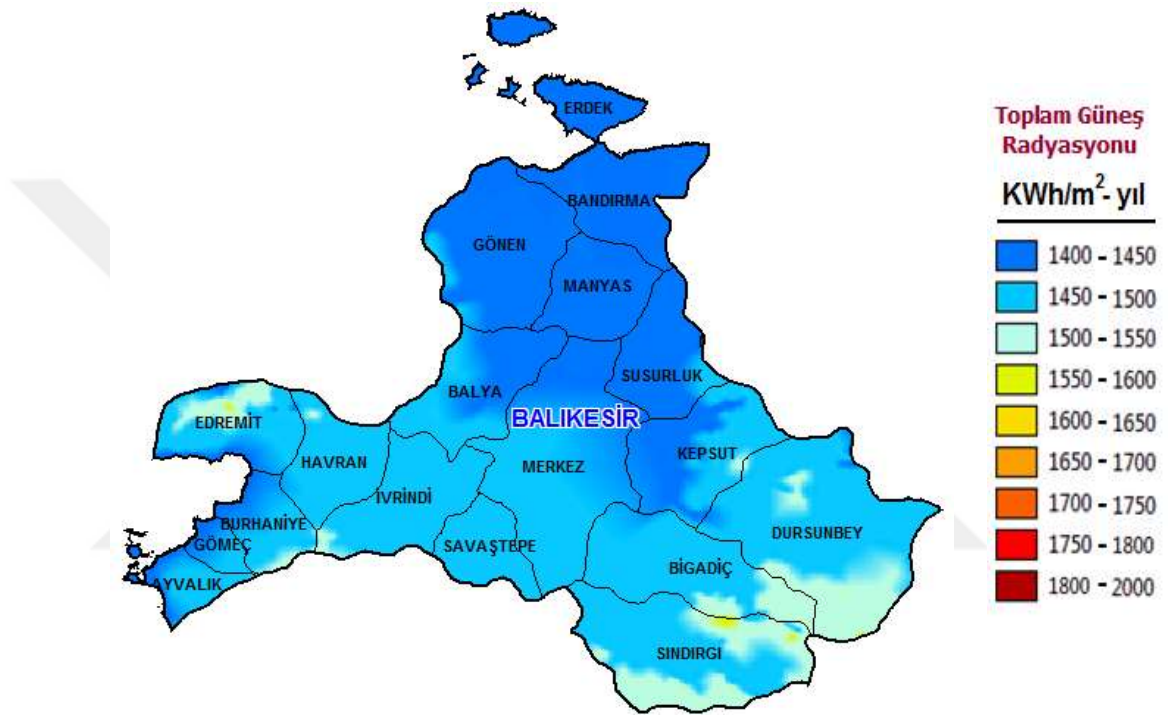
Şekil 2.11'de Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisi kurulu gücü gösterilmiştir [44]. Şekil 2.11'i incelediğimizde ülkemizdeki güneş enerjisi yatırımlarının 2014 yılında başlayıp katlanarak devam ettiği görülmektedir. Ülkemiz, lider ülkelere kıyasla güneş enerjisi kullanımına başlamada çok geç kalmıştır.



Şekil 2.11. Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisi kurulu gücü [44]

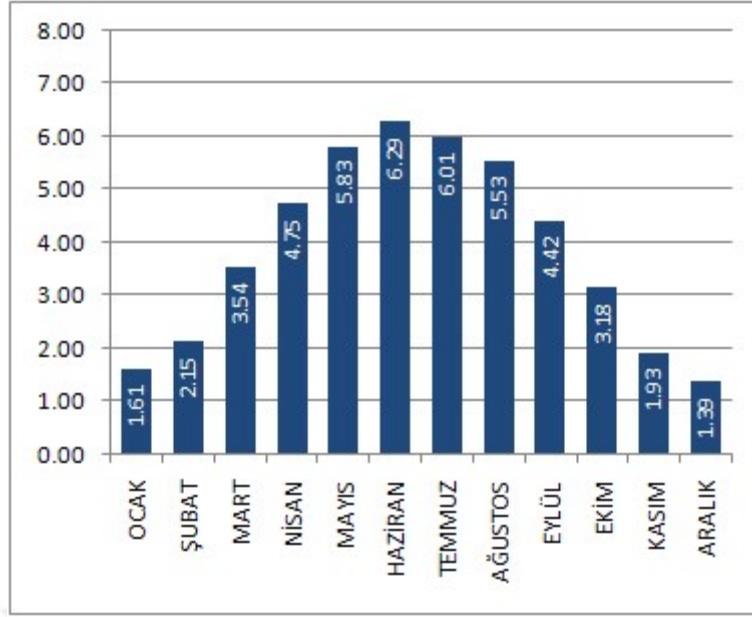
2.2.1. Balıkesir güneş enerji potansiyeli

Balıkesir ili güneşlenme süresi yılda 2686 saat (günlük ortalama 7,35 saat) ile Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi ortalaması olan 2741 saat (günlük ortalama 7,5 saat)'e yakın bir değere sahiptir. Ayrıca Balıkesir ili yıllık toplam radyasyon (ışınım) değeri 1418 kWh/m²-yıl (günlük ortalama 3,88 kWh/m²-gün) ile Türkiye'nin yıllık toplam radyasyon (ışınım) değeri olan 1527 kWh/m²-yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m²-gün) değerine yakın bir değerdedir [14, 45]. Balıkesir ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası 2.12.'de görülmektedir [44].

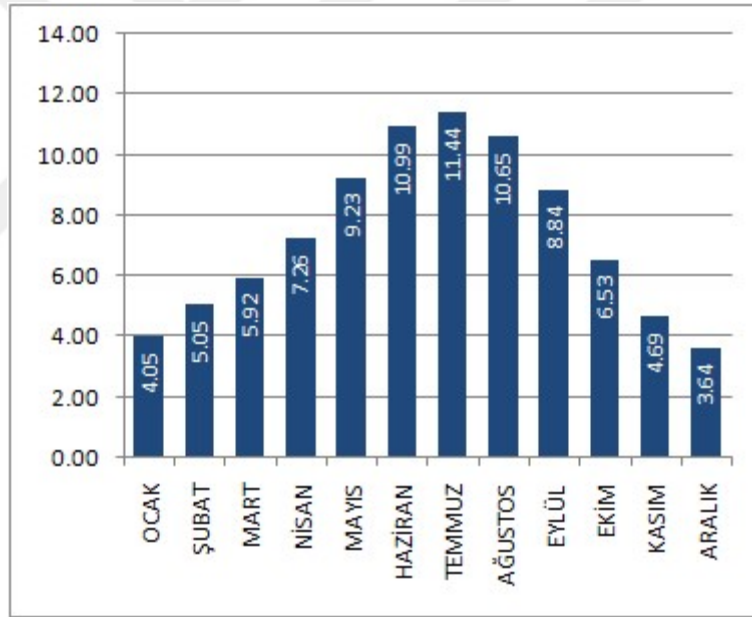


Şekil 2.12. Balıkesir ili güneş enerji potansiyeli haritası [44]

Balıkesir'in aylara göre global radyasyon değerleri Şekil 2.13.'te, aylara göre güneşlenme süresi Şekil 2.14.'te grafiksel olarak gösterilmiştir [46]. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi güneşten gelen yıllık radyasyon değerinin %37,6'sı yaz aylarında elde edilmektedir. Kış aylarında ise bu oran %11,7'ye kadar düşmektedir. Şekil 2.13. ve Şekil 2.14.'te de görüleceği üzere radyasyon ve güneşlenme değerleri yaz aylarında pik yapmıştır. Yaz ayında güneşten yararlanma süresinin artması, radyasyonun da doğru oranda artmasını sağlamıştır.



Şekil 2.13. Balıkesir'in aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/ m²-gün) [46]



Şekil 2.14. Balıkesir'in aylara göre güneşlenme süresi (saat/gün) [46]

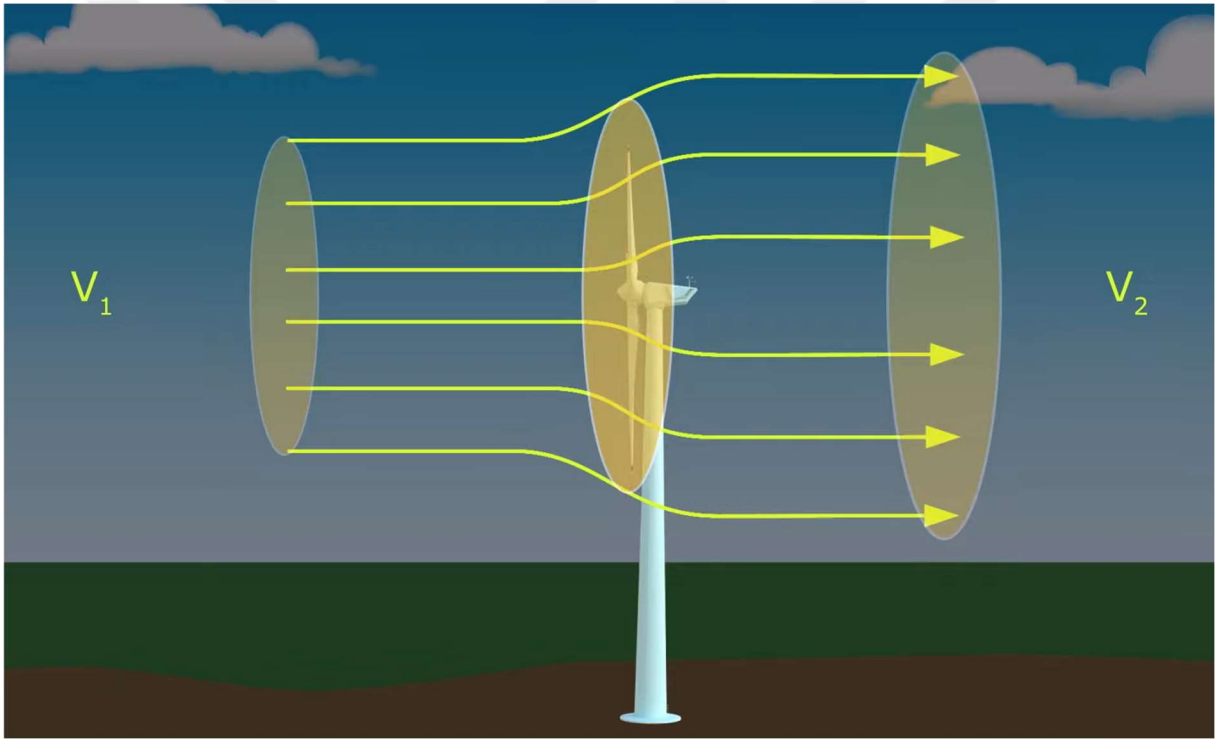
2.3. Rüzgâr Enerji Sistemi

Rüzgâr, güneş ışınının dünya yüzeyini eşit ısıtmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bölgelerdeki farklı ısınmalar; hava sıcaklığı, basınç ve nemde farklılıklar oluşmasına sebep olur. Basınç farkının sonucu olarak da havanın hareketi meydana gelir. Yerkürenin yüzeyi dağınık bir şekilde ısınmakta ve soğumaktadır. Bundan dolayı atmosferik basınç mevzileri meydana gelerek yüksek basınç yerlerinden alçak basınç yerlerine bir hava akışı gerçekleştirmektedir.

Bu hava akışı rüzgâr diye adlandırılır [47]. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın sahip olduğu bu enerjiden elektrik üretiminde yararlanırlar.

Rüzgâr türbinleri, aerodinamiğin ana esaslarını kullanarak kanatlar aracılığı ile rüzgâr enerjisini önce kinetik enerjiye, daha sonra jeneratör vasıtasıyla kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler [48].

Rüzgâr türbinlerinin rüzgârın tüm enerjisini kullanmaları mümkün değildir. Optimum rüzgâr türbini, rüzgâr hızını %66,7 oranında azaltmaktadır. Bu statü, rüzgâr türbini kullanarak rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjinin en fazla %59'unun yani 16/27'sinin mekanik enerjiye çevrilebileceğini belirten Betz kanunu ile de ifade edilmektedir [49]. Betz kanunu Şekil 2.15.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Betz kanunu [49]

Betz kanununa göre, teorik olarak rüzgâr enerjisinden kazanılabilecek maksimum güç formülü, aşağıda verilmektedir [50]:

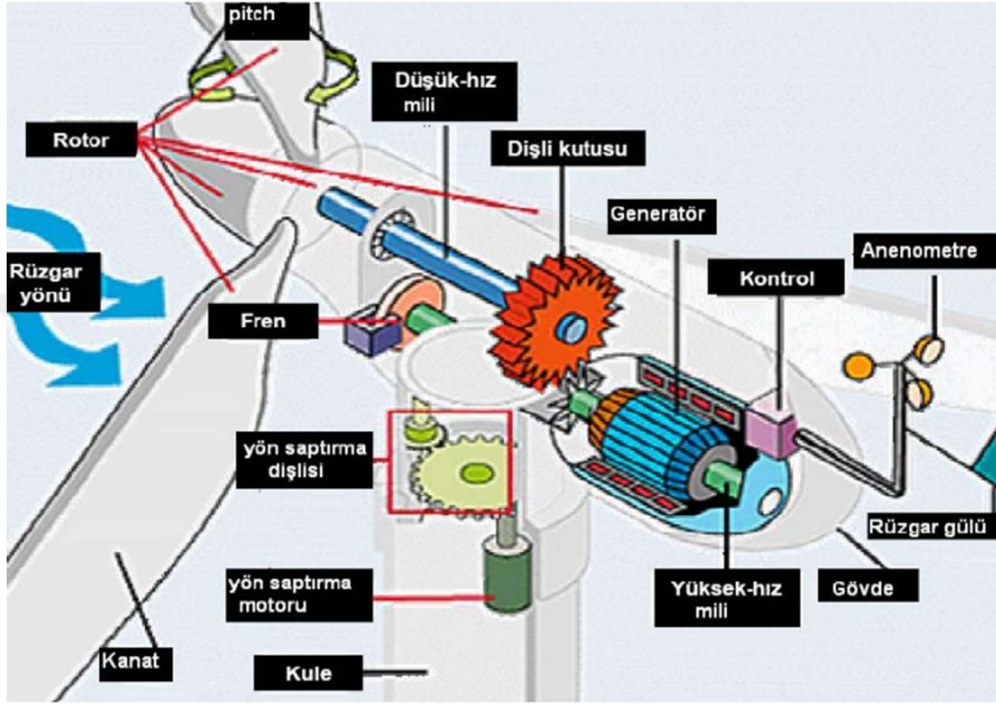
$$P = 1/2 \rho v^3 \pi r^2 C_p \quad (2.1)$$

Güç formülü formül 3.1'deki gibi yazılabilir. Bu denklemde:

- P rüzgârın gücü,
- ρ havanın yoğunluğu,

- v rüzgâr hızı,
- r rotor yarıçapı,
- C_p güç katsayısı olarak adlandırılır.

Rüzgâr türbini birden çok ekipmanın birleşiminden meydana gelmektedir. Bu ekipmanlar Şekil 2.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar [51]

2.3.1. Kule

Kule, yatay eksene sahip rüzgâr türbinlerinin önemli bileşenlerinden biridir ve üstünde jeneratörün çalıştırılması halinde dişli çark ve millere sahip yatak ile kanatları durmaktadır. Bu günlerde ticari amaç için faydalanan rüzgâr türbinlerinin kule, çelik saçlarının flanş veya normal yöntemle birbiri ile kaynatılmasıyla veya betondan boru biçiminde üretilmesiyle meydana getirilen silindirik ve uzun yapılardır [52, 53]. Bu yüzden kulede ya çelik ya da beton malzeme tercih edilir [54].

Kuleye ait rotor çapına göre kulelerin uzunlukları 20 ile 100 metre arasında farklılık göstermektedir. Kuleler genellikle silindir biçiminde olmalarına rağmen az da olsa çelik kafes yönteminde de uygulanabilmektedir. Kule dayanımı kulelerdeki en kritik değişken olduğu için kule yapımında kullanılan malzemeler farklı mekanik testlere tabi tutulmalıdır ve belirli azami dayanım değerlerinin altında olmamalıdır yapılardır [52, 53]. Kule uzunluğu, yukarlardaki

rüzgâr hızlarından faydalanmanın avantajı ile uzunlukla doğru orantılı olarak artan kule maliyeti arasındaki optimum çözümle karşılaştırılır. Kule uzunluğu belirlenmesindeki bir başka parametre ise eğilme doğal frekansıdır ve bu parametre kulede kullanılan malzeme ile kule maliyetini oldukça fazla etkilemektedir. Kule imalatı, rüzgâr türbinlerinin toplam üretim giderlerinin %11-20'sini oluşturur [54].

2.3.2. Türbin rotor kanatları

Rüzgâr türbini kanatlarının imalatı alüminyum, elyaf ile gücü arttırılmış plastik (cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı), titan, çelik ve ağaçtan gerçekleştirmektedir. [54, 55]. Modern rüzgâr türbini kanatlarının üretimi genellikle cam elyaf ile gücü artırılmış polyester ya da epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten gerçekleştirilir. İmalatı çelikten yapılan türbin kanatlarının eğilmeye olan dayanımları yüksektir lakin korozyon problemi ve yorulma dayanımları oluşturmaktadır. İmalatı alüminyumdan yapılan türbin kanatları çeliğe göre daha hafif, yorulma dayanımları daha yüksek ve korozyona karşı daha dirençli gibi artıları var iken üretim tekniğinin zorluğu, fiyat yüksekliği ve kabuk biçiminde malzemenin burkulması gibi eksileri de vardır [54].

2.3.3. Dişli kutusu

Rotor açısal hızı çoğu kez, talep edilen elektriksel frekans değerini oluşturmak için jeneratörü çalıştırmak için yeterli hıza sahip değildir. Dişli takımları, dönme yöntemleri için hızlarda mekanik bir yükseliş ve mekanik bir azalış temin edebilirler. Rüzgâr türbinleri baz alındığında, dişli takımları düşük hızda çalışan milin açısal hızını jeneratöre bağlanan yüksek hıza sahip mil faaliyetine çevirmede kullanılırlar [54].

2.3.4. Jeneratör

Jeneratör, rüzgâr türbinlerindeki mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesine yarayan parçadır [56]. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan 3 farklı jeneratör vardır. Bunlar senkron jeneratör, asenkron jeneratör ve DC jeneratördür. Düşük güç sistemlerinde, önceden doğru akım jeneratörleri kullanılırken, şu an da sabit mıknatıslı jeneratörler tercih edilmektedir. Orta ve yüksek güç sistemlerinde ise senkron jeneratör ile asenkron jeneratörler tercih edilmektedir. Bu jeneratörlerde üretimi sağlanan elektrik enerjisinin, talep edilen gerilim ve frekans gücüne evrilmesi için güç elektroniği sistemlerinden yararlanır [20]. Senkron jeneratörler şebeke frekansında kullanılırken, şebekeden reaktif güç çekmezler. Buna ek olarak fiyatları yüksektir. Ayrıca sadece şebekeye bağlıyken çalışabilir durumdadırlar. Asenkron jeneratörler ise senkron

jeneratörlere göre basit ve ucuz jeneratörlerdir. Şebeke frekansından yüksek frekansta iken çalışırlar. Ancak şebekeden reaktif güç çekerler [56].

2.3.5. Diğer ekipmanlar

Anemometre: Rüzgâr hızını ölçerek kontrolör yöntemine iletim yapan ölçüm aygıtıdır [3].

Kontrol sistemi: Türbinlerin iletim ve kesim hızlarında en yüksek güçte kullanılmasını sağlayan ve kritik sınırın üzerindeki rüzgârlarda türbinleri durdurmaya yarayan kontrol mekanizmasıdır.

Rüzgâr gülü: Rüzgâr yönünü belirleyerek, değişmelere göre yön saptırma motoru ile haberleşmeye yarayan cihazdır.

Yön saptırma sürücüsü ve motoru: Rüzgâr türbinlerinin rotorlarını rüzgâr yönüne doğru çevirir. Rüzgârın hızında farklılık meydana geldikçe, rotor başını rüzgâra dik tutacak biçimde ayarlayan sistemdir [57].

Hidrolik sistem: Kanatların uçları, rotor freni, yön saptırma frenleri, rotor başlığı ve yön saptırma sürücüleri gibi ayrı temel kısımların çalışabilmesi için yağ basıncı sağlayan sistemdir [57].

Frenler: Aerodinamik kanat uç freni birincil frenleme yöntemidir. Fazla hız miline yerleştirilmiş disk freni ise ikincil frenleme yöntemidir. Her iki yöntem de birbirinden bağımsızdır ve olası sıkıntılı durumda güvenli duruma geçebilmek için rüzgâr türbininin hızını azaltabilir [58].

Dizel Jeneratör: Ana tahrik çalışanı dizel motor ve talep edilen gerilim ve frekansta elektrik üretimi sağlayan alternatörlerin birleşmesi sonucu dizel jeneratör meydana gelir. Jeneratör setlerinde, uygulama hedefine göre yedek güç kaynağı (standby) ya da ana güç kaynağı (prime) olarak kullanım sağlanır. Dizel jeneratörler, yedek güce ihtiyaç duyulan durumlarda sıklıkla tercih edilen enerji kaynaklarıdır [59]. Dizel jeneratör sistemleri üç tip motordan meydana gelir. Bu motorlar; çift darbeli motorlar, küçük ve yüksek hızlı motorlar, büyük ve düşük hızlı motorlardır. Basınç ile motor içindeki dizel yakıtı hava ile herhangi bir müdahale olmadan yanar. Dizel jeneratör sistemleri hemen hemen %33'lük bir verimde çalışırlar [60].

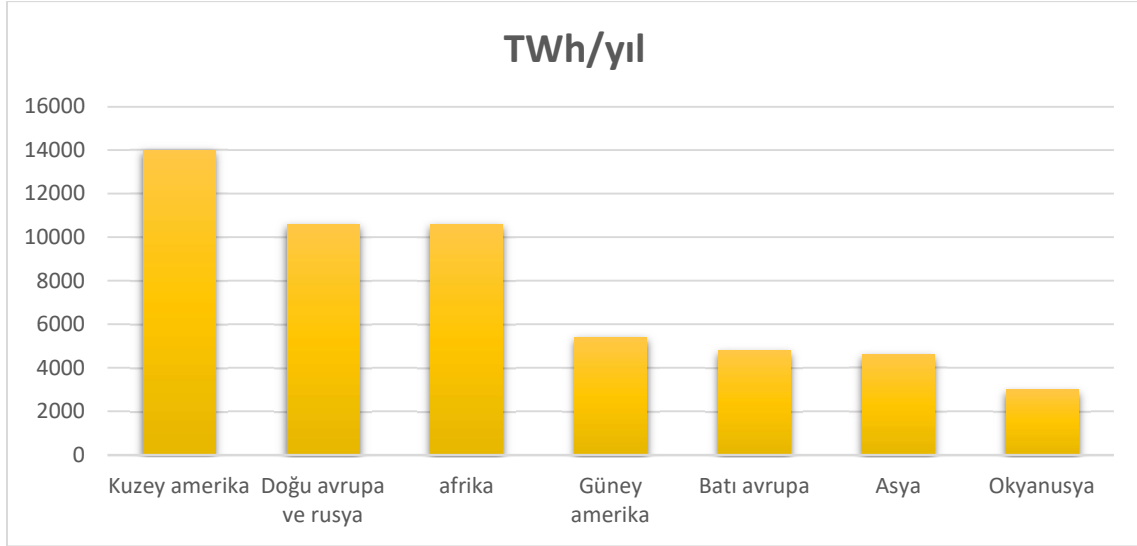
2.4. Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr, güneş ışınımının dünyanın yüzeylerini farklı derecede ısıtması sonucu meydana gelir. Bunlara ek olarak, havanın

basıncının, sıcaklığının ve neminin birbiri ile farklı olması sebebiyle, havanın hareketlenmesini oluşturur. Hava hareketinin bulunduğu basınçtan daha aşağı bir basınca doğru ilerlemesi ile rüzgâr meydana gelmektedir [26].

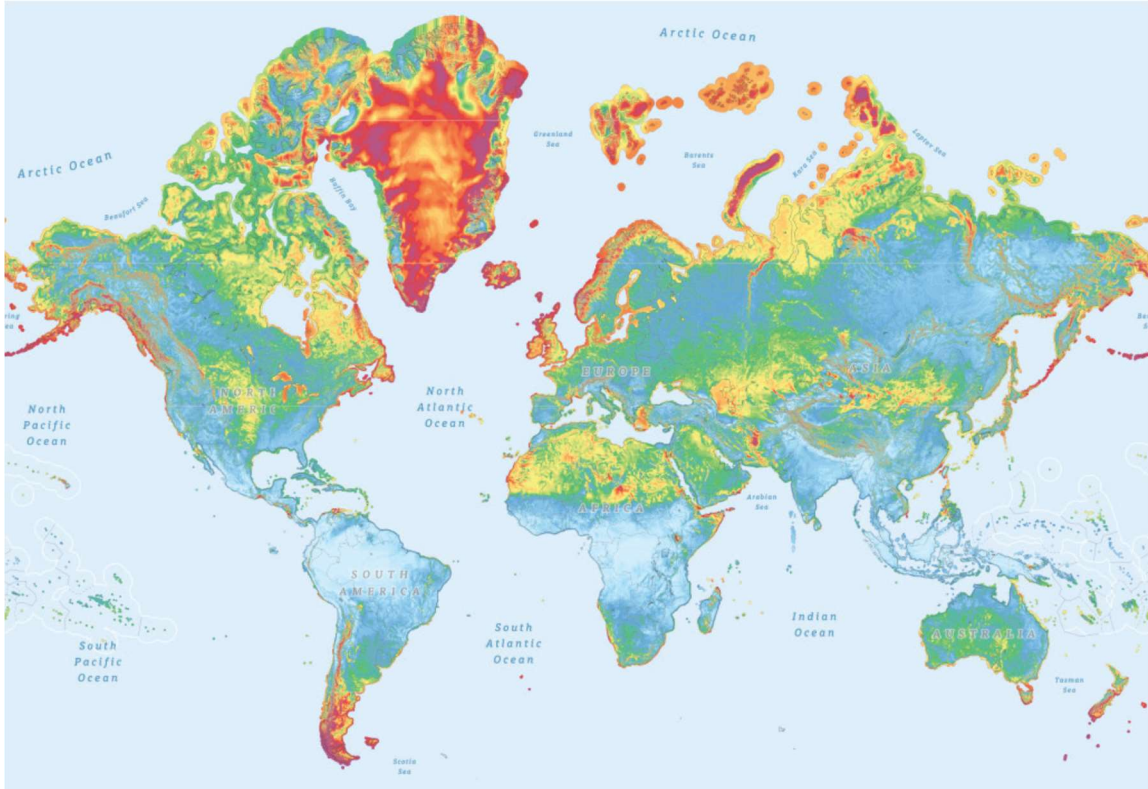
Rüzgâr enerjisinden faydalanmanın bazı yararları vardır. Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynağı olmasının yanı sıra taşımada sıkıntı bulunmayan ve enerjinin üretimi için çok yüksek teknolojiye ihtiyaç duymayan bir enerjidir. İlâveten, rüzgâr enerjisi atmosferde özgür ve çokça bulunmakta ve çevre kirliliğine sebebiyet vermemektedir. Rüzgâr enerjisi güneş ve Dünya yaşadığı sürece varlığını sürdürecektir ve bu enerjiden faydalanabilmek için enerjinin diğer enerji biçimine dönüştürülmesine ihtiyaç vardır. Bu enerji için rüzgâr türbinlerinden yararlanılmaktadır [61-63]. Rüzgâr türbinlerinin kullanım amacı rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Son zamanlarda rüzgâr türbini teknolojisinde olan büyümeler rüzgâr gücünden üretilen elektrik enerjisinin fiyatını düşürerek rüzgâr enerjisini fosil yakıt rezervleriyle yarışabilir duruma ulaştırmıştır. Bundan dolayı, çoğu gelişmiş ve gelişimi devam eden ülkeler rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi çalışmalarını devlet politikası olarak benimseyerek her adımda yardımcı olmaktadır [64-66].

Rüzgâr enerjisi, kullanımı gün geçtikçe artan ve potansiyelinin yeni farkına varılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve tükenmezdir. Dünya'nın sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyelini saptayabilmek için farklı araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda, rüzgâr kapasiteleri 5,1 m/s'den fazla olan bölgelerin, toplumsal ve uygulamaya dönük sınırlar sebebi ile %4'ünün değerlendirileceği fikrine dayanarak, Dünya teknik rüzgâr potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr enerji potansiyeli yönünden en yüksek değere sahip bölgeler/kıtalardan bahsedecek olursak bunlar; Kuzey Amerika (14.000 TWh/yıl), Doğu Avrupa ve Rusya (10.600 TWh/yıl), Afrika (10.600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl) olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2.17.) [67]. Bu bilgiler ışığında Kuzey Amerika, Doğu Avrupa ve Rusya ve Afrika'nın toplam rüzgâr enerji potansiyelinin, Dünya rüzgâr enerji potansiyelinin %66'sına denk geldiği görülmektedir.



Şekil 2.17. Dünya teknik rüzgâr potansiyelinin kıtalara göre dağılımı [67]

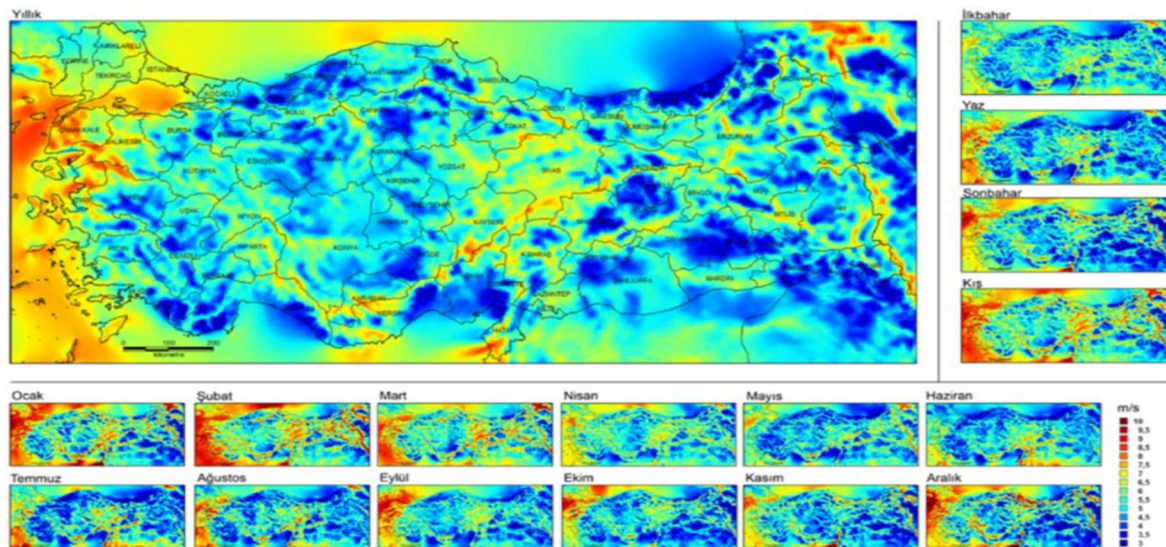
Dünya Bankası ile Danimarka Teknik Üniversitesinin iş birliği sayesinde meydana getirilen küresel rüzgâr potansiyeli atlası Şekil 2.18.'de görülmektedir. Atlasa göre, Dünya'da okyanus/deniz kıyısı ve yüksek bölgeler diğer bölgelere kıyasla daha fazla rüzgâr enerji potansiyeli barındırır [68]. Dünya'nın kurulu rüzgâr gücü kapasitesinin %73'ünü Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Hindistan gibi öncü devletler kapsamaktadır [69].



Şekil 2.18. Küresel rüzgâr enerjisi potansiyeli atlası [68]

Türkiye'nin rüzgâr enerjisindeki konumunun analiz edilebilmesi için, ilk önce Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), ülkemizdeki rüzgâr enerjisi potansiyelini saptama amacındadır. Rüzgâr ölçümleri ve diğer meteorolojik ölçümleri kullanarak bu verilere ulaşmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından elde edilen rüzgâr hız sonuçlarına göre, 6,5 m/s değerinin üzerindeki rüzgâr hızları dikkate alındığında, Türkiye kara rüzgâr potansiyeli 131756,40 MW iken; rüzgâr hızının 7,0 m/s'nin üzerinde olduğu alanlar değerlendirildiğinde, Türkiye kara rüzgâr potansiyelinin 4800 MW olduğu belirtilmiştir. Ek olarak, rüzgâr hız sonucunun 6,5 m/s'nin üstünde olduğu bölgelerde Türkiye'nin deniz rüzgâr potansiyeli 17393,20 MW olarak saptanmıştır [70]. Su üstünde kurulan rüzgâr enerji santrallerinin giderleri, karaya kurulan rüzgâr enerji santrallerine kıyasla daha fazla olduğu için öncelikle kara rüzgâr potansiyelinin kıymetlendirilmesi Türkiye açısından doğru bir strateji olarak yorumlanmaktadır.

Rüzgâr enerji santralının, ekonomik yatırım alabilmesi için bazı gereksinimler vardır. Bunlar; 50 m'de 7 m/s üzeri rüzgâr hızı, 0,35 ve üstü kapasite faktörü (rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm oranı)'dır. Bu bakımdan incelendiğinde ülkemizde rüzgâr enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgelerin kıyı şeritleri, tepe bayırlar ve dağların yüksek uç noktaları olduğu belirlenmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından Türkiye'de 50 m yükseklikte ölçümü yapıla rüzgâr hızlarına göre şehirlerin rüzgâr potansiyelleri tayin edilmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan şehirler; Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Manisa, Samsun, Muğla ve Tekirdağ olarak saptanırken, ayrıca İstanbul, Bursa, Mersin, Edirne, Hatay, Kırklareli, Tokat, Aydın gibi şehirlerin de oldukça iyi rüzgâr potansiyeline sahip olduğu elde edilmiştir [32].



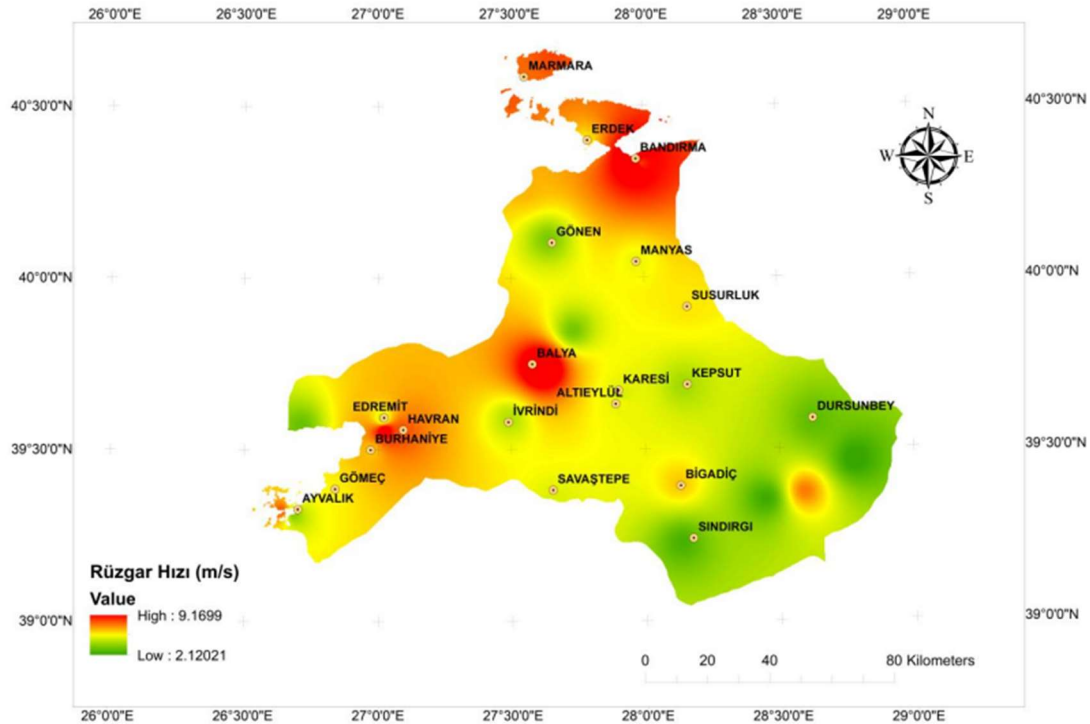
Şekil 2.19. Türkiye'de rüzgâr potansiyeli atlası [71]

Yeryüzüne varan güneş enerjisinin %1-2'lik kısmı rüzgâr enerjisine çevrilmektedir. Aynı ısınmayan hava yığınlarının düşük ve yüksek basınç alanlarını meydana getirmesi sonucunda, yüksek basınç alanından düşük basınç alanına doğru hava akımı meydana gelir ve bu hava akımı, rüzgârları oluşturur. Basınç merkezleri arasındaki basınç farkı ne kadar fazla ise rüzgâr gücü de o kadar yüksek olmaktadır [14]. Rüzgâr türbinleri rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sağlayan sistemlerdir. Rüzgâr türbininin kanatları havanın hareketi ile dönmesi sonucu kinetik enerjiyi meydana getirir, ardından jeneratör dönme sonucu oluşan bu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür [37]. Gelişmekte olan birçok rüzgâr türbini türü olmasına rağmen çoğunlukla üç kanatlı, yatay eksenli, rüzgârı karşıdan alan rüzgâr türbinleri yüksek verim özellikleri sebebiyle seçilmektedirler [72,73].

2.4.1. Balıkesir rüzgâr enerji potansiyeli

Balıkesir'in Kapıdağ Yarımadası'nın bulunduğu, kuzey kısmındaki Marmara Denizi'nin kıyıları, Edremit Körfezi ile Kaz Dağları'nın olduğu lokasyonun batısı ve orta kısımlarda ortalama rüzgâr hızları 7 m/s ve üzerinde iken, güney ve güney doğudaki rüzgâr hızları ise ortalama 5 m/s ve altındadır [74].

Şekil 2.20.'de Balıkesir şehrinin 50 metre yükseklikteki rüzgâr hızı haritası görülmektedir [75]. Buna göre Balıkesir ilinde rüzgâr hızının 2,12 m/s ile 9,16 m/s arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.20. Balıkesir rüzgâr hızı haritası, H = 50 mt [75]

Balıkesir şehrinin ilçelere göre rüzgâr hızı dağılımı Tablo 2.1.'de verilmiştir. Tabloya bakıldığında en yüksek rüzgâr hızı ortalamasına sahip olan ilçenin 6,20 m/s ile Bandırma olduğu ve çalışma yapacağımız ilçe olan Manyas'ın ise 4,89 m/s ortalama rüzgâr hızına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Balıkesir ilinin ortalama rüzgâr hızının da 5 m/s olduğu Tablo 2.1. incelendiğinde görülebilmektedir.

Tablo 2.1. İlçelerde 50 metre yükseklikteki en yüksek, en düşük ve ortalama rüzgâr hızları [75]

İlçe Adı	Rüzgâr Hızı (En yüksek) (m/s)	h=50 m Rüzgâr Hızı (En düşük) (m/s)	Rüzgâr Hızı (Ortalama) (m/s)
Ayvalık	6,30	3,40	4,74
Balya	9,16	3,19	5,59
Bandırma	8,19	5,32	6,61
Bigadiç	5,61	2,39	4,20
Burhaniye	8,14	4,99	5,64
Dursunbey	5,92	2,12	3,64
Edremit	8,16	3,00	4,95
Erdek	7,14	4,85	6,07
Gömeç	5,36	4,71	4,99
Gönen	6,17	3,27	4,74
Havran	7,76	4,98	5,61
İvrindi	6,01	3,92	4,87
Kepsut	4,71	3,74	4,24
Manyas	5,79	4,45	4,89
Marmara	6,47	5,78	6,20
Merkez	6,11	3,95	4,67
Savaştepe	4,91	4,35	4,62
Sındırgı	4,91	2,58	3,70
Susurluk	5,14	4,30	4,79

2.5. Karbondioksit Emisyonları

İnsan çalışmaları neticesinde atmosferde artan sera gazı sebebiyle ortalama sıcaklık değerlerindeki yükseliş ve iklim özelliklerindeki farklılaşmaya küresel iklim değişikliği adı verilir. Atmosferde insandan dolayı meydana gelen sera gazındaki artışın nedeninin çoğu insan çalışmalarıdır. İnsandan kaynaklı bütün çalışmalar sera gazı emisyon değerlerini farklı oranlarda yükseltmektedir [76]. Bazı sera gazları doğada bulunur ancak insan eylemlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenir. Diğer bazı sera gazları tamamen insan eylemleri (insan faaliyetinin bir sonucu olarak) tarafından üretilmektedir. Doğal olarak oluşan bazı sera gazları şunlardır: su buharı, karbondioksit, ozon, metan, nitroz oksit (N_2O). Tamamen insan faaliyeti sonucu oluşan sera gazları kloroflorokarbonlar, halojenlenmiş kloroflorokarbonlar (HCFC'ler),

hidroflorokarbonlar (HFC'ler) (hepsi genel olarak halohidrokarbonlar olarak anılır) ve tamamı florlu bir bileşik olan sülfür heksaflorür [77-79]. Bu gazlardan ayrı olarak, direkt ışımaya sebebiyet verdiği tamamen onaylanmamış olan başka gazlar da mevcuttur [80].

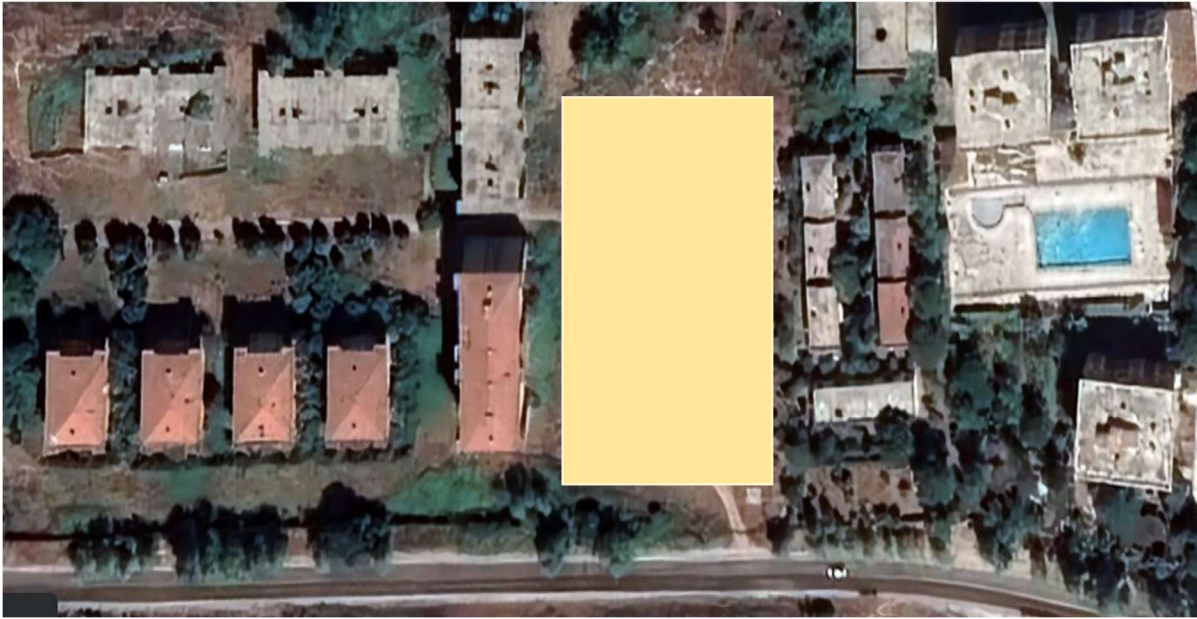
Sera etkisine sebep olan gazların üst sırasında saydam bir gaz olan karbondioksit bulunur. Isı veren güneş ışınlarını, seranın veya arabanın camı gibi içeriye alır ama içeriden ısıyı yani ısı radyasyonunu geri yollamaz. Karbondioksit bir kılıf gibi dünyayı çevrelemektedir, lakin bu husus olmasaydı Dünya'nın sıcaklığı yaklaşık -18 °C olacaktı. Karbondioksit sayesinde sıcaklık ortalama +15 °C'dir. Yerküre ısıyı geri yollarken kızılötesi ışınlar salar ve karbondioksit bu ışınları tutarak ısıнын gitmesini engeller [81].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

HOMER ve SketchUp ile modellenecek hibrit enerji sistemi için ilk aşama uygun bir yer belirlemektir. Yer tercihi yaparken seçtiğimiz bölgenin güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi değerlerinin yüksek olmasına ihtiyaç vardır. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi için en önemli unsur, bu enerjilerin ölçüm değerleridir. Güneş enerjisi için seçilecek yerin toplam güneş radyasyon ölçüm değeri ve güneşlenme süresi, rüzgâr enerjisi için ise seçilecek yerin rüzgâr hızı önem teşkil etmektedir. Teknik kısımdan bakacak olursak güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi için elektrik hattına uzaklık ve şebekeye bağlantı kurulacak elektrik hattının trafo gücü gibi birçok önemli değişken vardır.

Bu çalışmada ise, Marmara bölgesinde bulunan Balıkesir ili Çavuşköy (40.063583, 27.908583) lokasyonu seçilmiştir. Seçilen lokasyonda kurulacak olan dördüz binaların, şebekeden bağımsız bir şekilde hem elektrik hem de termal yük ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak karşılanması amaçlanmıştır. Binaların enerji ihtiyaçlarının rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit bir modelle karşılanması için çeşitli sistem konfigürasyonu üzerinde durulmuştur. Çalışmanın yapılacağı lokasyonun görüntüsü Şekil 3.1.'de gösterilmiştir [82].



Şekil 3.1. Seçilen arazinin google earth görüntüsü [82]

Sistem modellenmesinde kullanılacak programa ilişkin simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi ile ilgili süreçlere ait bilgiler aşağıdaki gibidir. Bu bilgiler programın kullanım amacını anlatmakta, kullanıcının programı kullanırken yapabileceği analizleri belirtmekte, yapılabilecek çıkarımın nasıl olabileceği hakkında fikir sunmaktadır.

3.1. Kullanılan Yazılım

Çalışmamızda kullanılan SketchUp programı, 3 boyutlu tasarımlarda ihtiyaç duyulan çizimlerin gerçekleşmesine olanak sağlayan, bütün kullanıcılar için tasarlanmış bir 3D simülasyon yazılımıdır. Bu çalışmada da nihai enerji modeli belirlendikten sonra gerçek hayata uyarlanacak senaryo için bu yazılım programından faydalanılacaktır.

Çalışmamızda kullanılan bir diğer yazılım HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarı (NREL) aracılığıyla şekillendirilmiş bir mikro güç optimizasyon sistemidir. HOMER programı, mikro güç modellerinin tasarımını gerçekleştirmek ve güç üretim teknolojilerini kıyaslamak amacıyla geliştirilmiştir. HOMER, güç modellerinin toplam kurulum ve yönetim maliyetlerini tasarlar. HOMER programı, teknik ve ekonomik dataları işleyerek farklı dizayn olanakları sunar. Ek olarak bu program, hibrit sistem tasarlanırken kullanılan datalarda yapılan farklılıkların ve belirsizliklerin bulunmasına da olanak sağlar [83].

Elektrik üretip zaman zaman da yanındaki yükü besleme amacıyla ısı üretimi yapan sistem; mikro enerji sistemidir. Bu tarz sistem şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlı faaliyet gösteren, elektriği üretebilen ve depolayabilen teknolojiyle donatılmış, birden fazla üretim teknolojisinin birleşimi olabilir. Örnek olarak sapa yerdeki bir yükü besleyen güneş ve batarya sistemi, bir köyü besleyen rüzgâr ve dizel birleşimi bir yapı verilebileceği gibi, bir endüstri tesisine elektrik ve ısı enerjisi temin eden şebeke bağlantılı doğal gaz mikro türbini de gösterilebilir. Yüksek gerilim hattına elektrik temin eden güç santralleri belirli bir yüke tahsis edilmediklerinden dolayı mikro enerji sistemi olarak düşünülmezler. HOMER programı ile şebekeden bağımsız veya şebekeye bağımlı olarak kullanılabilen, elektrik ve termal yükün beslenmesini sağlayan fotovoltaik sistemlerin, rüzgâr türbinlerinin, büyük olmayan güçlü hidroelektrik santrallerin, biyokütle gücünün, pistonlu motor jeneratörlerinin, yakıt pillerinin, batarya ve hidrojen depolama sistemlerinin yer aldığı modellemeler gerçekleştirilebilir [84].

Mikro güç sistemlerinin incelenmesi ve dizaynı büyük rakamda tasarım seçeneği ve ana değişkenlerdeki belirsizlik (yükün boyutu ve ilerideki yakıt maliyeti vb.) nedeniyle zordur. Yenilenebilir enerji kaynakları model dizaynını daha da zor kılar. Bunun sebebi güç çıkışlarının mevsimsel olarak farklılık göstermesi olabilir ve yenilenebilir enerji yakıtlarının değerleri değişebilir [84].

HOMER; projenin iktisadî olarak uygulanabilirliğini belirten simülasyon, en verimli ve en iktisadî konfigürasyonu ve düzeltmeleri saptayan optimizasyon, parametrelerin ve

belirsizliklerin sonucunu gösteren hassasiyet analizi olmak üzere 3 temel bileşenden meydana gelen bir yazılımdır [85-87].

HOMER programı kullanılarak birlikte çalışan yenilenebilir cihazlar ile bir enerji sistemi oluşturabilirken simülasyon için ihtiyacımız olan dataları, sistem materyallerinin olası boyutları saptanabilmektedir [88]. Simülasyona eklenmesi düşünülen tüm kaynakların datalarıyla kurulacak sistemlerin, olası oluşumlarını değerlendirip en optimum veriyi saptamayı amaçlar. HOMER programında oldukça fazla ihtimal simüle edilebilir. Bu zamanda kullanıcının data girmesine müsaade edildiği gibi, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nden (NASA) internet üzerinden meteorolojik dataların direk olarak da girilmesine müsaade edilmektedir. Girilen verilerin belirtilip bir sistem meydana getirmek için araçların olduğu ara ekranda (Şekil 3.2.) sistem dizaynını gerçekleştirerek ilgili dataları girmek amacıyla her aracın ilgili ara ekranına tıklayarak lazım olan verileri girip sistem tarifi gerçekleştirilir.

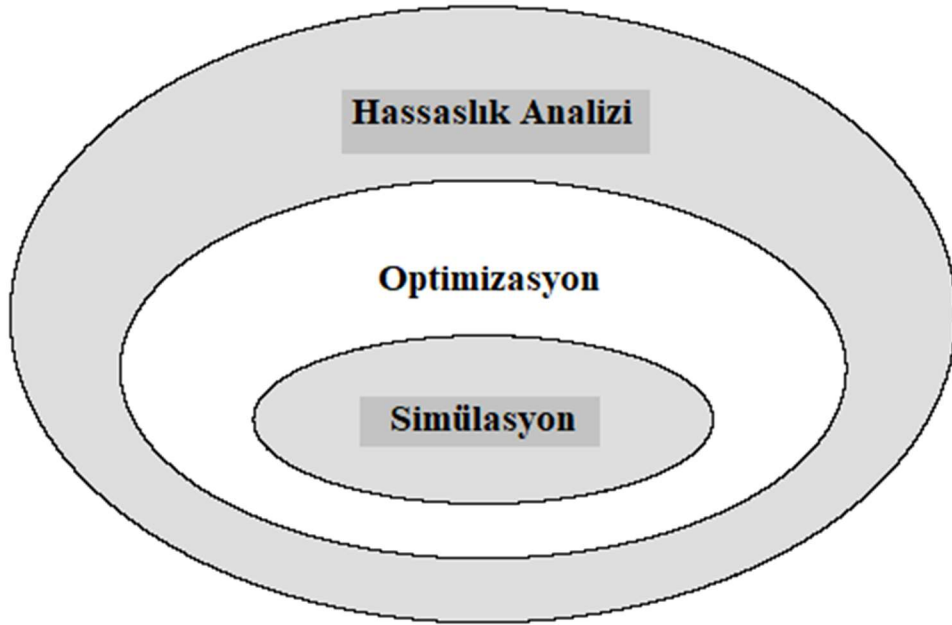


Şekil 3.2. HOMER programı ara yüzü, örnek bir sistem tasarımı

HOMER, senenin her saati için belli bir mikro enerji model yapılandırmasının performansını, bu modelin teknik fizibilitesini ve yaşam süresi maliyetini saptayabilmek amacıyla modeller. Optimizasyon prosesinde ise en az yaşam döngüsü dikkate alınarak, teknik sınırlamaları karşılayan bir model yapılandırmasını belirleyebilmek amacıyla birden fazla değişik sistem konfigürasyonunu simüle eder. Hassaslık incelemesi bölümünde ise HOMER, girişlerdeki değişimlerin ve belirsizliklerin sisteme etkisini test etmek için birçok giriş hipotezi ve çok fazla optimizasyon işlemi uygular. Optimizasyon; modeli oluşturan elemanların birleşimi,

büyüklüğü ve miktarı gibi parametrelerin optimum değerini tayin eder. Hassaslık analizi ise; ortalama rüzgâr hızı veya ileri zamandaki yakıt ücreti gibi müdahale edilemeyecek parametrelerdeki farklılıkların sonuçlarını analiz etmeye olanak sağlar [83].

Şekil 3.3.'te simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki bağıntı verilmiştir. Bu bağıntıda optimizasyonun olduğu bölge, tek bir optimizasyonun birden fazla simülasyondan meydana geldiği hakikatini temsil etmek amacıyla simülasyonun sardığı bölgeyi kapsamaktadır. Hassaslık analizinin olduğu bölge de optimizasyonun sardığı bölgeyi kapsamaktadır. Burada da bir hassaslık analizinin birden fazla optimizasyondan meydana geldiğinin üzerinde durulmuştur [84, 89].



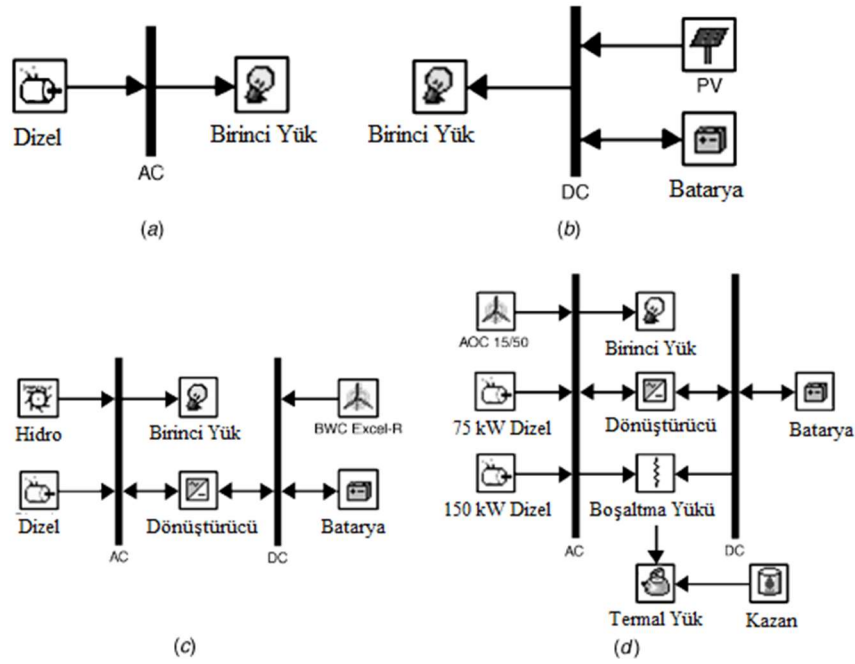
Şekil 3.3. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki [84, 89]

3.1.1. Simülasyon

HOMER programının uzun zaman mikro enerji modellerinin yaptıkları çalışmaları simüle etmesi, bu programın ana özelliğidir. Simülasyon periyodu, belli büyüklükteki model elemanlarının kombinasyonu olan sistem yapılandırmasının (konfigürasyonunun) ve bu bileşenlerin beraber nasıl hareket ettiğini kararlaştıran yönetim stratejisinin, uzun süreç içerisinde, belirlenen değerler dahilinde nasıl hareket ettiğini tespit eder.

HOMER programında çok fazla çeşitte mikro enerji model yapılandırmasının simülasyonunu yapılabilmektedir. Örnek verecek olursak fotovoltaik panellerin seri veya paralel bağlanmasıyla oluşan PV dizisinin, bir veya daha fazla rüzgâr türbininin, jeneratörün, batarya grubunun, AC-

DC dönüştürücünün, elektrolizörün, hidrojen depolama tankının ve bu elemanların birleşimlerinin simülasyonunu gerçekleştirebilir. Bu modeller şebekeye bağımlı veya şebekeden bağımsız olarak kurulabilirler. Ek olarak, AC ya da DC elektrik yüklerini ya da termal yükleri destekleyebilir. Şekil 3.4.'te HOMER programının simüle edebileceği değişik sistem yapılandırmalarına ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Homer'in tasarlayabildiği bazı mikro enerji sistem çeşitlerinin şematik diyagramları: (a) ac elektrik yükünü besleyen bir dizel konfigürasyonu (b) dc elektrik yükünü besleyen bir fotovoltaik-akü konfigürasyonu (c) bataryaya ve ac-dc invertöre sahip hidro-rüzgâr-dizel konfigürasyonu (d) hem elektrik hem de termal yükleri besleyen, ayrıca iki jeneratöre, rüzgâr türbinine, ac-dc invertöre, akü grubuna, buhar kazanına ve fazla rüzgâr türbini enerjisinin bir dirençli ısıtıcı (resistive heater) boyunca tutulması ile termal yükün nemalanmasına yardım eden bir de boşaltıcı yüke (dump load) sahip bir rüzgâr-dizel sistemi [84, 89]

Simülasyon prosesi iki amacı gerçekleştirir. Bunlardan ilki, sistemin elverişli olup olmadığına karar vermektir. Buradaki model kararlaştırılan elektrik ve termal yüklerin ihtiyacını karşılıyor ve ek olarak dizayncı tarafından karar verilen başka kriterleri de karşılıyor ise bu model uygulanabilir bir sistem olarak yorumlanır. İkinci amacı ise, sistemin yaşam boyu maliyetini saptamaktır. Yani modelin kurulum ve uygulama süresi boyunca çalışma masraflarının toplamını kararlaştırır. Yaşam boyu maliyet ise farklı sistem yapılandırmalarını ekonomik bakımdan incelerken kullanılabilecek uygun bir kapsamdır. Bu kıyaslamalar HOMER programının optimizasyon prosedürünün ana kısmını oluşturur.

HOMER programı belli bir model yapılandırmasını, modelin bir yıllık saatlik simülasyonlarını inceleyerek sistemi oluşturur. HOMER programı sene boyunca saatlik basamaklarla ilerler, yararlanılabilir enerjiyi hesaplar, kullanılabilir enerjiyi elektrik yükü ile mukayese eder, arta kalan enerjinin nasıl değerlendirileceğini ya da yenilenebilir enerjiden karşılanacak kullanılabilir enerjinin yeterli olmadığı senaryolarda ek güç ihtiyacının nasıl temin edileceğine karar verir. Bir seneye ait ölçümler tamamlandığı vakit, HOMER programı kurulacak sistemin elektrik yük talebine yetip yetemeyeceğini, sistemde kullanılan yenilenebilir enerjinin oranını ve sistemi dizayn eden tarafından beyan edilen koşulların gerçekleşip gerçekleşmediğini belirler. Ek olarak HOMER programı, kurulacak sistemin yaşam döngüsü masrafını hesaplamak için ihtiyacı olan bilgileri de hesap eder. Bu bilgiler senelik yakıt harcaması, jeneratörün senelik çalışma süresi, beklenen batarya ömrü, şebekeden çekilen enerji vb. bilgilerdir [84, 89].

HOMER programının yaşam döngüsü masrafını tanımlamak için yararlandığı değeri, toplam net bugünkü masraftır (toplam net present cost-NPC). Net bugünkü maliyet, şu ana indirgenmiş ilerideki nakit akışları ile, proje yaşam döngüsü sürecinde ortaya çıkan bütün masraf ve gelirleri içerir. Toplam net bugünkü değer, model kombinasyonlarının ilk yatırım masrafını, proje boyunca devam edecek olan yenileme, bakım ve yakıt masraflarını ve şebekeden çekilen enerji masraflarını içerir. Şebekeye satılan elektrikten sağlanan gelir ise net bugünkü değeri azaltır.

Birden fazla mikro enerji sistemleri için, özellikle belli koşullarda çalışan güç kaynakları için, vakit basamağına, model davranışını makul doğrulukta modelleyebilmek için ihtiyaç vardır. Örnek olarak rüzgâr-dizel-batarya enerji modelinde aylık ortalama rüzgâr güç çıkışını biliyor olmak kâfi değildir. Çünkü zamanlama ve güç çıkışındaki dengesizlik de ortalama değer kadar önemlidir [84, 89].

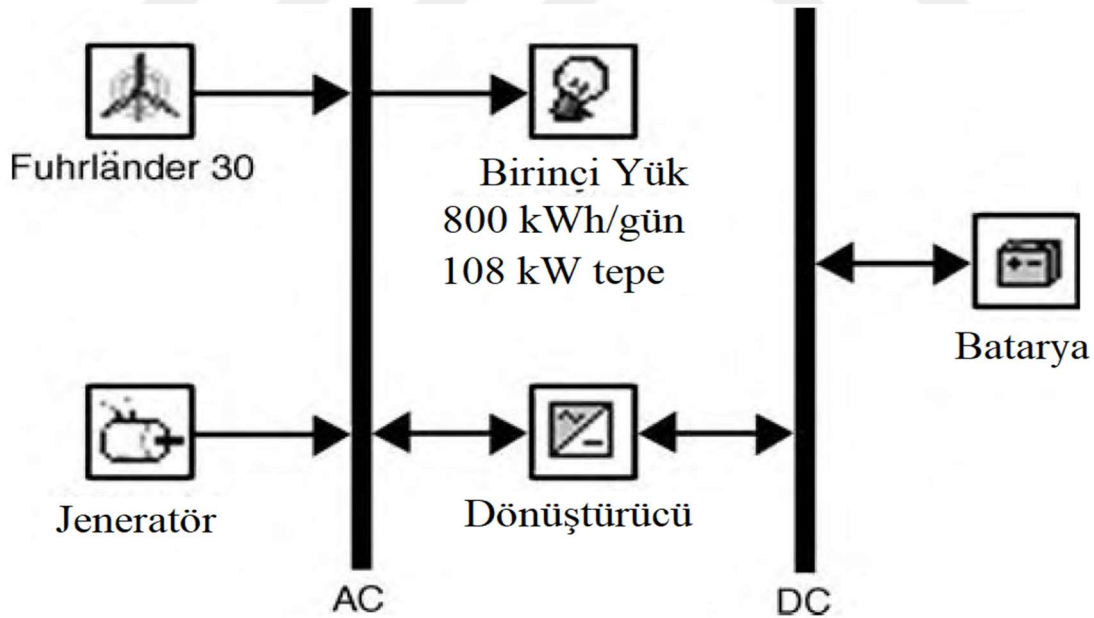
3.1.2. Optimizasyon

Simülasyon boyunca belirli bir sistem yapılandırması modellenirken, optimizasyon prosesinde ise uygulanabilir olan en iyi model belirlenir. HOMER programında en ideal sistem, model tasarımcısı tarafından karar verilen özellikleri temin eden ve en düşük toplam net bugünkü masrafa sahip olan model yapılandırmasıdır. İdeal sistemi keşfetmek, sistem yapılandırmasının hangi elemanlardan meydana geldiğine, bunların adetini ve büyüklüğünü belirlemeyi gerektirir. HOMER programı optimizasyon boyunca birden fazla farklı model konfigürasyonunu simüle eder, simülenin içinde istenen ölçütlere uygun olmayanı elimine eder ve geri kalanları da toplam

net bugünkü maliyet bazında düzenler. Bunların içinde de en az toplam net bugünkü değere sahip olan sistemi de ideal model olarak nitelendirir.

Optimizasyon prosesinin amacı, model tasarımcısına ait her bir karar parametresinin ideal olanını kararlaştırmaktır. Karar değişkeni ise model tasarımcısının kontrol ettiği parametrelerdir. HOMER programında kullanılan olası karar parametreleri, fotovoltaiik dizinin büyüklüğü, elektrolizlerin boyutu, rüzgâr türbini adeti, çalıştırılan jeneratörün büyüklüğü, hidrojen depolama tankının boyutu ve AC-DC dönüştürücünün büyüklüğü olarak dizilebilir [84, 89].

Optimizasyon, tasarımcıya oldukça fazla ihtimal arasından en ideal sistemi keşfetmesine ve geliştirmesine olanak tanır. Örnek olarak, dizel sistemine rüzgâr türbini ve akü cihazı eklenmesini kapsayan bir modeli dikkate alalım. Bu model Şekil 3.5.’teki gibidir. Burada tasarımcının modelde kullanılan parçaların miktarlarını belirlemelidir ama türbin adetinde, akü adetinde, dönüştürücü boyutunda oluşacak değişiklerin gelecek değışikliklerin toplam net bugünkü maliyetine ne derece etki edeceğini önceden tahmin edemez. Yani bu değerlerin değışmesi sonucunda toplam net bugünkü değeri yükselebilir de düşebilir de. Bundan dolayı bu üç değışkene karar değışkenleri adı verilir [84, 89].



Şekil 3.5. Rüzgâr-dizel-akü sistemi [84, 89]

HOMER programı, kullanıcının farklı değerlerde karar parametresi girebilmesine olanak tanır. Tablo 3.1.’deki tabloda görüldüğü gibi, kullanıcı farklı sayıda karar değışkeni tercih edebilir. Tablo 3.1.’deki örnekte rüzgâr türbinine bakıldığında 5, mevcut jeneratörde 1, aküler için 7 ve

dönüştürücüler için ise 4 değişik değer tercih edilmiştir. Bu değerlere göre HOMER programının benzetim yapıp analiz edeceği yapılandırma adeti 140'tır (sistemdeki cihazların değişken sayılarının birbiri ile çarpımı).

Tablo 3.1. 140 farklı sistem yapılandırmasından oluşan araştırma tablosu ($5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$) [87, 89]

	FL30	Jeneratör	Bataryalar	Dönüştürücü
	Miktar	kW	Miktar	kW
1	0	135000	0	0
2	1		16	30
3	2		32	60
4	3		48	120
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				

Örnek olarak Tablo 3.2.'deki statü için, program 140 değişik ihtimal arasından en ideal olanını görecektir. Burada değişik miktarda değer girilmesi ihtimali yükselterek, daha iyi modeli bulmaya imkân sağlamıştır. Programın başlatılmasından sonra da sonuçlar, en az toplam net bugünkü maliyeti karşılayan sistem yapılandırmasından başlanarak en yüksek maliyetliye doğru tablo halinde gösterilir. Tablo 3.3.'te programın başlatılmasının ardından meydana gelen optimizasyon tablosu gösterilmiştir [84]. Tablo 3.2. incelendiğinde, en ideal sistemde rüzgâr türbini 1 adet, akü 64 adet, 135 kW'lık jeneratör ve 30 kW'lık dönüştürücü bulunur. İkinci en ideal sistemde ise rüzgâr türbini bir değil iki adet bulunur ve diğer cihazlar aynıdır. Üçüncü en ideal sistemde ise rüzgâr türbini yine bir adettir lakin akü daha azdır. Tablo 3.3. incelendiğinde ise yine en ideal sistemde rüzgâr türbini 1 adet, akü 64 adet, 135 kW'lık jeneratör ve 30 kW'lık dönüştürücü bulunur. İkinci en ideal sistemde ise rüzgâr türbini bulunmamaktadır. Üçüncü en ideal sistemde ise sadece 135 kW'lık jeneratör bulunmaktadır.

Tablo 3.2. Toplam net şimdiki maliyetlere göre sıralanmış optimizasyon sonuçları tablosu [84, 89]

FL30	Jeneratör	Batarya	Dönüştürücü	Başlangıç Maliyeti	Toplam Net Bugünkü Değer	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Dizel (L)	Jeneratör (saat)
1	135	64	30	\$ 216500	\$ 849905	0,273	75107	4528
2	135	64	30	\$ 346500	\$ 854660	0,274	54434	3350
1	135	48	30	\$ 200500	\$ 855733	0,275	78061	4910
2	135	48	30	\$ 330500	\$ 856335	0,275	57654	3685
2	135	32	30	\$ 314500	\$ 873322	0,280	62394	4139
2	135	96	60	\$ 401000	\$ 878370	0,282	48139	2603
2	135	64	60	\$ 369000	\$ 880421	0,282	52999	3195
	135	64	30	\$ 86500	\$ 885175	0,284	101290	5528
1	135	96	30	\$ 248500	\$ 887379	0,285	74193	4346

Tablo 3.3. Sınıflanmış optimizasyon sonuçları tablosu [84, 89]

FL30	Jeneratör	Batarya	Dönüştürücü	Başlangıç Maliyeti	Toplam Net Bugünkü Değer	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Dizel (L)	Jeneratör (saat)
1	135	64	30	\$ 216500	\$ 849905	0,273	75107	4528
	135	64	30	\$ 86500	\$ 885175	0,284	101290	5528
	135		30	\$ 0	\$ 996273	0,320	132357	8760
1	135		30	\$ 130000	\$ 1130637	0,363	127679	8740

Tablo 3.3. incelendiğinde var olan dizel sisteme rüzgâr türbini ve akünün dahil olmasıyla sistemin ömür boyu maliyetini düşürdüğü görülmektedir. Rüzgâr türbinli senaryonun yatırım maliyeti 216500 \$ olup, net şimdiki maliyeti 849905 \$'dır. Bu masraf, sadece dizel jeneratörü bulunan sisteme kıyasla net şimdiki maliyet bakımından 146368 \$ daha düşüktür (Dizel sistem var olduğundan dolayı yatırım masrafı yoktur) [84].

3.1.3. Hassaslık analizi

Duyarlılık analizi, model çıkışının giriş değerlerindeki farklılıklara ne kadar duyarlı davrandığını gösterir. Duyarlılık analizinde kullanıcı bir giriş parametresi için birden fazla veri girebilir. Kullanıcı birden fazla değer girildiği parametreye duyarlılık değişkeni adı verilir. Karar değişkeni bulunmayan tüm değişkenler HOMER programında duyarlılık değişkeni olarak adlandırılabilir. Şebeke enerjisi ücreti, yakıt ücreti, güncel faiz oranı veya güneş paneli dizisinin ömrü duyarlılık değişkenine verilecek örneklerdendir. HOMER programında duyarlılık parametrelerinin her biri farklı bir duyarlılık durumunu ifade eder. Örnek olarak,

kullanıcı şebeke enerji ücreti için 6 değişik değer ve gerçek faiz oranı için 4 değişik değerden faydalanırsa 24 tane farklı duyarlılık durumu meydana gelir. HOMER programının her duyarlılık hali için değişik optimizasyon süreçleri tercih eder ve sonuçları tablo ve grafik şeklinde gösterir. Duyarlılık analizinin esas görevi belirsizliklerle meşgul olmaktır. Kullanıcı, kesin olarak bilmediği parametreleri belirli aralıklarla farklılaşacak şekilde kullanabilmekte ve sonuçların çeşitli değerlere göre nasıl değişkenlik gösterdiğine bakabilmektedir [84].

3.1.4. Ekonomik hesaplamalar

HOMER programı, tasarımın yaşam zamanınca gerçekleşen tüm giderlerini yaşam döngüsü masraf analizinde hesaplar ve toplam şimdiki net maliyet bedelini kullanır. Net şimdiki maliyet (NPC), indirim oranı kullanılarak ilerideki maddi gelirlerin şimdiye çekilmesi ile beraber, proje yaşam ömrü içerisinde gerçekleşen bütün masrafları ve kazançları günümüz dolar kuru ile toplam verilen paranın miktarı olarak özetlenen değişkene denir. Proje süresini ve indirim oranını kullanıcı kendi belirleyebilmektedir. Toplam şimdiki net maliyet; ilk yatırım masrafını, değiştirme maliyetini, onarım, yakıt ve şebekeden çekilen elektriğin maliyetini kapsar. Gelirler ise; şebekeye gönderilen elektriği ve yaşam zamanı içerisinde gerçekleşen hurda fiyatını kapsar. Masraflar pozitif, gelirler ise negatif olarak yorumlanır. Yaşam zamanı bittiğinde modeli meydana getiren her bir cihazın hurda değerini HOMER programı hesaplarken yazılımı eşitlik (3.1)'deki denklemden yararlanır [87]. Hurda fiyatı, proje süresi bittiğinde güç sisteminin bir elemanında duran değere denir. Cihazların doğrusal bir şekilde azaldığı düşünülür. Bu bir cihazın hurda fiyatının, duran ömrüyle doğru orantılı olduğu manasını taşır ve baştaki sermaye masrafından daha çok değiştirme masrafına bağlı olduğu ve projenin bitimine kadar orantılı onarım masraflarını barındırdığı varsayımı üzerine öngörüler gerçekleştirilir.

$$S = c_{\text{değiştirme}} \frac{R_{\text{kalan ömrü}}}{R_{\text{yaşam ömrü}}} \quad (3.1)$$

Uygulanan değerlendirmede her model parçaları için, S hurda fiyatını (\$), $c_{\text{değiştirme}}$ değiştirme masrafını (\$), $R_{\text{kalan ömrü}}$ cihazın proje ömrü sonunda duran yaşam süresini (sene), $R_{\text{yaşam ömrü}}$ cihaz yaşam süresini (sene) belirtir [90]. Proje zamanıyla elemanın ömrü eşit ise, proje bittiğinde hurda fiyatının olmaması örnek olarak verilebilir.

Sermaye geri kazanım faktörü için senelik kazanç-harcama akışının şimdiki değeri Eş. (3.2)'de uygulanarak hesap edilmektedir [91].

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.2)$$

Sistemde i reel faiz oranını (%) ve N sene değerini belirtmektedir. Reel faiz oranı, bir kerelik

masraflar ile senelik masraflar arasındaki değişimi gerçekleştirmek amacıyla uygulanan iskonto oranıdır.

HOMER programı, tercih edilen modelin simülasyonu için kullanıldığında sonuçları net bugünkü masrafa göre sıraya koyar. HOMER programı, toplam net bugünkü masrafı hesaplamak amacıyla Eşitlik (3.3)'ten faydalanır [91].

$$C_{NPC} = \frac{C_{y\text{ıllık,toplam}}}{CRF(i, R_{\text{proje ömrü}})} \quad (3.3)$$

C_{NPC} toplam şimdiki masrafını (\$), $C_{y\text{ıllık,toplam}}$ toplam senelik masrafı (\$/yıl), CRF ana sermayenin geri elde edim faktörünü (Bkz. Eş. 3.2), i reel faiz oranını (%) ve $R_{\text{proje ömrü}}$ proje ömrünü (sene) temsil etmektedir. Tasarlanan modelin toplam net şimdiki maliyeti (NPC), sistemin yaşam süresi boyunca harcadığı bütün masrafların ve elde ettiği bütün kazançların şimdiki değerinden çıkarılması ile ortaya çıkmaktadır. Tasarlanan sistem için kazançlar, hurda geliri ve şebekeye elektrik satışını içerirken, işletim boyunca dayanılan, sistem için zorunlu, masraf listesini aşağıdaki listedeki gibi sıraya koyabiliriz.

- Sermaye masrafları,
- Değiştirme masrafları,
- İşletme ve bakım masrafları,
- Yakıt masrafları,
- Emisyon cezaları,
- Şebekeden elektrik satın alım masrafları.

Projenin toplam senelik net şimdiki masrafın senelik değeri Eşitlik 3.4'de verilmiştir.

$$C_{y\text{ıllık,toplam}} = CRF(i, R_{\text{proje ömrü}}) \cdot C_{NPC,toplam} \quad (3.4)$$

$C_{NPC,toplam}$: toplam net şimdiki masraf (\$)

i : yıllık reel indirim oranı (%)

$R_{\text{proje ömrü}}$: proje süresi (yıl)

CRF: Anapara geri elde edim faktörü, bir senelik şimdiki değerini hesaplamak için tercih edilen bir orandır (Bkz. Eşitlik 3.2).

Toplam senelik masraf yoluyla işletme masrafını (\$/yıl) yani ilk anapara maliyetleri haricindeki bütün masrafların ve kazançların yıllık bazdaki değerini tespit etmek mümkün olmaktadır (Eşitlik 3.5).

$$C_{\text{işletme}} = C_{\text{yıllık,toplam}} - C_{\text{yıllık,sermaye}} \quad (3.5)$$

$C_{\text{yıllık,toplam}}$: toplam senelik masraf (\$/yıl), (Eşitlik 3.4)

$C_{\text{yıllık,sermaye}}$: toplam senelik sermaye masrafı (\$/yıl),

İşletim masrafı değerlendirme ölçütü olabilir lakin optimizasyondan sonra türetilen modellerin karşılaştırmasında kullanıcıya belirgin bir data vermeyebilir. Hesaplamalarda geri ödeme zamanları da yorumlanmaktadır.

Hesaplamalarda geri ödeme zamanları da dikkate alınmaktadır. İndirimli geri ödeme, iskontolu nakit girişi farkı çizgisinin pozitifte yükseldiği kısımdır. İndirim yapılmış geri ödeme zamanı proje nakit girişlerinin ağırlıklı anapara oranı ile indirim yapılarak, yatırımın ne kadar zamanda iade edileceğini belirtmektedir. Enflasyonun yüksek olması tercih edilebilir. HOMER programında yapılan modellemede para birimi olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Dolar'ı (\$) tercih edilmiştir ve sistem karşılaştırmalarında bu para birimi kullanılmıştır. Basit para iadesi süresi, güncel sistem ile temel koşul sistemi arasındaki ayrımın birikmiş nakit girişinin eksiden artıya geçtiği sene sayısıdır. Geri ödeme zamanı; projenin ilk baştaki yatırımlarını geri kazanmak için kâfi bir kazanç elde edildiği zamana veya bir yatırımın oluşturduğu nakit kazancının gerçek yatırıma eşit olması için gerekli olan zamana denir. Süre değerine dikkat etmeden, tasarımın yatırım masraflarını, giderler ve harcamaların ödendiği zamanı belirtir. Kolay bir şekilde temin edilir ve programdaki karşılaştırmada tercih etmek için yeterlidir. Risk yorumu yapmaya ihtiyaç duymadan hesaplanabilir. Basit geri ödeme zamanları (Simple payback), modellenen sistem ile mevcut sistem arasındaki ayrımın kümeli nakit hareketinin eksi değerden artı değere geçtiği sene sayısıdır. Geri ödeme, modellenen ile mevcut sistem arasındaki yatırım masraflarındaki farkı geri kazanmanın ne kadar zaman alacağını bir belirteçidir. Kazanın ürettiği termal enerjinin son birim masrafı \$/kWh birimiyle Eşitlik 3.6'da gösterilmektedir. Seviyelendirilmiş enerji masrafını hesaplarken bundan faydalanılır.

$$C_{\text{kazan}} = \frac{3,6(C_{\text{yakıt}} + C_{\text{kazan,emis}})}{\eta_{\text{kazan}} \text{LHV}_{\text{yakıt}}} \quad (3.6)$$

$C_{\text{yakıt}}$: yakıt masrafı (\$/kg yakıt)

$C_{\text{kazan,emis}}$: kazanın sebep olduğu emisyonlarla ilişkili ceza tutarı (\$/kg yakıt)

Tasarlanan modeldeki sera gazı emisyonları için programda tercih edilen fosil yakıt ve bu yakıtı değerlendiren bileşenler ve sisteme entegre edildiğinde şebeke yorumlanmaya alınmaktadır. Güç sisteminde simülasyona başlamadan önce, HOMER her kirletici bazında emisyon faktörünü (harcanan yakıt birimi başına salınan kirletici kg) tanımlar. HOMER programı benzetiminde, emisyon faktörü ile senelik yakıt tüketiminin çarpılması sonucu, kirleticinin senelik emisyon değeri bulunur. Bu emisyon değerini oluşturan zararlı gazlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Karbon Dioksit: Zehir barındırmayan sera gazı olan
2. Karbon Monoksit: Yakıtlardaki karbonun eksik hava ile yanması neticesinde meydana gelen zehirli gaz. Vücudun organlarına ve dokularına oksijen ulaştırılmasının önüne geçer, baş ağrısına, baş dönmesine ve görme, el yeteneği ve öğrenme becerisinin zayıflamasına sebep olur.
3. Yanmamış Hidrokarbonlar (UHC): Formaldehit ve alkenleri de kapsayan hidrokarbon yakıtın eksik yanması çıktıları. Fotokimyasal dumana sebebiyet veren atmosferik reaksiyonlara neden olurlar.
4. Partikül Madde (PM): Solunum problemlerine sebep olabilen ve atmosferik pus yaratabilen duman, kurum ve sıvı damlacıkların alaşımı.
5. Sülfür Dioksit: İçerisinde kükürt bulunan yakıtların (kömür, petrol ve dizel yakıt gibi) yanma reaksiyonu ile açığa çıkan yıpratıcı bir gaz. Solunum sorunlarına, asit yağmuruna ve atmosferik sisliğe sebep olur.
6. Nitrojen Oksitler: Fazla sıcaklıkta herhangi bir yakıtın yanması sonucu azot dioksit (NO_2) ve nitrik oksit (NO) gibi farklı azot bileşikleri meydana gelir. Bu bileşikler solunum sorunlarına, dumana ve asit yağmuruna sebep olur.

HOMER programı bu verilerle birlikte yakıtın karbon ve kükürt bileşenini kullanarak, diğer iki kirletici için emisyon faktörlerini öğrenmek için çeşitli hesaplamalar gerçekleştirir. Bunu gerçekleştirirken, üç temel varsayımdan faydalanır:

1. Yakıt bileşimindeki karbon monoksit veya yanması gerçekleşmemiş hidrokarbonlar olarak serbest bırakılmayan herhangi bir karbon, karbondioksit sıfatıyla serbest bırakılır.
2. Yanması gerçekleşmemiş hidrokarbon emisyonlarının karbon oranı, yakıttaki emisyonların karbon oranı ile aynıdır.
3. Yakıt yakıldığında partikül madde halinde dışarı atılmayan herhangi bir kükürt, kükürt dioksit halinde dışarı atılır.

Kirliliğe sebebiyet veren maddelerin emisyonu genellikle geleneksel termik jeneratör kullanımı ile elektrik enerjisi üretiminden, kazan kullanımı ile termik enerji üretiminden ve şebeke elektriği üretiminden kaynaklanmaktadır. Jeneratör, kazan ve elektrik şebekesinden çoğunlukla salınan zararlı gazlar yukarıda da açıklanan karbondioksit, karbon monoksit, partikül madde, kükürt dioksit ve nitrojen oksitlerdir. HOMER programındaki öngöründe jeneratör ve kazandan kaynaklanan emisyon aynı şekilde saptanırken şebekeden gelen emisyon farklı biçimde hesaplanır. Jeneratör veya kazandan ortaya çıkan yıllık emisyon Eşitlik 3.8'deki gibi hesaplanmaktadır:

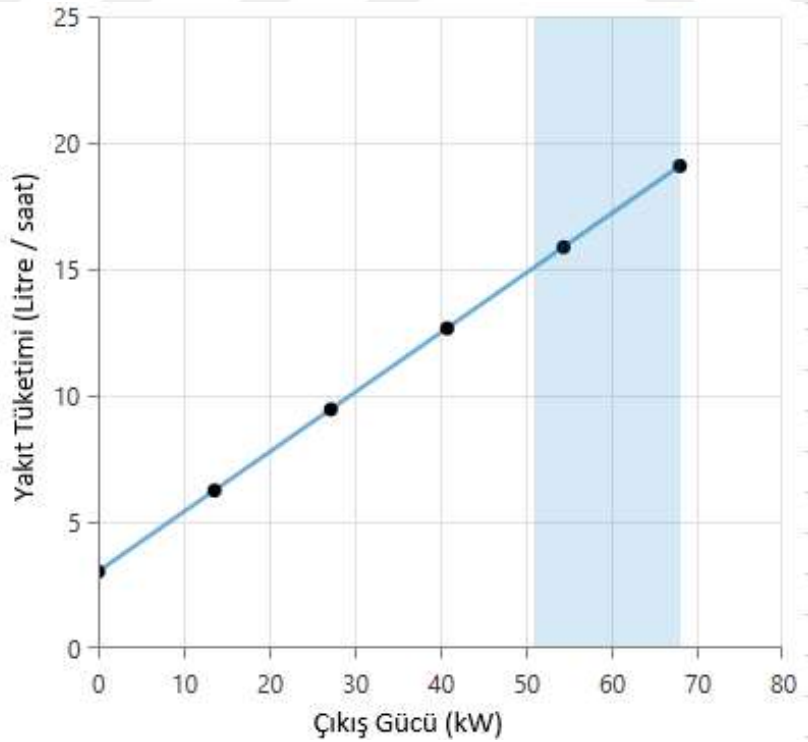
$$EM_{\frac{jen}{boiler}} = f_{\frac{jen}{boiler}} \cdot emis \cdot F_t \quad (3.8)$$

$EM_{jen/boiler}$: Jeneratör/Kazan tarafından salınan zararlı gazların emisyonu (g)

$f_{\frac{jen}{boiler}} \cdot emis$: Emisyon Faktörü (g/kWh)

F_t : Toplam Senelik Yakıt Tüketimi (yakıt eğrisinde karşılık gelen kWh)

Yakıt eğrisi katsayısının birimleri, jeneratör tarafından tüketilen yakıtın birimlerini ifade eder (Şekil 3.7.). Örneğin, yakıt gram olarak hesaplanırsa, yakıt eğrisi eğimi ve kesişme katsayısı g/kWh, litre olarak hesaplanırsa L/kWh olarak yapılabilmektedir.



Şekil 3.7. Yakıt eğrisi sekmesi

Kapasite faktörü; rüzgâr türbini, güneş paneli vb. sistemlerde hesaplanabilmektedir. Rüzgâr türbini için düşünecek olursak kapasite faktörü; sistemin ortalama gücünün, nominal güce oranıdır (Eşitlik 3.9).

$$n_{\text{kapasite faktörü}} = \frac{P_{\text{nominal güc}}}{P_{\text{ortalama güc}}} \quad (3.9)$$

$n_{\text{kapasite faktörü}}$ = sistemde kullanılan rüzgâr türbininin kapasite faktörü

$P_{\text{nominal güc}}$ = sistemde kullanılan rüzgâr türbinlerinin toplam gücü (kW)

$P_{\text{ortalama güc}}$ = sistemde kullanılan rüzgâr türbinlerinin ortalama gücü (kW)

Kapasite faktörü ile sistemdeki rüzgâr türbinlerinin yılda kaç kWh elektrik ürettiği bulunabilir (Eşitlik 3.10).

$$P = n_{\text{kapasite faktörü}} \cdot 8760 \cdot P_{\text{türbingücü}} \cdot m_{\text{türbin adeti}} \quad (3.10)$$

P = sistemde kullanılan rüzgâr türbinlerinin ürettiği toplam elektrik gücü (kWh/yıl)

$P_{\text{türbingücü}}$ = sistemde modellenen rüzgâr türbinin gücü (kW)

$m_{\text{türbin adeti}}$ = sistem konfigürasyonu sonucu kullanılan rüzgâr türbini sayısı

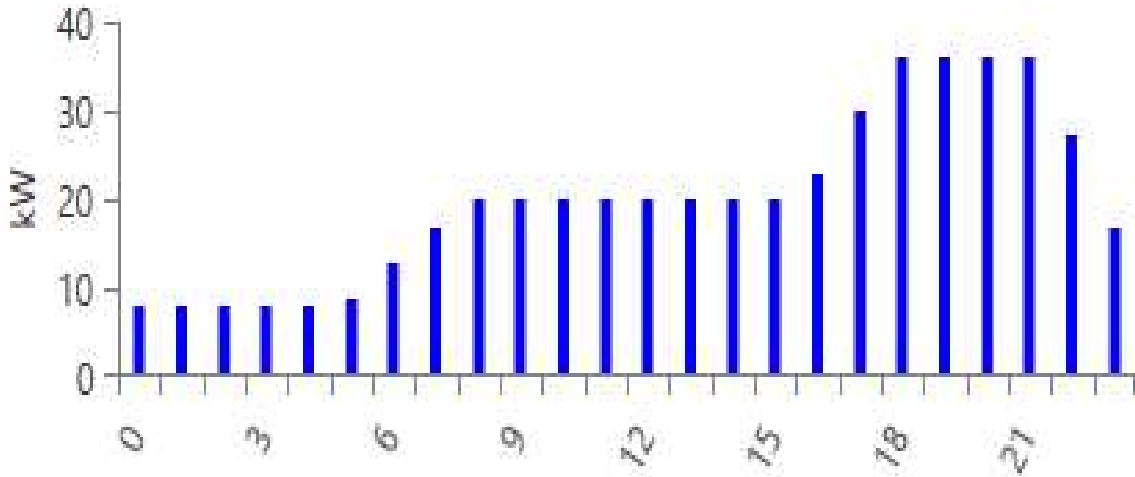
4. SİSTEM TANITIMI

4.1. Proje Uygulama Yeri

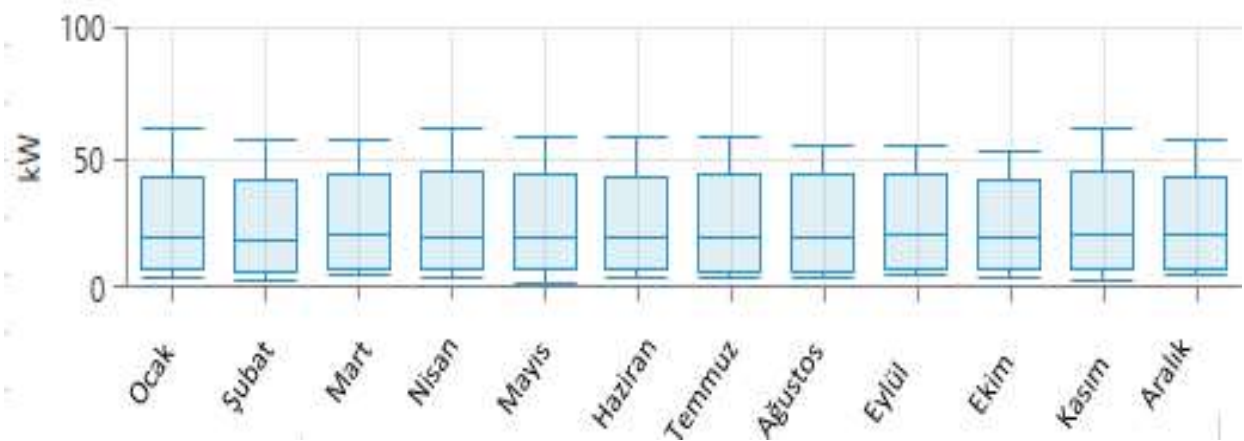
Bu çalışmada Balıkesir'in Manyas İlçesinde Çavuşköy (40°03'48.9"N 27°54'30.9"E) lokasyonunda oluşturulacak olan 60 haneli 240 kişilik dördüz binaların şebekeden bağımsız bir şekilde hem elektrik hem de ısıtma yükünün (termal yük) karşılanması için hibrit enerji sistemi kurulmuştur.

4.2. Elektrik Ve Termal Yük Yapısı

TEİAŞ' tan alınan veriler doğrultusunda dört nüfuslu bir ailenin ortalama elektrik tüketimi 8 kWh/gün olarak alınmıştır [92]. Alınan bu verilerden yola çıkarak her biri 4 kişilik aileden oluşan 60 hanenin günlük elektrik ihtiyacı 480 kWh olarak hesaplanmıştır. Hanelerde elektrik tüketiminin akşam saatlerinde diğer saatlere göre daha fazla olması öngörülmektedir. Bu çalışmada HOMER programında ön tanımlı olan topluluk yük profili kullanılmıştır (Şekil 4.1.). Hanelerin günlük elektrik tüketimi olan 480 kWh olup gün içerisindeki tepe güç değerinin 61,54 kW olduğu HOMER programı tarafından belirlenmiştir (Şekil 4.2.). Kurulacak olan dördüz binalarda toplam 60 hane bulunduğu için yıllık elektrik enerji ihtiyacı 175200 kWh olarak karşımıza çıkmaktadır.



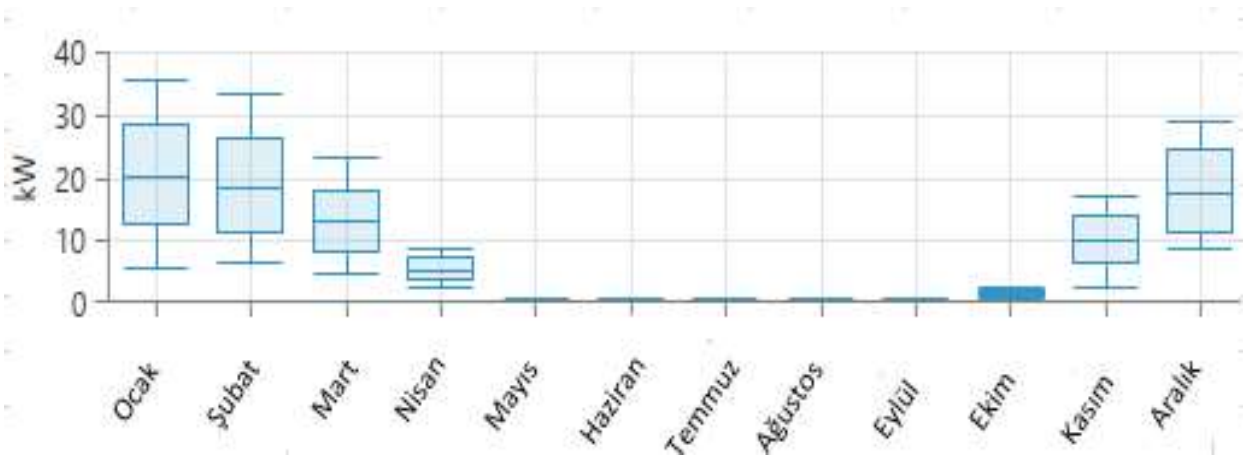
Şekil 4.1. Topluluk yük profil grafiği



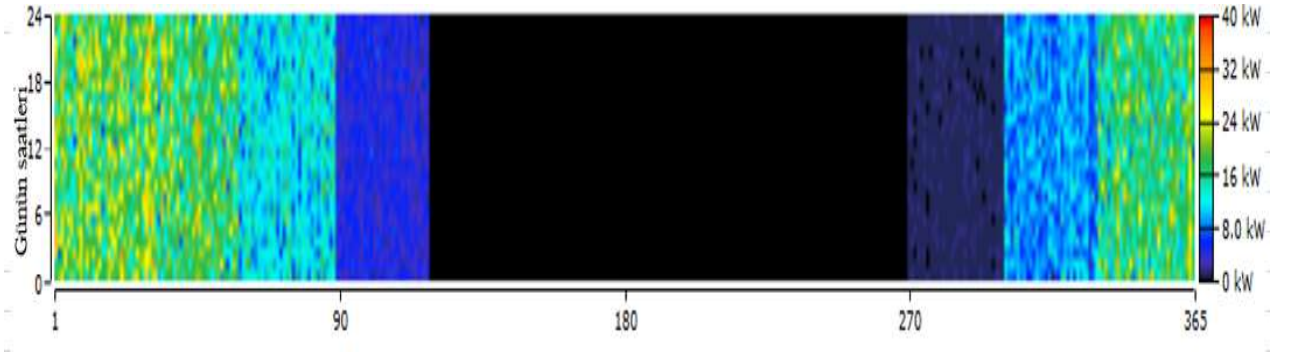
Şekil 4.2. Aylık elektrik yükü değer grafiği

Tasarlanan sistem hem elektrik hem de termal yük ihtiyacını karşılamaya yönelik dizayn edilmiştir. Bir evin yıllık ısı kaybı metrekare başına ortalama 13 kWh olarak ele alınmıştır [93]. Her evin 80 m² olduğu kabul edilirse bir hanenin ortalama ısı kaybı 1040 kWh olduğu sonucuna varılmıştır. Kurulacak olan dördüz binalarda toplam 60 hane bulunduğu için yıllık termal enerji ihtiyacı 62400 kWh olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tasarlanan sistemde termal yük ihtiyacı elektrik yükü ihtiyacına kıyasla mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Termal yük ihtiyacı kış aylarında daha fazla iken havanın ısınması ile birlikte yaz aylarında termal yük ihtiyacına gerek duyulmamaktadır. Termal yük ihtiyacının %65,6 'sı kış aylarında (%24,1 Ocak, %20,6 Şubat, %20,9 Aralık) olduğu analiz sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Ayrıca termal yük ihtiyacının %20,75 'i ilkbahar aylarında (%15 Mart, %5,75 Nisan, %0 Mayıs), %13,62 'si sonbahar aylarında (%0 Eylül, %2 Ekim, %11,62 Kasım) olduğu görülmektedir ve yaz aylarında termal yük ihtiyacı olmayacağı için bu değer ise %0 'dır (Şekil 4.3. ve 4.4) [94].



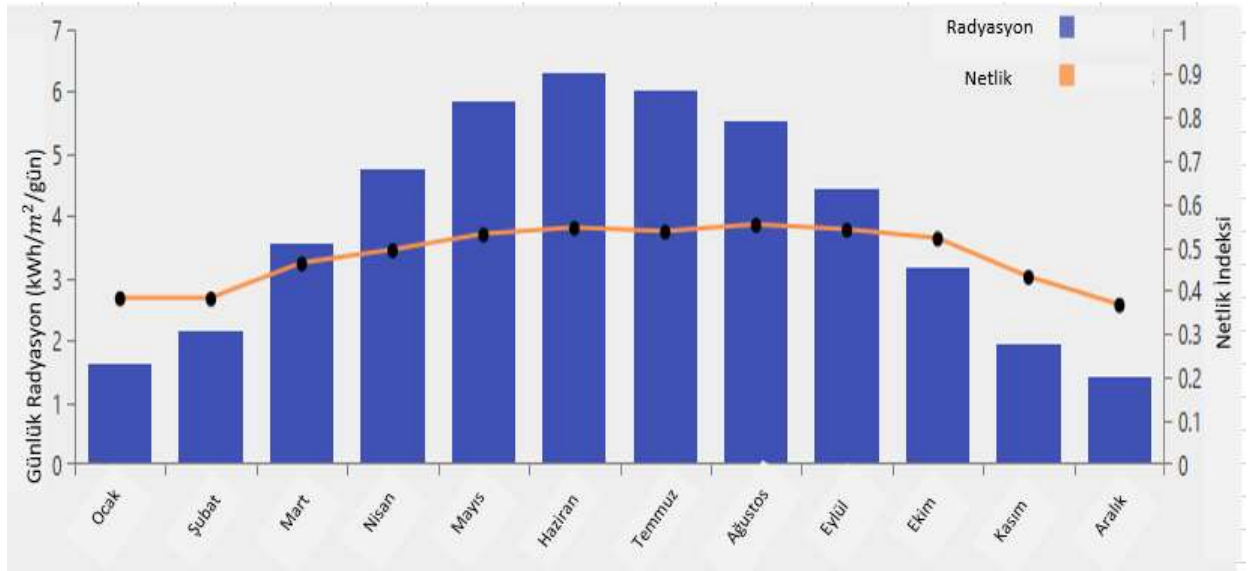
Şekil 4.3. Aylık termal yükü değer grafiği



Şekil 4.4. Günlük termal yük değer grafiği

4.3. Sisteme Tanımlanan Güneş ve Rüzgâr Verileri

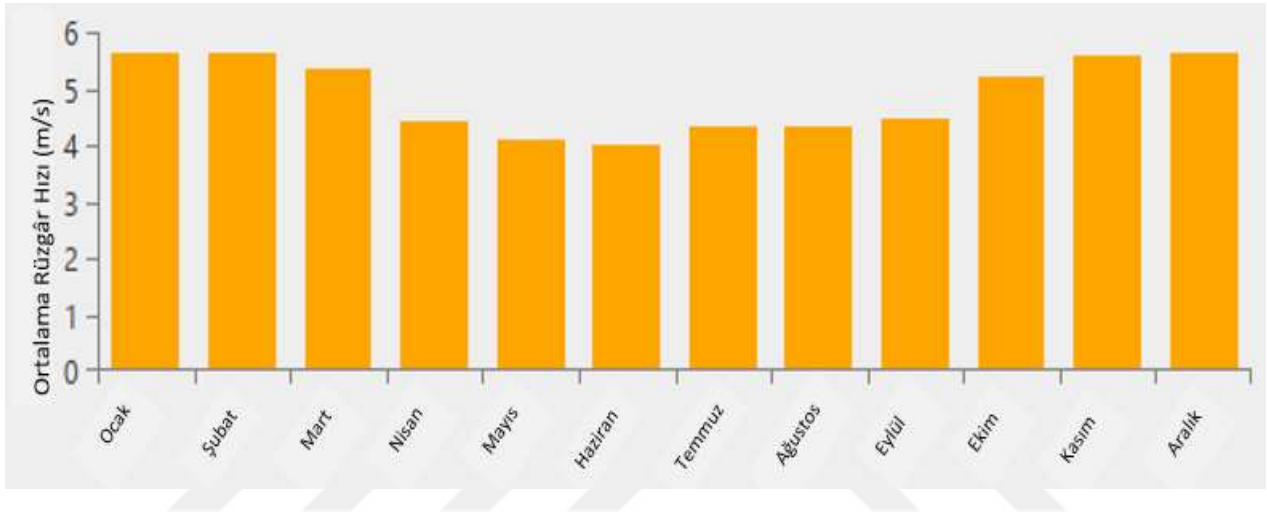
Kurulan hibrit sistemin günlük güneşlenme süresi yaz aylarında daha yüksek olduğundan dolayı yaz aylarında güneş tarafından elde edilen enerji daha fazladır. Şekil 2.13.'teki Balıkesir'in aylara göre global radyasyon değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$)'nden yola çıkarak radyasyon değeri $3,88 \text{ kWh/m}^2$ gün olarak hesaplanmıştır [46] ve Şekil 4.5.'te aylık ortalama güneş radyasyon değeri sisteme tanımlanmıştır. Sonuçlar neticesinde radyasyon değerinin yaz aylarında yüksek, kış aylarında ise düşük olduğu görülmektedir. Yaz aylarında sıcaklığa ve güneşlenme süresinin uzunluğuna bağlı olarak, radyasyon değerinin normal karşılanabilecek değerin üstünde kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.5. Aylık ortalama güneş radyasyon değeri

Hibrit sistemde bir güç kaynağı yetersiz kaldığında diğer güç kaynağı onu tamamlamaktadır. Bu da güç kaynaklarının hibrit olarak kullanılmasının avantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde de güneş enerjisinin yetersiz kaldığı yerlerde rüzgâr enerjisi

tamamlayıcı güç kaynağı görevi görmektedir. Rüzgâr enerjisinin genellikle kış aylarında güneş enerjisine göre yüksek olması sayesinde güneş enerjisinin enerji talebini karşılamasında yetersiz kaldığı zamanlarda destekleyici bir güç kaynağı olarak devreye girmekte ve enerji talebi hibrit bir sistemle karşılanmaktadır. Kurulan hibrit sistemin rüzgâr enerjisinin yıllık ortalama rüzgâr hızı, Tablo 2.1.'den yola çıkarak 4,89 m/s olarak bulunmuştur. Rüzgâr hızında güneş enerjisine nazaran mevsimsel bir değişim görülmemiştir. Aylık ortalama rüzgâr hızı değerlerinin HOMER programına tanımlanması sonucu oluşan grafik Şekil 4.6.'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Aylık ortalama rüzgâr hızı

4.4. Kullanılan Komponentler

Bileşenleri meydana getiren mini güç modelinin komponentleri, sistem oluşumunu sağlamaktadır. Kurulacak olan bu sistem için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş paneli ve rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bu güç kaynaklarının birlikte kullanılmasının sebebi, her iki güç kaynağının da elektrik üretiminde hava koşulları vb. dış etkenlere göre değişkenlik gösterip kesintili enerji sunma ihtimallerinin olmasıdır. Fotovoltaik paneller güneşten gelen radyasyonu doğru akım elektriği haline getirirken, rüzgâr türbinleri ise rüzgârdan gelen enerjiyi alternatif akım veya doğru akım elektriği haline getirmektedir. Diğer cihazlar ise jeneratör, kazan ve termal yük kontrolörüdür. Bu cihazlar, sevki yapılabilen enerji kaynaklarıdır. Bu, sistemin cihazları istediği şekilde denetleyebileceği anlamına gelmektedir. Jeneratör hem alternatif akım hem de doğrudan akım elektriği üretmek amacıyla yakıt harcamaktadır. Bir jeneratör ısıl güç üretimini atık ısı geri kazanım yöntemiyle gerçekleştirebilir. Kazan ısıl güç meydana getirmek için yakıt harcamaktadır. Dönüştürücüler elektrik enerjisini alternatif akımdan doğru akıma veya doğru akımdan alternatif akıma çevirmektedir. Bataryalar ya da bir

diğer adıyla aküler ise enerjiyi depo etmek için kullanılmaktadır ve elektriği depolama işlemini doğru akım formunda gerçekleştirmektedir.

Güneş enerjisinden faydalanmak için fotovoltaik güneş panelleri sistemi tasarlamak amacıyla, HOMER kullanıcısı sistemin yapılacağı konum için güneş kaynağının bilgilerini temin etmelidir. Güneş kaynağı bilgileri, özgün bir senede Dünya'nın yüzeyine temas eden direkt güneşten ulaşan küresel güneş ışıınımı radyasyonunun ölçüsünü ve gökyüzünün bütün yerlerinden ulaşan saçılmış ışıınımı göstermektedir.

Tasarlanan sistemde tek veya daha çok rüzgâr türbini var ise, HOMER programına türbinlerin 365 günde temin edeceği rüzgâr hızlarını belirten rüzgâr kaynağı bilgileri sağlanır. Mevcut ise, ölçülmüş saatlik rüzgâr hızı bilgilerini girebiliriz. Mevcut değil ise, HOMER 365 günlük ortalama rüzgâr hızından ve dört ek istatistiksel değişkenden yapay saatlik bilgiler oluşturabilir.

Bir jeneratör, elektrik üretimi amacıyla yakıt harcamaktadır ve yan çıktı olarak ısıtma gerçekleştirebilir. HOMER programının jeneratör bölümü, çok farklı jeneratör tiplerini tasarlamak için oldukça fazla olanak sağlamaktadır. Jeneratör cihazının başlıca fiziksel özellikleri; azami ve asgari elektrik güç çıkışı, çalışma sürelerinde beklenen zamanı, harcadığı yakıt cinsi ve harcanan yakıt tutarını üretilen elektrik gücüyle bağdaştırılan yakıt eğrisidir. HOMER programında kişisel olarak yakıt çeşidi ekleyebilmemize olanak tanıyan yakıt kitapçığı sayesinde jeneratör, seçtiğimiz yakıtı harcamaktadır.

HOMER programı kazanı istek üzerine sınırlı olmayacak sayıda termal enerji üretebilen bir eleman olarak biçimlemektedir. Tasarlanan model bakımından, jeneratörlerin temin edemediği herhangi bir termal yüke yardım etmesi için kazanın her zaman emniyetli olduğunu düşünmektedir. HOMER programında kazan sisteminin idealleştirilmiş olması, yöneticinin kazanın sadece bazı fiziksel özelliğini seçmesi gerektiği manasını taşır. Yönetici, kazanın harcadığı yakıt cinsini belirtir ve belirttiği yakıt cinsini ısıya ne verimlilikte dönüştürdüğünü belirtmektedir. Kazanın başka özelliği ise, harcanan yakıt adeti başına salınan kirleticinin gram birimi türünden olan emisyon katsayılarıdır [87].

Bir veya birden fazla bataryanın birlikte kullanılması ile batarya grubu meydana gelmektedir. HOMER programı, belli miktardaki doğru akım elektriğinin stabil bir geliş-gidiş enerji verimliliğinde depolanması için bataryayı kullanmaktadır. Bataryanın deşarj ve şarjların hızlı olacağı, hasar meydana gelmeden ne denli deşarj derinliği olabileceği ve yenisi alınmadan önce kendisinden ne denli enerjinin geçilebileceğinin modellenmesi HOMER programı tarafından

yapılabilir. Ayrıca HOMER programı, akü özelliklerinin cihaz yaşam ömrü süresince sabit olduğunu ve sıcaklık gibi dış etkenlere göre değişmediğini kabul etmektedir [87].

Dönüştürücü, elektriği doğru akımdan alternatif akıma veya doğrultucu kullanarak alternatif akımdan doğru akıma dönüştürmeye yarayan cihazlara denir. Enerjinin eldesi ve kullanımında enerjiyi dönüştürerek sistemde enerjinin kullanılmasını kolaylaştırmaktadır. HOMER programında dönüştürücü cihazı bir sonuç değişkenidir ve cihazın doğru akım gücünü zıt yönde yönlendirerek üretebileceği azami alternatif akım gücü manasına gelen dönüştürücü kapasitesini anlatır. Sistemleşmede alternatif akım gücünü doğrultarak cihazın yaratabileceği azami doğru akım güç miktarı olan doğrultucu alabilirliğini dönüştürücü kapasitesinin yüzdesi olarak işaret eder. Doğrultucu alabilirliği bu sebeple ayrı bir karar değişkeni olarak sayılmamaktadır.

4.4.1. Güneş paneli

Güneş panelleri, güneş enerjisini absorbe etmek için kullanılan birçok güneş hücresini içeren bir enerji kaynağıdır. Modellenmek istenen örnek hibrit enerji sisteminde bulunan fotovoltaiik panelin HOMER'e eklenmesi işlemi, *ekle/sil* penceresinde *elemanlar* başlığı altında görünen elemanlardan *pv* kutucuğuna tıklanması ve daha sonra *TAMAM* butonunun seçilmesi ile yapılır. Fotovoltaiik panelin eklenmesi işleminin gerçekleşmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde meydana gelen görüntüde PV simgesine tıklanılması ile açılan PV giriş penceresi Şekil 4.7.'de, *Gelişmiş* butonuna bastığımızda PV panel özelliklerinin görüldüğü pencereler Şekil 4.8.'de Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

Şekil 4.7. PV giriş penceresi

Şekil 4.8. PV özellik pencereleri

Şekil 4.7.'deki *PV giriş* penceresinde *elektrik yükü* tablosu altında fotovoltaik diziye ait değer olan çıkış akımı doğru akım olarak tanımlanmıştır. PV giriş penceresinde alana özel giriş tablosu altında *azalma faktörü* bulunmaktadır. Azalma faktörü, sıcaklık, kir, gölge, kar örtüsü ve yaşlanmanın tesiriyle beraber güneş panelinin çıkış gücünde meydana gelecek kayıpların dikkate alınması ile güneş panelinin yeni çıkış gücünün ne olacağını belirleyen çıkış gücünün yüzde değeri olarak adlandırılan bir ölçeklendirme faktörüdür. Bu çalışmada, *azalma faktörü* %90 olarak belirlenmiştir [89].

Bu çalışmada iki farklı güneş paneli kabul edilmiştir. İlk olarak, HOMER programında düz plaka (monokristal-polikristal) güneş paneli tercihi yapılmıştır. Bu sayede sistem optimizasyonunda kaç kW panel ihtiyacı olacağını saptanması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise, sistem optimizasyonu sonucu ortaya çıkan PV gücü referans alınarak, HOMER programında kütüphaneye CW Enerji firmasından 570Wp 144TNB M10 TOPCon isimli panel eklenmiştir. Eklenen bu panel, gerçekte kurulması düşünülen sistemde tercih edilecektir. 575Wp 144TNB M10 TOPCon isimli fotovoltaik modüle ait teknik bilgilere Ek A bölümünden ulaşılabilir.

Seri veya paralel dizilmesi planlanan PV panellerinin *PV giriş* penceresinde *maliyet* tablosunda bulunan değerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Düz plaka PV panelin kurulum ve yenileme maliyetinin kW başına ortalama 1000\$ olduğu değerlendirilmiştir [95].

- CW Enerji firmasından 570Wp 144TNB M10 TOPCon isimli PV panelin kurulum ve yenileme maliyetinin 0,570 kW başına 315\$ olduğu CW Enerji güneş paneli satış yetkilisi aranarak değerlendirilmiştir.
- Seçilen paneller için işletme ve bakım masrafı yıllık 10\$ olarak öngörülmüştür. Yaşam süresi ise 25 yıl olarak karar verilmiştir [96].

PV giriş penceresinde *gelişmiş* başlığı altında bulunan PV panelin özellikleri Şekil 4.8.'de görülmektedir. PV panele ait değerler aşağıda sırasıyla tanımlanmıştır.

- *Yüzey yansımaları*, yerküreye gelen güneş fotonlarının yeryüzü tarafından yansıtılan yüzde değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, hibrit enerji sisteminde bulunan PV panelin yüzey yansıtma değeri %20 olarak belirlenmiştir [87].
- *Takip sistemi kısmı*, PV panelin güneşe göre hareket edip etmeyeceğini ve hareket edecek ise ne tür bir takip sistemi tercih edeceğini saptamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, takip sistemi kısmında takip yok seçeneği seçilmiştir.
- *Eğim*, kurulmuş bir PV panelin yatay düzleme göre konumunu gösteren bir açı değeridir. Bu çalışmada panel yönü sabit kabul edilmiştir ve bundan dolayı takip sistemi butonunda takip yok seçilmiştir, HOMER, eğim değerini örnek hibrit enerji sisteminin tasarlanan bölgesinin enlem değeri olan 40,06° olarak belirlemiştir.
- *Azimuth (güney açısı)*, PV panelin gördüğü yönü (güney, doğu, batı, kuzey) tanımlayan bir açı değeridir. Azimut değeri, eğer PV panel güney kısmı görüyorsa 0°, doğu kısmı görüyorsa -90°, batı kısmı görüyorsa 90° ve kuzey kısmı görüyorsa 180° olarak belirlenmektedir. PV panel sabit yöne sahipse çoğu zaman ekvatora doğru konumlandırılmaktadır. Bu çalışmada, örnek hibrit enerji sisteminde bulunan PV panelin yönünün sabit olması kabul edilmiş olduğundan ve bu PV panelin incelenen bölgesi kuzey yarımkürede bulunduğundan dolayı azimut değeri 0° olarak belirlenmiştir.
- *Gücün sıcaklık katsayısı*, PV panelinin çıkış gücünün hücre sıcaklığı ile nasıl farklılaştığını gösteren bir katsayıdır. Bu katsayı negatif bir değerdedir çünkü PV dizinin çıkış gücü hücre sıcaklığı ile ters orantılıdır. 144TNB M10 TOPCon panel gücünün sıcaklık katsayısı değeri bu fotovoltaiik modülün veri kitapçığından -0,30 %/°C olarak belirlenmiştir.

- *Nominal çalışma hücresi sıcaklığı*, 800 W/m^2 değerinde güneş ışıını, 20°C değerinde ortam sıcaklığı ve 1 m/s değerinde rüzgâr hızı şartlarında PV panelinin hücre sıcaklığını tanımlamaktadır. Bu çalışmada, 144TNB M10 TOPCon panelin nominal çalışma hücresi sıcaklığı değeri modülün veri sayfasından 45°C olarak belirlenmiştir.
- *Standart test koşullarında verimlilik*, standart test koşullarında iken maksimum güç kısmında PV dizinin güneş ışığını elektriğe dönüştürdüğü verimlilik olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, standart test koşullarında verimlilik değeri 144TNB M10 TOPCon isimli fotovoltaiik modülün veri sayfasından %22,07 olarak belirlenmiştir. Düz plaka panelin verimi ise %14 olarak kabul edilmiştir [87].

PV giriş penceresinin girilen verilerden sonra elde edilen görüntüsünde *TAMAM* butonuna basılması ile PV panelinin modellenmesi işleminin bitmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüler Şekil 4.9.'da Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

PV Adı: Generic flat plate PV Kısaltma: PV

Özellikler
 Adı: Generic flat plate PV
 Kısaltma: PV
 Panel Tipi: Flat plate
 Ölçülen kapasite (kW): 1
 Üretici firma: Generic
www.homerenergy.com
 Notlar:
 Bu bir jenerik PV sistemidir.

Maliyet

Kapasite (kW)	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yr)
1	1,000.00	1,000.00	10.00

Ömür
 zaman (yıllar): 25.00

Boyutlandırma
 HOMER optimizasyonu
 Araştırma Boşluğu
 Gelişmiş

Alana özel giriş
 Azalma Faktörü (%): 90.00

Elektrik Yüğü
 AC DC

PV Adı: CW Enerji 570Wp 144TNB Kısaltma: CWT570

Özellikler
 Adı: CW Enerji 570Wp 144TNB M10
 Kısaltma Adı: CWT570
 Panel Tipi: Flat plate
 Ölçülen Kapasite (kW): 57
 Sıcaklık Katsayısı: -0.30
 Operasyon Sıcaklığı (°C): 45.00
 Verim (%): 22.07
 Üretici Firma: CW Enerji
<https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-575wp-144t>
 Notlar:

Maliyet

Kapasite (kW)	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yr)
0.570	315.00	315.00	10.00

Ömür
 zaman (yıllar): 25.00

Boyutlandırma
 HOMER optimizasyonu
 Araştırma Boşluğu
 kW
 57

Alana Özel Giriş
 Azalma Faktörü (%): 90.00

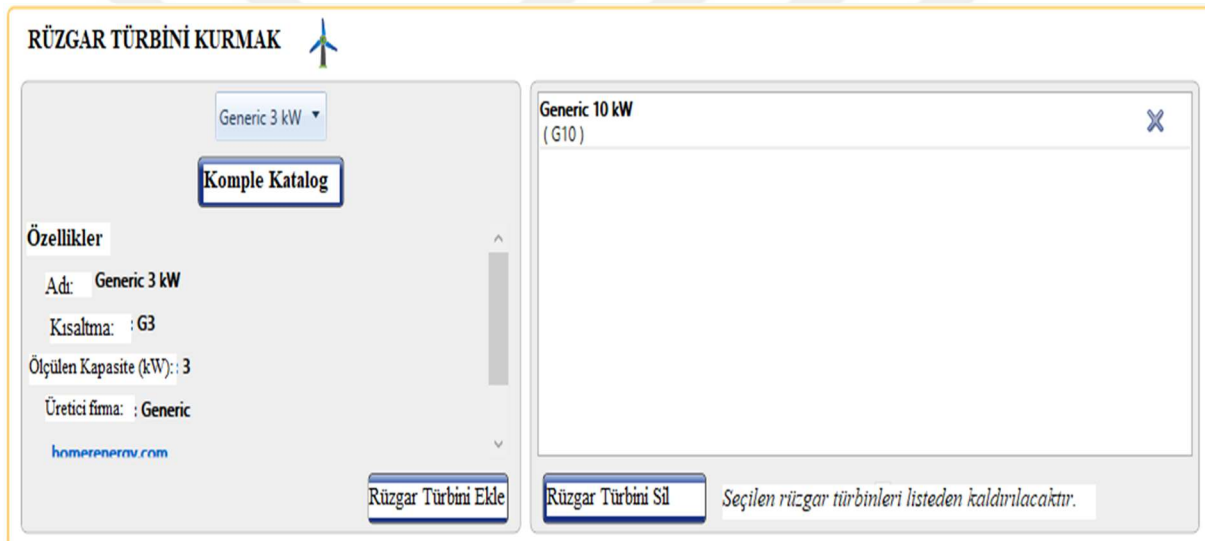
Elektrik Yüğü
 AC DC

Gelişmiş

Şekil 4.9. PV giriş penceresinin elde edilen görüntüleri

4.4.2. Rüzgâr türbini

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye, bu mekanik enerjiyi de kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. HOMER programı, *ekle/sil* penceresinden de bakılabildiği üzere birbirinden farklı en fazla rüzgâr türbininin modellenmesine müsaade etmektedir. Lakin kullanıcı, herhangi bir rüzgâr türbinini tasarlarken istediği değer veya değerlerde rüzgâr türbini sayısını belirleyebilir. Tasarlamak istediğimiz örnek hibrit enerji sisteminde bulunan rüzgâr türbininin HOMER'e eklenmesi , *ekle/sil* penceresinde *bileşenler* başlığı altında bulunan elemanlardan rüzgar türbini simgesine tıklanması ve daha sonra *TAMAM* butonuna basılması ile gerçekleştirilir. Seçim sonucu rüzgâr türbininin eklenmesi işleminin HOMER'in açılış penceresinde oluşan görseli Şekil 4.10.'da Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Rüzgâr türbini açılış ekranı

Rüzgâr türbininin eklenmesi tamamlandıktan sonra, HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüde rüzgar türbini simgesinin seçilmesi ile açılan rüzgar türbini giriş penceresi Şekil 4.11.'de Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

Ekle/Sil

Generic 10 kW

RÜZGAR TÜRBİNİ

Adı: Generic 10 kW

Kısaltma adı: G10

Sil

Kütüphaneye kopyala

Özellikler

Adı : Generic 10 kW

Kısaltma adı: G10

Ölçülen kapasite (kW) 10

Üretici firma: : Generic

Maliyet

Nicelik	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yl)
1	\$50,000.00	\$50,000.00	\$500.00

Click here to add new item

Multiplier:

Boyutlandırma

☒ HOMER optimizasyonu
 ☐ Araştırma Boşluğu
 ☐ Gelişmiş

Alana özel giriş

Yaşam ömrü (yıl):

Kule Boyu (m):

☐ Ortam sıcaklığı etkilerini dikkate alıyor musunuz?

Elektrik Yüğü

☒ AC
 ☐ DC

Gelişmiş

Şekil 4.11. Rüzgâr türbini giriş ekranı

Bu çalışmada iki farklı rüzgâr türbini kabul edilmiştir. İlk olarak, HOMER programında Generic 10 kW rüzgâr türbini tercihi yapılmıştır. Bu sayede sistem optimizasyonunda kaç kW rüzgâr türbini ihtiyacı olacağının saptanması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise, sistem optimizasyonu sonucu ortaya çıkan rüzgar gücü referans alınarak, HOMER programında kütüphaneye Altech turbine firmasından Altech Boreas 10000 - 10 kW yatay rüzgâr türbini isimli türbin eklenmiştir. Eklenen bu türbin, gerçekte kurulması düşünülen sistemde tercih edilecektir. Altech Boreas 10000 - 10 kW isimli rüzgâr türbinine ait teknik bilgilere Ek B bölümünden ulaşılabilir.

Rüzgâr türbini giriş penceresinde *maliyet* başlığı altında bulunan değerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Bu çalışmada, hibrit enerji sisteminde bulunan rüzgâr türbininin quantity (nicelik) 1 olarak belirlenmiştir.
- Generic 10 kW rüzgâr türbini kurulum maliyeti kW başına ortalama 2500\$ olduğu değerlendirilmiştir [97]. Bu çalışmada 10 kW'lık güce sahip rüzgâr türbini yerleştirilmiş olup kurulum masrafı toplam 25.000\$ olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr türbininin yenileme masrafı da 25.000\$ olarak hesaba alınmıştır.
- Altech Boreas 10000 - 10 kW rüzgâr türbini kurulum maliyetinin 5000\$ olduğu Altech firmasının sitesinden öğrenilmiştir.
- Seçilen rüzgâr türbini için işletme ve bakım masrafı yıllık 500\$ olarak öngörülmüştür.

Rüzgâr türbini giriş penceresinde *elektrik yükü* tablosu altında çıkış akımı alternatif akım olarak tanımlanmıştır.

Rüzgâr türbini girişleri penceresinde alana özel giriş başlığı altında bulunan rüzgâr türbini *yaşam süresi* 20 yıl olarak belirlenmiştir [96]. *Rüzgâr türbini gövde yüksekliği* ise 24 m ve 40 m olarak belirlenmiştir. Bu iki değerin her biri tahmin edileceği üzere farklı sayıdaki rüzgâr türbinini temsil etmektedir. Bu iki değerin girilmesinden sonra oluşacak olan optimizasyon şemaları, HOMER programının bu iki farklı gövde uzunluğuna sahip rüzgâr türbininin her birini gerçekleştirilecek olan analizlerle ayrı ayrı inceleyeceğini anlatacaktır.

Rüzgâr türbini girişleri penceresinin girilen verilerden sonra elde edilen görüntüsünde *TAMAM* butonuna basılması ile rüzgâr türbininin modellenmesi işleminin bitmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüler Şekil 4.12.'de Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

RÜZGAR TÜRBİNİ

Name: Generic 10 kW Abbreviation: G10

Özellikler

Adı: Generic 10 kW

Kısaltma adı: G10

Ölçülen kapasite (kW): 10

Üretici firma: Generic

Alana özel giriş

Yaşam ömrü (yıl): 20.00

Kule boyu (m): 24.00

Ortam sıcaklığı etkilerini dikkate alıyorsunuz musunuz ?

G10: Kule Boyu (m)

Değişken: G10: Kule boyu (m):

-ile bağlantı kur: <hiçbiri>

Değerler:

G10 kule boyu (m):

24

40

Maliyet

Nicelik	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yıl)
1	\$25,000.00	\$25,000.00	\$500.00

Click here to add new item

Multiplien: (-) (-) (-)

Boyutlandırma

HOMER optimizasyonu

Araştırma Boşluğu

Gelişmiş

Elektrik Yükü

AC DC

Advanced...

RÜZGAR TÜRBİNİ

Name: Altech Boreas 10000 - 10 kW Abbreviation: AB-10

Özellikler

Adı: Altech Boreas 10000 - 10 Kw

Kısaltma adı: AB-10

Ölçülen kapasite (kW): 10

Üretici firma: Altech Turbine

Alana özel giriş

Yaşam ömrü (yıl): 20.00

Kule boyu (m): 40.00

Ortam sıcaklığı etkilerini dikkate alıyorsunuz musunuz ?

Maliyet

Nicelik	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yıl)
1	\$5,000.00	\$5,000.00	\$500.00

Click here to add new item

Multiplien: (-) (-) (-)

Boyutlandırma

HOMER optimizasyonu

Araştırma Boşluğu

Gelişmiş

Elektrik Yükü

AC DC

Advanced...

Şekil 4.12. Rüzgâr türbini giriş penceresinin elde edilen görüntüleri

4.4.3. Dizel jeneratör - yakıt

Dizel jeneratör, elektrik enerjisi üretmek için dizel motor ile elektrik jeneratörünün bileşiminden oluşan sistemdir. Tasarlamak istediğimiz örnek hibrit enerji sisteminde bulunan dönüştürücünün HOMER'e eklenmesi işlemi, *ekle/sil* penceresinde *elemanlar* başlığı altında bulunan elemanlardan jeneratör simgesine tıklanması ve daha sonra *TAMAM* butonuna basılması ile gerçekleştirilir.

Seçim sonucu dönüştürücünün eklenmesi işleminin HOMER'in açılış penceresinde oluşan görseli Şekil 4.13.'te Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

The screenshot shows the 'Ekle/Sil' (Add/Delete) window for 'Autosize Genset'. The window is divided into several sections:

- JENERATÖR**: Name: Autosize Genset, Kısaltma adı: Gen, Sıl button.
- Özellikler**: Adı: Autosize Genset, Jeneratör otomatik boyutlandırmadır. Yakıt: Dizel, Yakıt eğrisi kesişimi: 3.03 L/saat, Yakıt eğrisi eğimi: 0.236 L/saat/kW, Emisyon: CO (g/L yakıt): 16.5, Yanmamış HC (g/L yakıt): 0.72, Partiküller (g/L yakıt): 0.1, Yakıt kükürütünün PM'ye dönüşümü (%): 2.2, NOx (g/L yakıt): 5.5.
- Jeneratör Maliyeti**: \$/kW kapasite olarak. Başlangıç maliyeti (\$): 500.00, Değişime (\$): 500.00, O&M (\$/saatlik oper.): 0.030, Yakıt ücreti (\$/L): 1.30.
- Optimizasyon**: Jeneratörle ve jeneratörsüz simüle et. (selected), Bütün sistemlere dahil et.
- Elektik Yüklü**: AC (selected), DC.
- Alana özel giriş**: Minimum yük oranı (%): 25.00, CHP ısı geri kazanım oranı (%): 0.00, Yaşam ömrü (saat): 15,000.00, Minimum çalışma süresi (dk): 0.00, Başlangıç saatleri: 0.00.

Şekil 4.13. Jeneratör açılış ekranı

Bu çalışmada iki farklı dizel jeneratör kabul edilmiştir. İlk olarak, HOMER programında Autosize Genset (otomatik boyutlandırılmış jeneratör) dizel jeneratör tercihi yapılmıştır. İkinci olarak ise, HOMER programında kütüphaneye Kama Jeneratör firmasından Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör isimli dizel jeneratör eklenmiştir. Eklenen bu jeneratör, gerçekte kurulması düşünülen sistemde tercih edilecektir. Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör isimli jeneratöre ait teknik bilgilere Ek C bölümünden ulaşılabilir.

Jeneratör girişleri penceresinde *maliyet* başlığı altında bulunan değerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Yaptığımız çalışmada Autosize Genset jeneratörde kW başına kurulum masrafı ve yenileme ücreti 300\$ olacak şekilde ele alınmıştır.

- Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör isimli jeneratörde ise kurulum masrafı ve yenileme ücreti 195\$ olacak şekilde ele alınmıştır.
- Seçilen jeneratör işletme ve bakım masrafı ise saat başına 0,01\$'dır [93].
- Jeneratörün kullandığı dizel yakıt ücreti 2023 yılı kasım ayı kuru [98] ve 2023 yılı kasım ayı dizel yakıt ücretinden [99] 1,3 \$/L olarak dikkate alınmıştır.

Jeneratör girişleri penceresinde *alana özel giriş* başlığı altında bulunan değerlerde *minimum yük oranı* %25 ve %75 ile iki farklı değerde belirlenmiştir. Bu iki değer girilmesinden sonra oluşacak olan optimizasyon şemaları, HOMER programının bu iki farklı minimum yük oranına sahip dizel jeneratörün her birini gerçekleştirecek olan analizlerle ayrı ayrı inceleyeceğini anlatacaktır. Dizel jeneratörün *çalışma ömrü* olarak 25000 saat olarak belirlenmiştir [3, 83].

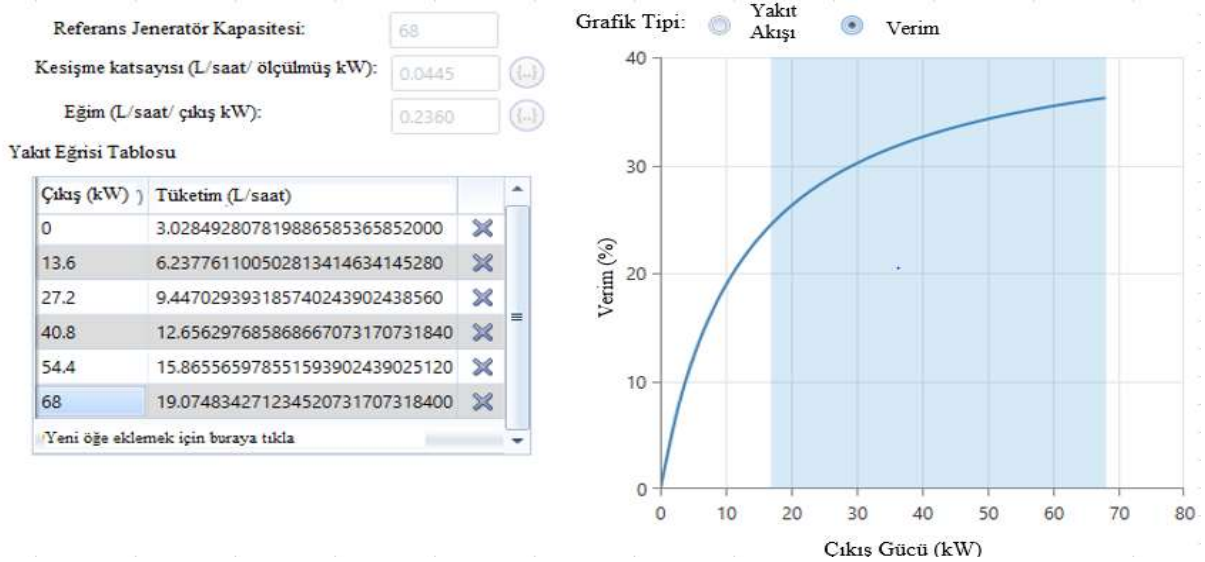
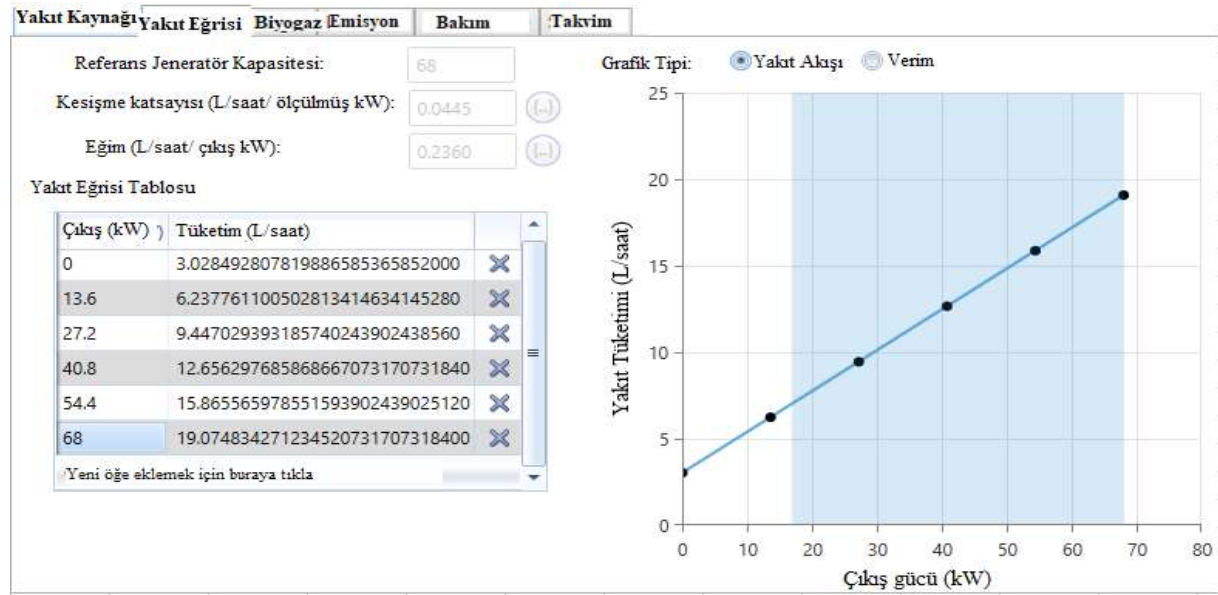
Şekil 4.14.'te jeneratör girişleri penceresinde gelişmiş başlığı altında bulunan değerlerle ilgili bilgiler Türkçe diline çevrilerek verilmektedir. Jeneratör girişleri penceresinde gelişmiş başlığı altında bulunan değerlerde autosize genset jeneratöre ait referans jeneratör kapasitesi 68 kW olarak belirtilmiştir. Ayrıca autosize genset jeneratöre ait akış diyagramı grafiği ve verim grafiği de görünmektedir. Burada kazanın dizel yakıtı tüketmesine limit koyulabilir. Bu yapılan çalışmada, HOMER programının otomatik atadığı değer (5.000.000 L/yıl) korunmuştur.

Yakıt Kaynağı	Yakıt Eğrisi	Biyogaz	Emisyon	Bakım	Takvim
---------------	--------------	---------	---------	-------	--------

YAKIT SEÇ: **ÖZELLİKLER**

Düşük Sıcaklık Değeri (MJ/kg): 43.2
Yoğunluk (kg/m³): 820
Karbon içeriği (%): 88
Sülfür içeriği (%): 0.4

Dizel Yakıt Ücreti (\$/L): ☐ Tüketim Limiti (L/yıl):



Şekil 4.14. Jeneratör özellik ekranları

Dizel jeneratör girişleri penceresinin girilen verilerden sonra elde edilen görüntüsünde *TAMAM* butonuna basılması ile rüzgâr türbininin modellenmesi işleminin bitmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüler Şekil 4.15.'te Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

The image displays two screenshots of the HOMER software's Diesel Generator input window. The top screenshot shows the 'Autosize Genset' configuration, and the bottom screenshot shows the 'Kama By Reis KDE100SS3' configuration.

Top Screenshot: Autosize Genset

- JENERATÖR**: Ad: Autosize Genset, Kısaltma adı: Gen
- Özellikler**:
 - Gen: Minimum Load Ratio (%)
 - Variable: Gen: Minimum Load R
 - Link with: <none>
 - Values: Gen, Minimum Load (%)
 - 25, 75
- Jeneratör Maliyeti**:
 - \$/kW kapasite olarak
 - Başlangıç maliyeti (\$): 300.00
 - Değiştirme (\$): 300.00
 - O&M (\$/saatlik oper.): 0.010
 - Yakıt ücreti (\$/L): 1.30
- Optimizasyon**:
 - ☒ Jeneratörle ve jeneratörsüz simüle et.
 - ☐ Bütün sistemlere dahil et.
- Elektik Yüklü**: ☒ AC, ☐ DC
- Alana özel giriş**:
 - Minimum yük oranı (%): 25.00
 - CHP ısı geri kazanım oranı (%): 0.00
 - Yaşam ömrü (saat): 25,000.00
 - Minimum çalışma süresi (dk): 0.00
 - Başlangıç saatleri: 0.00

Bottom Screenshot: Kama By Reis KDE100SS3

- JENERATÖR**: Ad: Kama By Reis KDE100SS3, Kısaltma adı: Kama
- Özellikler**:
 - Ad: Kama By Reis KDE100SS3
 - Jeneratör otomatik boyutlandırılmaz.
 - Yakıt: Dizel
 - Yakıt eğrisi kesimi: 3.03 L/saat
 - Yakıt eğrisi eğimi: 0.236 L/saat kW
 - Emisyon**:
 - CO (g/L yakıt): 16.5
 - Yanmamış HC (g/L yakıt): 0.72
 - Partiküller (g/L yakıt): 0.1
 - Yakıt kükürtünün PM'ye dönüşümü (%): 2.2
 - NOx (g/L yakıt): 5.5
- Jeneratör Maliyeti**:
 - \$/kW kapasite olarak
 - Başlangıç maliyeti (\$): 195.00
 - Değiştirme (\$): 195.00
 - O&M (\$/saatlik oper.): 0.030
 - Yakıt ücreti (\$/L): 1.30
- Optimizasyon**:
 - ☒ Jeneratörle ve jeneratörsüz simüle et.
 - ☐ Bütün sistemlere dahil et.
- Elektik Yüklü**: ☒ AC, ☐ DC
- Alana özel giriş**:
 - Minimum yük oranı (%): 25.00
 - CHP ısı geri kazanım oranı (%): 0.00
 - Yaşam ömrü (saat): 25,000.00
 - Minimum çalışma süresi (dk): 0.00
 - Başlangıç saatleri: 0.00

Şekil 4.15. Dizel jeneratör giriş penceresinin elde edilen görüntüleri

4.4.4. Batarya

Tasarlamak istediğimiz örnek hibrit enerji sisteminde bulunan dönüştürücünün HOMER'e eklenmesi işlemi, *ekle/sil* penceresinde *elemanlar* başlığı altında bulunan elemanlardan batarya simgesine tıklanması ve daha sonra *TAMAM* butonuna basılması ile gerçekleştirilir.

Seçim sonucu dönüştürücünün eklenmesi işleminin HOMER'in açılış penceresinde oluşan görseli Şekil 4.16.'da Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

Şekil 4.16. Batarya açılış ekranı

Bu çalışmada iki farklı Lityum İyon batarya kabul edilmiştir. Çünkü lityum iyon bataryalar, diğer geleneksel kurşun-asit bataryalara kıyasla daha hafif, daha küçük, daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip, daha az şarj kaybı yaşayan ve daha uzun ömürlü bataryadır. İlk olarak, Generic 1kWh Lityum İon (Li-Iyon) bataryalar tercihi yapılmıştır. İkinci olarak ise, HOMER programında kütüphaneye Pylontech firmasından Pylontech Force-H1 Lityum Akü 48 Volt 3,55 kWh lityum batarya isimli lityum iyon batarya eklenmiştir. Eklenen bu batarya, gerçekte kurulması düşünülen sistemde tercih edilecektir. Pylontech Force-H1 Lityum Akü 3,55 kWh lityum batarya isimli bataryaya ait teknik bilgilere Ek D bölümünden ulaşılabilir.

Bataryalar 0,90 verimlilikte kullanılmaktadır. Batarya girişleri penceresinde maliyet başlığı altında bulunan değerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Bu çalışmada, hibrit enerji sisteminde bulunan nicelik 1 olarak belirlenmiştir.
- Generic 1kWh Lityum İon bataryanın kurulum ve yenileme maliyetinin 450\$ [100] ve HOMER kütüphanesine eklenen Pylontech 3,55 kWh lityum iyon bataryanın kurulum ve yenileme maliyetinin 2700\$ olduğu değerlendirilmiştir.
- Her iki batarya için işletme ve bakım masrafı yıllık 20\$ olarak öngörülmüştür [100].
- 1 kWh ve 6 V'lık li-iyon bataryanın yaşam süresi [100] ve Pylontech 3,55 kWh lityum iyon bataryanın yaşam süresi 15 sene olarak belirtilmiştir.

Batarya girişleri penceresinde alana özel giriş başlığı içerisinde bulunan değerlerde *dizi başına batarya sayısı* ve *bataryanın yaşam süresinin alt limiti* (bu alt değere ulaşamayan sistemler HOMER tarafından hesaba katılmazlar) için HOMER'in varsaydığı değerler (dizi başına batarya sayısı için 1 ve bataryanın yaşam süresinin alt limiti için 5) değişiklik yapılmayarak kullanılmıştır. HOMER simülasyonunun başlangıcında depolama bankasının % olarak *şarj durumu* %100, *bataryanın en yüksek boşaltım oranı* ise %20 olarak belirlenmiştir.

Batarya girişleri penceresinin girilen verilerden sonra elde edilen görüntüsünde **TAMAM** butonuna basılması ile dönüştürücünün modellenmesi işleminin bitmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntü Şekil 4.17.'de Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

The image displays two screenshots of the HOMER Energy software interface, specifically the 'DEPOLAMA' (Battery) input window. The top screenshot shows the 'Generic 1kWh Li-Ion' battery model, and the bottom screenshot shows the 'Pylontech Force-H1 Lityum' battery model.

Top Screenshot: Generic 1kWh Li-Ion

- Adı:** Generic 1kWh Li-Ion
- Kısaltma Adı:** 1kWh L
- Özellikler:**
 - İdealleştirilmiş Batarya Modeli
 - Nominal Voltaj (V): 6
 - Nominal Kapasite (kWh): 1
 - Nominal Kapasite (Ah): 167
 - Gidiş-dönüş verimliliği (%): 90
 - Maksimum Şarj Akımı (A): 167
 - Maksimum Deşarj Akımı (A): 500
- Maliyet:**
 - Nicelik: 1
 - Maliyet (\$): 450.00
 - Yenileme (\$): 450.00
 - O&M (\$/yıl): 20.00
 - Ömür: zaman (yıllar): 15.00, çıktı (kWh): 3,000.00
- Boyutlandırma:**
 - HOMER Optimizasyon
 - Araştırma Boşluğu
 - Gelişmiş
- Alana Özel Giriş:**
 - Dize Boyu: 1
 - Voltaj: 6 V
 - Başlangıç Şarj Durumu (%): 100.00
 - Minimum Şarj Durumu (%): 20.00
 - Minimum Depolama Ömrü (yıl): 5.00

Bottom Screenshot: Pylontech Force-H1 Lityum

- Adı:** Pylontech Force-H1 Lityum
- Kısaltma Adı:** Li-ion-3
- Özellikler:**
 - İdealleştirilmiş Batarya Modeli
 - Nominal Voltaj (V): 48
 - Nominal Kapasite (kWh): 3.55
 - Nominal Kapasite (Ah): 74
 - Gidiş-dönüş verimliliği (%): 90
 - Maksimum Şarj Akımı (A): 167
 - Maksimum Deşarj Akımı (A): 500
- Maliyet:**
 - Nicelik: 1
 - Maliyet (\$): 2,700.00
 - Yenileme (\$): 2,700.00
 - O&M (\$/yıl): 20.00
 - Ömür: zaman (yıllar): 15.00, çıktı (kWh): 3,000.00
- Boyutlandırma:**
 - HOMER Optimizasyon
 - Araştırma Boşluğu
 - Gelişmiş
- Alana Özel Giriş:**
 - Dize Boyu: 1
 - Voltaj: 48 V
 - Başlangıç Şarj Durumu (%): 100.00
 - Minimum Şarj Durumu (%): 20.00
 - Minimum Depolama Ömrü (yıl): 5.00

Şekil 4.17. Batarya giriş penceresinin elde edilen görüntüleri

4.4.5. Dönüştürücü

Dönüştürücü alternatif akım ve doğru akım gerilimleri arasındaki dönüşümü gerçekleştiren modelin bir ekipmanıdır. Doğru akım ve alternatif akım bileşenleri arasındaki enerji akışını devam ettirmek için hibrit rüzgâr / güneş paneli / akü güç sistemi için bir güç dönüştürücüye ihtiyaç vardır. Tasarlamak istediğimiz örnek hibrit enerji sisteminde bulunan dönüştürücünün HOMER'e eklenmesi işlemi, *ekle/sil* penceresinde *elemanlar* başlığı altında bulunan elemanlardan *dönüştürücü* simgesine tıklanması ve daha sonra *TAMAM* butonuna basılması ile gerçekleştirilir.

Seçim sonucu dönüştürücünün eklenmesi işleminin HOMER'in açılış penceresinde oluşan görseli Şekil 4.18.'te Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

Kapasite (kW)	Maliyet (\$)	Yenileme (\$)	O&M (\$/yıl)
1	\$300.00	\$300.00	\$0.0

Click here to add new item

Çarpan: (-) (-) (-)

İnvertör Giriş:
Ömür (yıl): 15.00 (-)
Verim (%): 95.00 (-)
☒ AC jeneratör ile paralel mi ?

Doğrultucu Giriş:
Bağıl Kapasite (%): 100.00 (-)
Verim (%): 95.00 (-)

Şekil 4.18. Dönüştürücü açılış ekranı

Bu çalışmada iki farklı dönüştürücü kabul edilmiştir. İlk olarak, HOMER programında kayıtlı olan System Converter isimli dönüştürücü tercihi yapılmıştır. İkinci olarak ise, HOMER programında kütüphaneye Tommatech firmasından Tommatech HV Plus 10 kW Hibrit Akıllı İnverter Çevirici isimli dönüştürücü eklenmiştir. Hibrit teknolojisi sayesinde, AC cihazlardan gelen enerjiyi de kullanarak daha fazla verimlilik sağlar. Eklenen bu hibrit invertör, gerçekte kurulması düşünülen sistemde tercih edilecektir. Tommatech HV Plus 10 kW Hibrit Akıllı İnvertöre ait teknik bilgilere Ek E bölümünden ulaşılabilir.

Dönüştürücü girişleri penceresinde *maliyet* başlığı altında bulunan değerler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Bu çalışmada, System Converter dönüştürücü kapasitesi 1 kW olarak belirlenmiştir.

- System Converter dönüştürücünün kurulum ve yenileme maliyeti kW başına ortalama 256\$ [102] ve Tommatech HV Plus 10 kW akıllı invertörün kW başına 488\$ olduğu değerlendirilmiştir.
- Seçilen dönüştürücüler için işletme ve bakım masrafı yıllık 3\$ olarak öngörülmüştür [102].

Dönüştürücü giriş penceresinde dönüştürücü giriş başlığı altında görünen invertöre ait değerlerde yaşam süresi 25 yıl ve verimlilik %90 olarak belirlenmiştir [101]. Dönüştürücü giriş başlığı altında bulunan *bir AC jeneratörü ile paralel mi?* seçeneğinin ise eğer dönüştürücü bir veya daha fazla AC jeneratör ile aynı anda çalışabiliyorsa işaretlenmesi gerekir, çalışmıyorsa işaretlenmemesi gerekir, bu çalışmada ise işaretlenmiştir.

Dönüştürücü giriş penceresinde *doğrultucu giriş* başlığı altında görünen System Converter dönüştürücüsünde doğrultucuya ait değerlerde *bağlı kapasite* %100 ve *verimlilik* %90 olarak belirlenmiştir. Tommatech HV Plus 10 kW akıllı invertörde de bağlı kapasite %100 iken, verimlilik ise %95 olarak teknik dokümandan eklenmiştir. Bağlı kapasite, doğrultucunun invertöre göre % olarak nominal kapasitesini temsil eder.

Dönüştürücü girişleri penceresinin girilen verilerden sonra elde edilen görüntüsünde *TAMAM* butonuna basılması ile dönüştürücünün modellenmesi işleminin bitmesinin ardından HOMER'in açılış penceresinde oluşan görüntüleri Şekil 4.19.'da Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir.

DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Sistem Dönüştürücü Adı: System Converter
Kısaltma Adı: Converter

Özellikler
Adı: System Converter
Kısaltma Adı: Converter
www.homerenergy.com
Notlar:
Bu genel bir sistem dönüştürücüsüdür.

Kapasite (kW)	Maliyet (\$)	Yenileme (\$/yr)	O&M (\$/yr)
1	\$256.00	\$256.00	\$3.00

Click here to add new item

Çarpan: (-) (-) (-)

Kapasite Optimizasyonu
☒ HOMER optimizasyonu
☐ Araştırma Alanı
☐ Gelişmiş

Genel
homerenergy.com

İnvertör Giriş:
 Ömür (yılar): 15.00 (-)
 Verim (%): 90.00 (-)
☒ AC jeneratör ile paralel mi?

Doğrultucu Giriş:
 Bağlı Kapasite (%): 100.00 (-)
 Verim (%): 90.00 (-)



Şekil 4.19. Dönüştürücü giriş penceresinin elde edilen görüntüleri

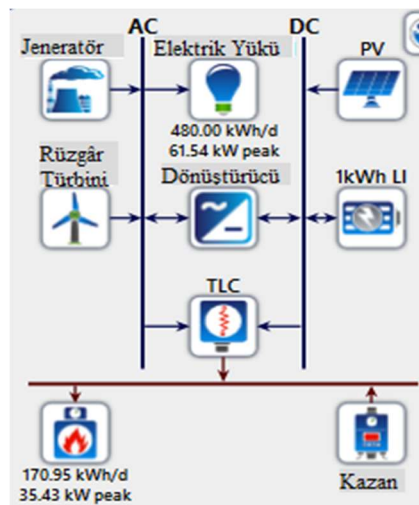
4.4.6. Kazan

Sistemin termal yük talebi kazan tarafından sağlanmaktadır. Kazanın sistemin termal yük talebini karşılamak için kullandığı yakıt çeşidi dizeldir. Kazan verimi 0,90 olarak kullanılmaktadır [93].

4.4.7. Termal yük kontrolörü

Termal yük sistemi ile elektrik yükü sistemi arasındaki ilişki termal yük kontrolü ile karşılanmaktadır. Elektrik sisteminde meydana gelen fazla enerjiyi ısı yük çubuğuna iletir. Böylece ısınma için fazla enerjinin kullanılmasına mani olur. Isı yük kontrolörünün kW başına masrafı, HOMER programında 200\$ olarak ele alınmıştır [93].

4.5. Hibrit Sistem Modeli



Şekil 4.20. Hibrit sistem modeli

Kurulan bu sistem HOMER programı yardımıyla simüle edilmiş ve simülasyon modelinin şeması Şekil 4.20.'de Türkçe diline çevrilerek gösterilmiştir. Bu hibrit sistemde jeneratör, güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya, kazan ve termal yük kontrolörü kullanılmıştır. Oluşturulan enerji sistemleri; kendi içlerinde elektrik tüketimi ve termal tüketimi sağlayacak şekilde oldukları sistem ile çeşitli parametreler üzerinden kıyaslanmıştır. Bunlardan bazıları ekonomik ve çevresel unsurlardır. Kurulacak sistemlerinin ekonomik unsurları; başlangıç yatırım masrafı, geri ödeme zamanı, net bugünkü bedeli, enerji birim ücreti ve çevresel unsurları; yenilenebilir enerji kullanım oranı ve emisyon miktarı olarak tasarlanmıştır.

Başlangıç yatırım masrafı; kurulacak sistem kaynaklarının satın alım masraflarıdır. Güneş paneli sistemin başlangıç yatırım masrafı; güneş hücreleri paneli, solar kablo ve ekipmanları, panel taşıyıcı sistemi ve eviriciyi kapsar. Rüzgâr enerji sisteminin başlangıç yatırım masrafı; rüzgâr türbini, evirici ve rüzgâr türbin kulesinin satın alım masrafını kapsar.

Geri ödeme zamanı; enerji sistemine harcanan paranın, sistemin sağladığı yarar ile geri kazanıldığı zamandır. Paranın süreç değeri üzerinde durularak hesaplanan geri ödeme zamanı; yatırımlar için basit geri ödeme zamanından daha realist sonuçlar verir. Aynı getiriyi sağlayacak yatırımlardan; daha düşük geri ödeme zamanını sağlayabilecek yatırıma öncelik tanınmaktadır.

Net bugünkü değer; yatırımın ekonomik süresi baz alıp düşünülerek hesaplanan, paranın süreç değerini önemseyen bir ekonomik çıktıdır. Yatırımın ekonomik süreci süresince sağladığı getirinin, yatırım giderlerinden düşürülmesiyle hesaplanır. Net bugünkü değeri pozitif değerde olan yatırımlar; yatırımın toplam masrafından daha fazla gelir sunar. Net bugünkü değer hesaplanırken incelenen yatırım giderlerinden biri de sistemde kullanılacak kaynakların yenilenme masraflarıdır.

Enerji birim ücreti; yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlanması sonucu meydana gelecek yeni sistemden elde edilen enerjinin birim fiyatıdır. Şebekeden bağımsız sistemlerde; sistem talebinden fazla elektrik üretiminin maddi bir artışı yoktur. Depolanır ve ihtiyaç anında tüketilir.

Yenilenebilir enerji kullanım oranı; yenilenebilir kaynaklar ile üretimi sağlanan elektriğin, tüketilen toplam elektriğe oranıdır.

HOMER programı harcama hesaplamalarında yıllık gerçek faiz oranını kullanmaktadır. Bu simülasyon programında gerçek faiz oranı hesaplanırken güncel faiz oranı ve enflasyon oranlarından faydalanılır. Yıllık gerçek faiz oranı aşağıda verilen formül ile bulunmaktadır [100]:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (4.1)$$

Burada i gerçek faiz oranı, i' güncel faiz ve f güncel enflasyon oranı oranıdır. Bu çalışma kapsamında güncel enflasyon ve faiz oranları Ekim 2023 tarihi referans alarak belirlenmiş ve faiz oranı % 35 [98], enflasyon oranı ise % 61,36 [103] olarak kabul edilmiştir. Bu verilere göre gerçek enflasyon oranı -% 16,34 olarak bulunmuştur. Simülasyon bu veriler doğrultusunda birçok kez hesaplama yapıp farklı senaryoların karşılaştırılmasını sağlamıştır. Yapılan bu senaryolar ile kurulacak olan sistemin hem elektrik hem de termal yük ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

4.6. Cihazların Matematiksel Modellemesi

Rüzgâr hızı, bir rüzgâr türbininin belirli bir lokasyondaki çıkış gücünün öncelikli belirleyicisidir. Rüzgâr türbini güç çıkışı Denklem (4.2) kullanılarak da hesaplanabilir [104].

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v \leq v_{cut-in} \\ \frac{v - v_{cut-in}}{v_r - v_{cut-out}} P_r & v_{cut-in} < v < v_r \\ P_r & v_r < v < v_{cut-out} \end{cases} \quad (4.2)$$

P_r rüzgâr türbini nominal gücü (kW), $v(t)$ rüzgâr hızı (m/s), $v_{cut-out}$ rüzgâr türbininin düşük kesme hızı (m/s), v_r rüzgâr türbini nominal hızı (m/s) ve v_{cut-in} rüzgâr türbininin yüksek kesme hızı değerleridir (m/s).

$$V_t = V_m * \left(\frac{H_t}{H_m} \right)^{a_h} \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'te, H_m rüzgâr türbini referans yüksekliği (m), H_t rüzgâr türbini kule yüksekliği (m), V_m rüzgâr türbini kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_t referans yüksekliğindeki hız (m/s) ve a_h üstel güç yasası değerlerini ifade eder.

Bir PV sistemindeki her bir güneş paneli tarafından üretilen toplam güç, sistem tarafından üretilen toplam güce eşittir. Basitleştirilmiş PV modeli olarak da bilinen Denklem (4.4), her panelin saatte ürettiği gücü saptamak için ortam sıcaklığını ve güneş radyasyonundan faydalanır [105].

$$P_{pvout}(t) = P_{(PV_{rated})} * \frac{v_i(t)}{1000} * [1 + \alpha_c((T_{amb} + (0,0256 * v_t)) - T_{c_{STC}})] \quad (4.4)$$

$P_{pv_{out}}(t)$ PV modülünün çıkış gücünü (W), $v_i(t)$ güneş radyasyonunun değerini (W/m^2), $P_{(PV_{rated})}$ standart koşullar altında nominal PV gücünü, α_c sıcaklık katsayısını (-3.7×10^{-3} ($1/^\circ C$)), $T_{C_{STC}}$, hücre sıcaklığı ($0^\circ C$), ve T_{amb} ortam sıcaklığını ($0^\circ C$) ifade eder.

Yenilenebilir enerjinin aralıklarını ve yük talebini düzenlemek için bir depolama sistemi gereklidir. Piller, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji toplam yük talebini aştığında şarj edilir. Bununla birlikte, yük talebi üretilen gücü aştığında, enerji açığını kapatmak için piller boşaltılır. Pilin şarj ve deşarj işlemlerini değerlendirmek için sırasıyla (4.5) ve (4.6) denklemleri kullanılır [106].

$$E_{Batt, ch}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[E_{WT}(t) + E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} \right] * \eta_{BC} \quad (4.5)$$

$$E_{Batt, disch}(t) = E_{Batt}(t-1) * (1 - \sigma) + \left[\frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} - (E_{WT}(t) + E_{PV}(t)) \right] * \eta_{BD} \quad (4.6)$$

$E_{Batt}(t)$ bataryanın t saatindeki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_{Batt}(t-1)$ bataryanın (t-1) saatteki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_L(t)$ saatindeki yük talebini (kWh), E_{WT} rüzgâr türbininin t saatindeki enerji üretimini (kWh), σ bataryanın kendi kendine boşalma oranını, E_{PV} PV modülünün t saatinde enerji üretimini (kWh), η_{BC} batarya şarjının verimliliğini, η_{BD} Batarya deşarjının verimliliğini ve η_{Inv} invertörün verimliliğini temsil eder. Batarya şarj verimliliği, yukarıdaki iki denklemde de η_{BC} ve η_{BD} ile gösterilmiştir. Bu, her aşamada şarj akımına bağlı olarak değişecektir.

Yenilenebilir enerji kaynakları fazla güç ürettiğinde, batarya bankalarına depolanır. Ancak, pil kapasitesi sınırlı olmalıdır. Batarya bankası büyük miktarda enerji depolayamaz. Bataryalar tamamen şarj edilmişse fazla güç boşaltılmalıdır. Minimum batarya kapasitesi Denklem (4.7) ile hesaplanmıştır [107].

$$E_{Batt_min} = (1 - DOD) * E_{Batt_max} \quad (4.7)$$

Burada DOD maksimum batarya deşarjı derinliği (%)’ni temsil etmektedir.

Denklem (4.8), invertörün giriş gücünü hesaplamak için kullanılabilir (P_{inv}) (t).

$$(P_{inv})(t) = P_L(t) / \eta_{Inv} \quad (4.8)$$

Burada $P_L(t)$ ve η_{Inv} sırasıyla yük gücü (kW) ve invertör verimliliğidir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Balıkesir'in Manyas İlçesinde Çavuşköy (40°03'48.9"N 27°54'30.9"E) lokasyonunda oluşturulacak olan 60 haneli 240 kişilik dördüz binanın HOMER program destekli şebekeden bağımsız hibrit sistemle çalışması ile elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılayacak şekilde hazırlanmıştır. Sistem yıllık 175200 kWh (günlük 480 kWh) elektrik ve yıllık 62400 kWh (günlük 170,95 kWh) termal ihtiyacını karşılayacak şekilde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Eklenen komponentler ve yardımcı elemanlar ile HOMER programı birçok kez simüle edilerek en uygun sistem bulunmuştur. Buna ek olarak diğer çeşitli sistemlerinde maliyet ve verim analizleri HOMER programı yardımıyla yapılmıştır. Belirlenen lokasyon için yapılan simülasyonlar birim enerji fiyatına göre sıralanmış ve en uygun 7 sistem Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji senaryoları

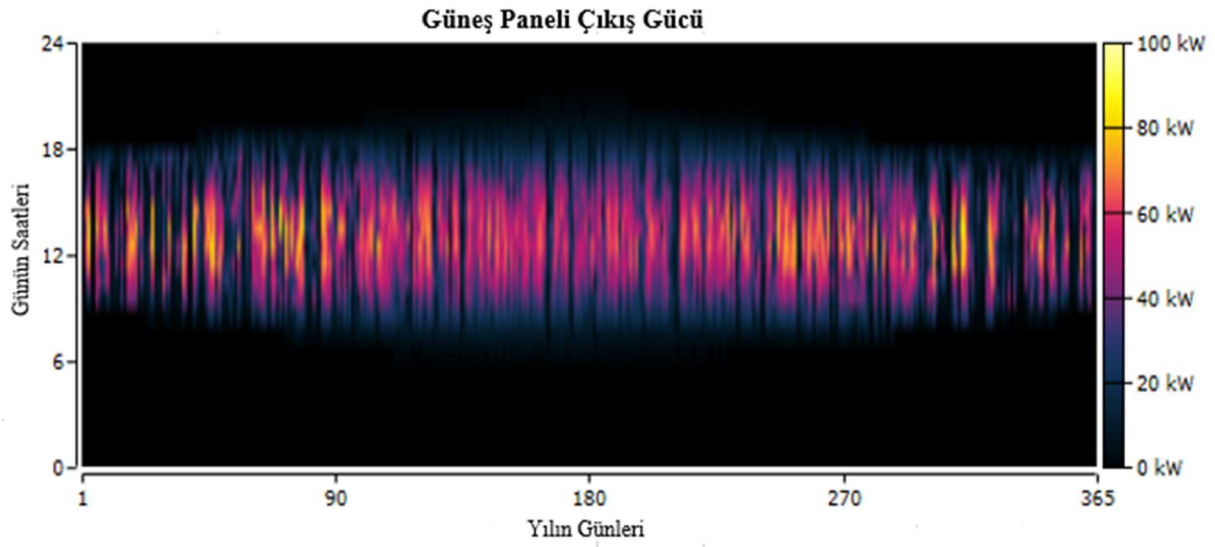
PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüşt ürücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
82,8	4	68	540	100	63,9	LF	12,2M	0,0807	22370	482572	63,3	17342
131		68	699	100	85,4	LF	15,2M	0,114	28091	508215	62,7	17680
	10	68	497	100	74,4	CC	18,2M	0,146	33782	533096	39,3	31285
96,2		68		100	93	CC	54,9M	0,547	104738	160408	9,72	72729

HOMER programı; belirlenen bölgede, girilen komponent değerleri ile ilgili faiz ve enflasyonu da dikkate alarak, belirlenen sistem ömrüne kadar sürecek sistem konfigürasyonları gerçekleştirir. Bu konfigürasyonları net bugünkü değere kıyasla sıralayarak sunar. Sistem analizinde güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya, dönüştürücü, kazan ve termal yük kontrolörü komponentleri tercih edildiği için sistem bu komponentleri baz alarak konfigürasyon gerçekleştirmiştir. Tablo 5.1. incelendiğinde sistemde komponentlerin miktarları ve birlikte çalışma modelleri değiştikçe net bugünkü değerde ve diğer verilerde yüksek oranda değişiklikler yaşandığı görülmektedir.

5.1. Güneş Paneli Kullanımının Sisteme Olan Etkisi

Tablo 5.1.'de senaryo 1 (programın belirlediği en ideal sistemli simülasyon)'de kullanılan güneş panellerinin senenin değişik gün ve zaman dilimlerinde elde ettiği çıkış gücü değerleri belirtilmektedir. Modellenen sistem optimizasyonu itibarıyla, güneş panellerinin ürettiği güç miktarı tasarlanan modelin ana enerji kaynağıdır. Buna ek olarak, paneller yüksek kapasiteye sahip oldukları için az zamanda daha fazla enerji üretmektedir. Sistem için tercih edilen güneş

panelleri yılda 4.388 saat çalışarak toplamde 122449 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistemde modellenen güneş panelinin ortalama güç çıkışı 14 kW, günlük ortalama güç çıkışı 336 kWh ve kapasite faktörü %16,9 olmaktadır. Sisteme dahil edilen güneş panellerinin maksimum çıkış gücü ise 84,9 kW olarak görülmüştür. Paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin birim masrafı 0,00805 \$/kWh olarak belirtilmiştir. Şekil 5.1.'de senaryo 1'in güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri gösterilmektedir. Güneş paneli Şekil 5.1.'de de görüldüğü gibi günün belirli zaman dilimlerinde güç çıkışı üreten panellerin bir başına yetersiz kaldığı gözükmemektedir.

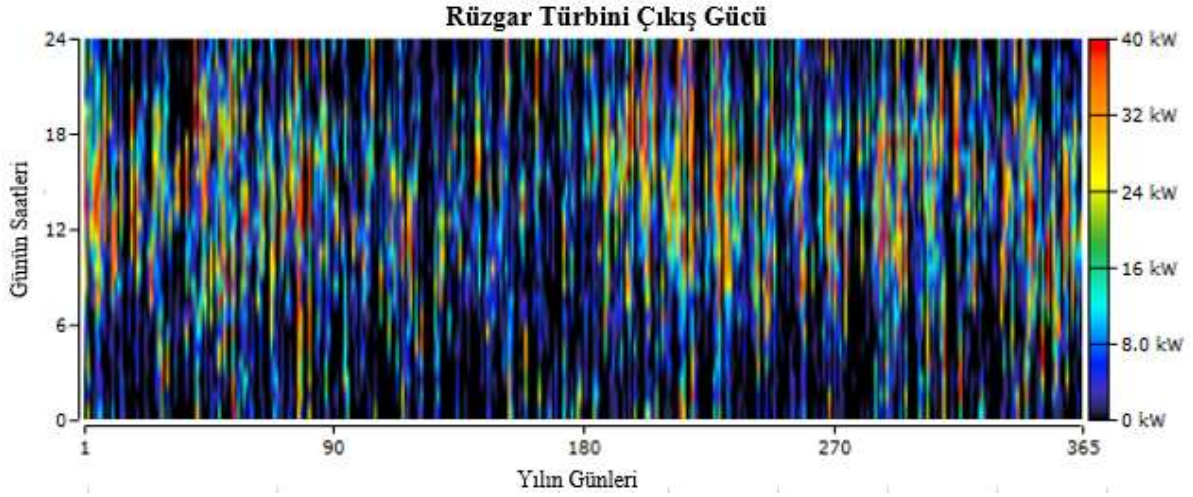


Şekil 5.1. Senaryo 1'de kullanılan güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri

5.4. Rüzgâr Türbini Kullanımının Sisteme Olan Etkisi

Tablo 5.1.'de gözüktüğü üzere senaryo 1'de sisteme dahil edilen rüzgâr türbini, yılda 6905 saat çalışarak 61854 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sisteme dahil edilen rüzgâr türbinlerinin maksimum çıkış gücü 40 kW olarak ortaya çıkmıştır. Sistemde modellenen rüzgâr türbininin ortalama güç çıkışı 7,06 kW, günlük ortalama güç çıkışı 170 kWh ve kapasite faktörü %17,7 olmaktadır.

Şekil 5.9.'da senaryo 1'in rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri gösterilmektedir. Rüzgâr türbini Şekil 5.2.'de de görüldüğü üzere senenin ilk dönemlerinde daha fazla çalışmıştır. Bunun sebebi kış aylarında güneş enerjisi yardımıyla panellerden sağlanamayan veya kullanımda olmayan koşullarda rüzgâr türbinin sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisini üretmesi olarak düşünülebilir.



Şekil 5.2. Senaryo 1’de kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri

5.4.1. Rüzgâr türbininin sistemden çıkarılması (Senaryo 2)

Tablo 5.2. incelendiğinde simülasyon sonuçları neticesinde en uygun birim enerji maliyeti 0,0807 \$ bulunmuştur. En uygun olan ilk sistemde 82,8 kW’lik güneş paneli, 4 adet 10 kW’lik rüzgâr türbini, 540 kWh’lik batarya depolama sistemi, 100 kW’lik termal yük kontrolü ve 63,9 kW’lik dönüştürücü kullanılırken; en uygun ikinci sistemde 131 kW’lik güneş paneli, 699 kWh’lik batarya depolama sistemi, 100 kW’lik termal yük kontrolü ve 85,4 kW’lik dönüştürücü kullanılmıştır. İlk sistem ikinci sisteme göre daha yüksek yenilenebilir enerji yüzdesine sahiptir ve böyle olmasının sebebi rüzgâr türbininin ikinci sisteme dahil olmaması olarak düşünülebilir. Sistemden rüzgâr türbini çıkarıldığında; yenilenebilir enerji oranı %63,3’ten %62,7’ye gerilemiş ve batarya sayısında artış yaşanmıştır. İlk sistem net bugünkü maliyeti 12,2 M\$ iken, diğer sistem 15,2 M\$ net bugünkü maliyetine sahiptir. Buna bağlı olarak ikinci sistemde kurulum maliyetinin diğer sisteme göre yüksektir ve bunun sebebi sistemdeki batarya adetinin fazla olması denebilir. İlk sistemde rüzgâr türbinin ikinci sisteme kıyasla eklenmesiyle kışın güneş panellerinin üretemediği elektriği rüzgâr türbini üretmiş ve jeneratörün çalışma yükünü azaltarak yakıt tüketiminin 17680 lt’den 17342 lt’ ye düşmesini sağlamıştır. Sistemde yatırım maliyeti olarak dezavantaj gibi gözükse rüzgâr türbinin kurulum maliyetinin yüksek olması dahi ilk sistemin ikinci sisteme kıyasla daha az maliyetli olduğunu göstermektedir. Bu da doğru bir şekilde optimum sistem kurulumunda rüzgâr türbinin kurulum maliyetinin tolere edilebileceği izlenimini verebilir. Tablo 5.3. incelendiğinde ise, ikinci sistemde ilk sisteme kıyasla emisyon miktarında %1,95’lik bir artış görülmüştür. İkinci sistemin karbondioksit miktarı, ilk sistemin toplam emisyon miktarı olan 46045,66 kg/yıl değerinden fazladır. Emisyon

miktarının yüksek olması istenmeyen bir parametre olduğu için, emisyon miktarını düşürmek adına ikinci sistemde yenilenebilir enerji kaynaklarına biraz daha yatırım yapılabilir.

Tablo 5.2. Simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi optimum senaryoları

PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştür ücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
82,8	4	68	540	100	63,9	LF	12,2M	0,0807	22370	482572	63,3	17342
131		68	699	100	85,4	LF	15,2M	0,114	28091	508215	62,7	17680

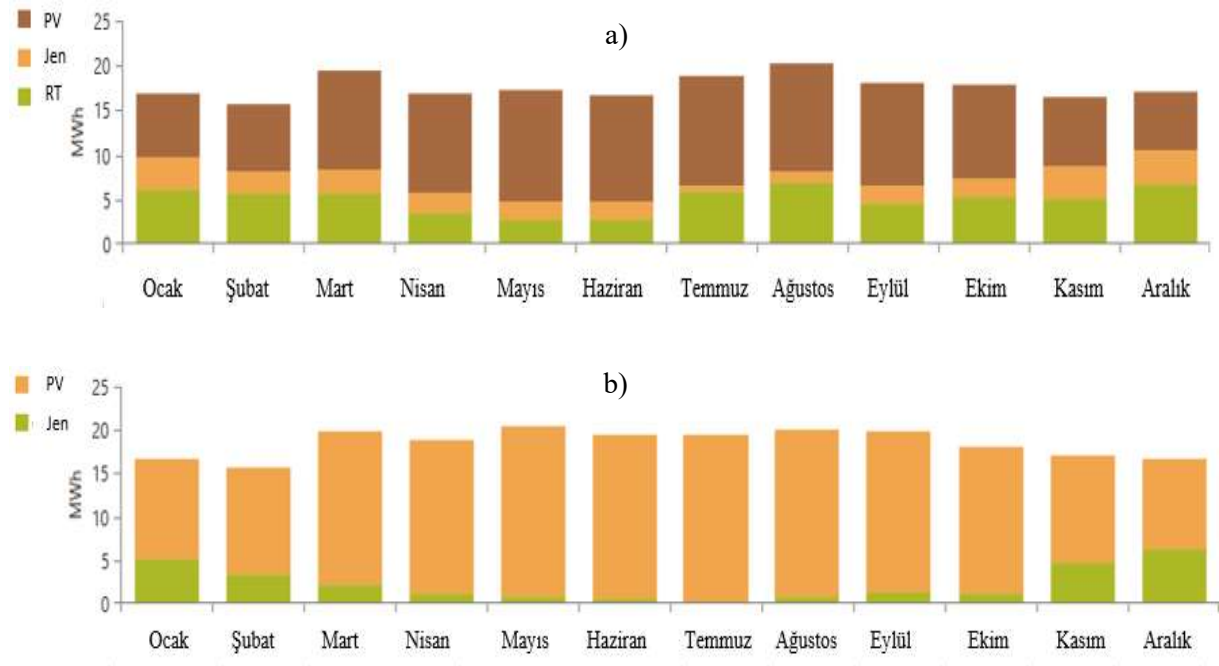
Tablo 5.3. a) senaryo 1 emisyon değeri b) senaryo 2 emisyon değeri

a)	Nicelik	Değer	Birimler	b)	Nicelik	Değer	Birimler
	Karbon Dioksit	45587	kg/yıl		Karbon Dioksit	46473	kg/yıl
	Karbon Monoksit	174	kg/yıl		Karbon Monoksit	178	kg/yıl
	Yanmamış Hidrokarbonlar	7,60	kg/yıl		Yanmamış Hidrokarbonlar	7,78	kg/yıl
	Partikül Maddesi	1,06	kg/yıl		Partikül Maddesi	1,08	kg/yıl
	Sülfür Dioksit	112	kg/yıl		Sülfür Dioksit	114	kg/yıl
	Nitrojen Dioksit	164	kg/yıl		Nitrojen Dioksit	168	kg/yıl

En uygun sistemde elektrik üretimi için güneş paneli, rüzgâr türbini ve jeneratörden, ikinci sistemde ise yenilenebilir enerji kaynağı olarak sadece güneş paneli kullanılmış ve jeneratörden faydalanılmıştır. Elektrik üretiminin yıllık bazda gösterimleri Şekil 5.3.'te verilmektedir. En uygun seçenek olan ilk istemde yıllık 211377 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %58'i (122499 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından karşılanmaktadır. Rüzgâr türbinleri tarafından %29,30'u (61854 kWh/yıl) ve geriye kalan %12,8 (27024 kWh/yıl) ise jeneratörler tarafından sağlanmaktadır.

İkinci sistemde ise ilk sisteme kıyasla yılda 10792 kWh (%5,11) daha fazla elektrik üretimi sağlanarak 222169 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %87,5'i (194342 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %12,5 (27827 kWh/yıl) ise jeneratörler tarafından sağlanmaktadır. İlk sistem, ikinci sisteme kıyasla jeneratörden elektrik üretiminde 803 kWh/yıl daha az elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu da

yenilenebilir enerji oranının diğer sisteme göre yüksek olmasına ve emisyon değerlerinde düşüşün yaşanmasına olanak sağlamaktadır.



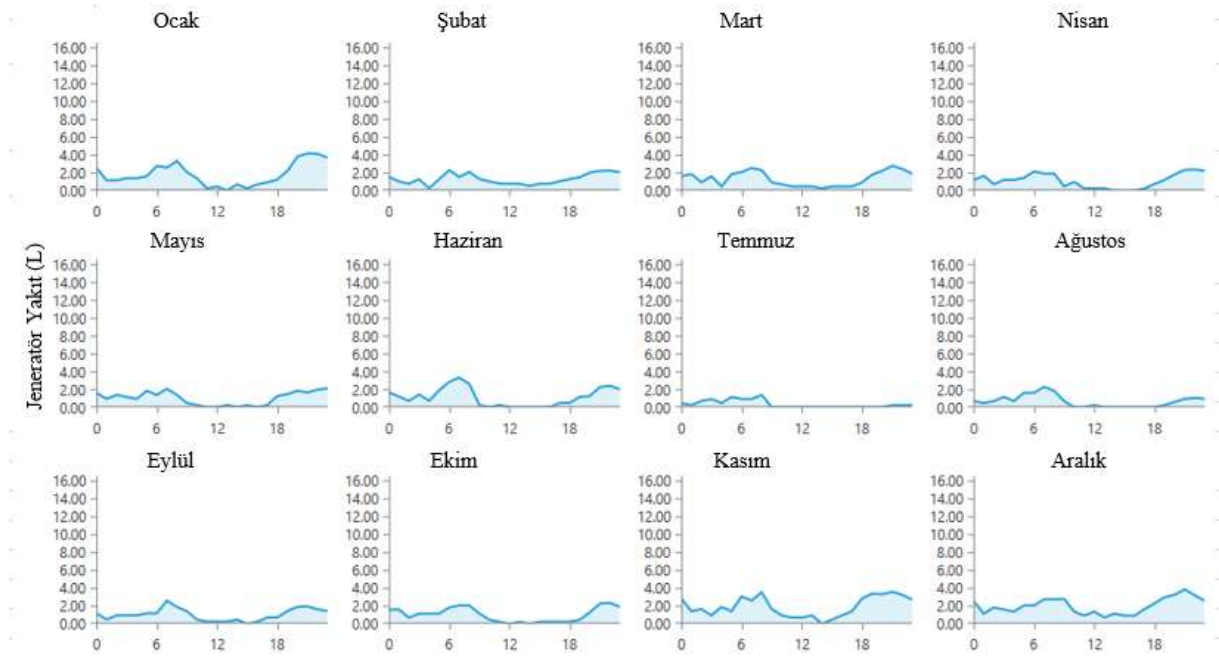
Şekil 5.3. Elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali a) senaryo 1 b) senaryo 2

En uygun sistemde termal üretimi için güneş paneli, rüzgâr türbini ve jeneratörden, ikinci sistemde ise güneş paneli ve jeneratörden faydalanılmıştır. Termal üretiminin yıllık bazda gösterimleri Şekil 5.4.'te verilmektedir. En uygun seçenek olan ilk istemde yıllık 75804 kWh termal enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu termal enerji üretiminin %79,3'ü (60097 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %20,7'si (15706 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır. İkinci sistemde ise ilk sisteme kıyasla yılda 5376 kWh (%7,09) daha fazla termal enerji üretimi sağlanarak 81180 kWh termal enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu termal enerji üretiminin %75'i (60870 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %25 (20310 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır. İlk sistem, ikinci sisteme kıyasla kazan ile termal enerji üretiminde 773 kWh/yıl daha az elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu da kazanda kullanılacak dizel yakıtının daha az kullanılmasına ve emisyon değerlerinde düşüşün olmasına olanak sağlamaktadır.

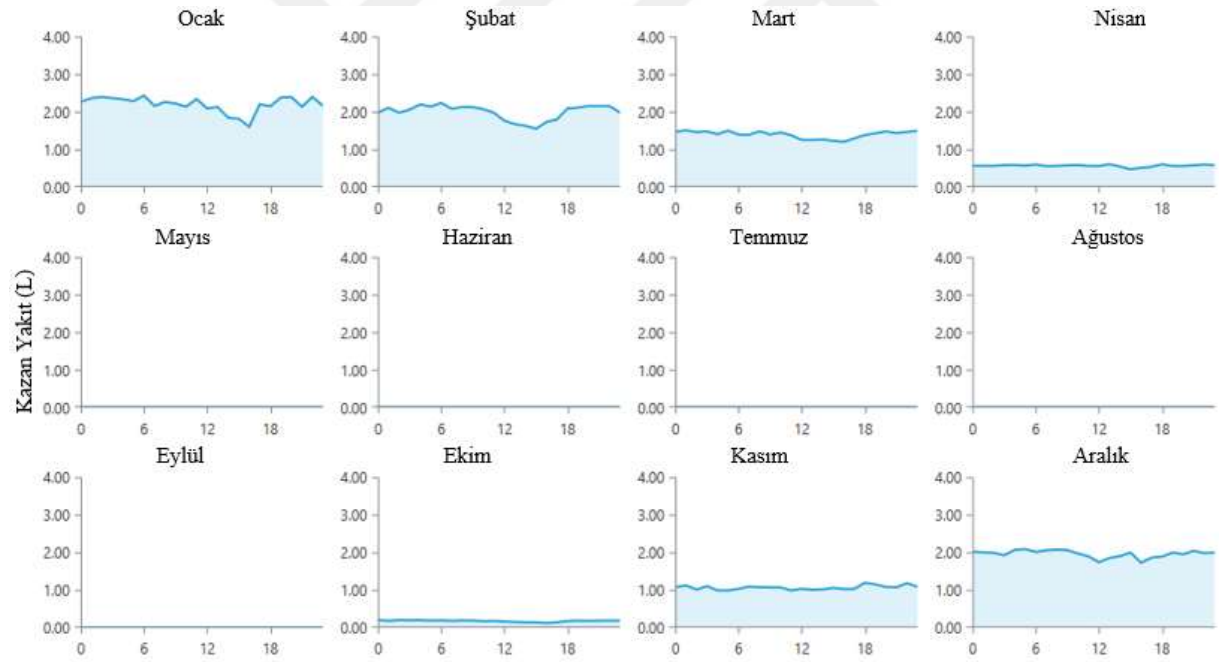


Şekil 5.4. Termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali a) senaryo 1 b) senaryo 2

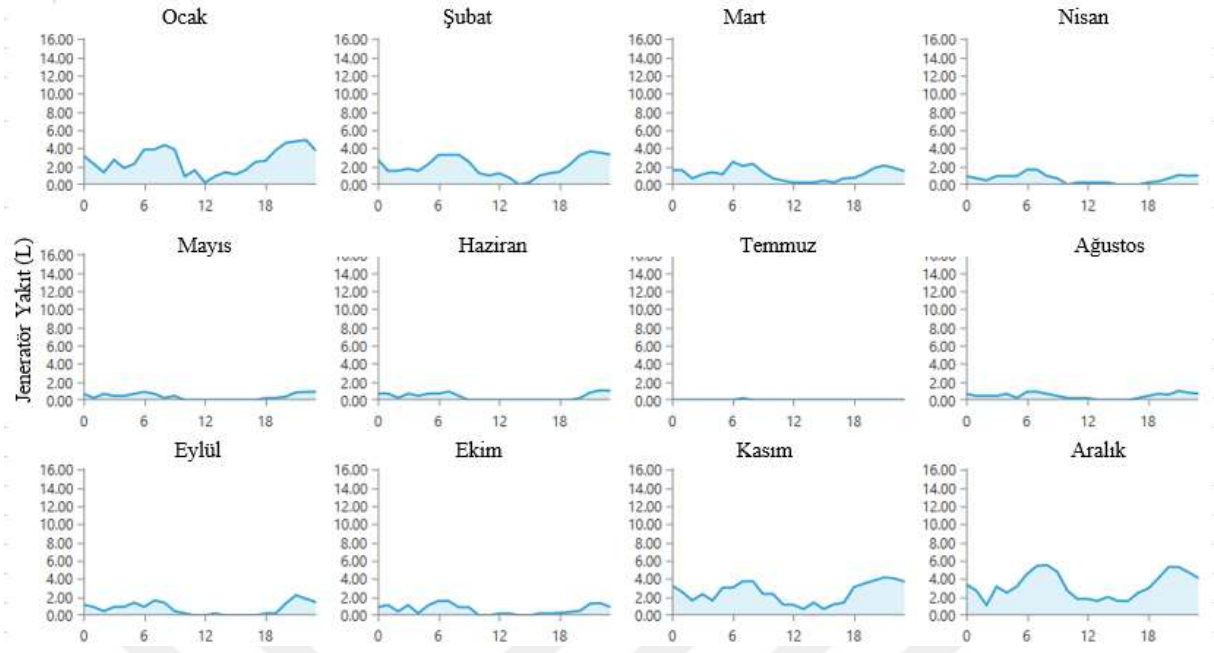
Her iki sistemi de yakıt tüketimi bakımından incelediğimizde, iki sistemde de Mayıs ve Ekim ayları ile yaz mevsimi kapsayan Mayıs-Ekim ayları arasında herhangi bir termal enerji ihtiyacı olmadığı için kazanın çalışıp yakıt tüketmesine gerek olmamıştır. Yakıt tüketiminin büyük bir çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. 1.sistemde yılda 17342 L dizel yakıt tüketilirken, ikinci sistemde %1,95'lik bir artışla 17680 L dizel yakıt tüketimi gerçekleştirilmiştir. 1.sistemde yakıt tüketiminin yaklaşık %60,87'si jeneratör %39,13'ü kazan tarafından gerçekleşmekte iken, 2.sistemde yakıt tüketiminin yaklaşık %61,13'si jeneratör ve %38,87'i kazan tarafından gerçekleşmektedir (Şekil 5.5.-5.8.).



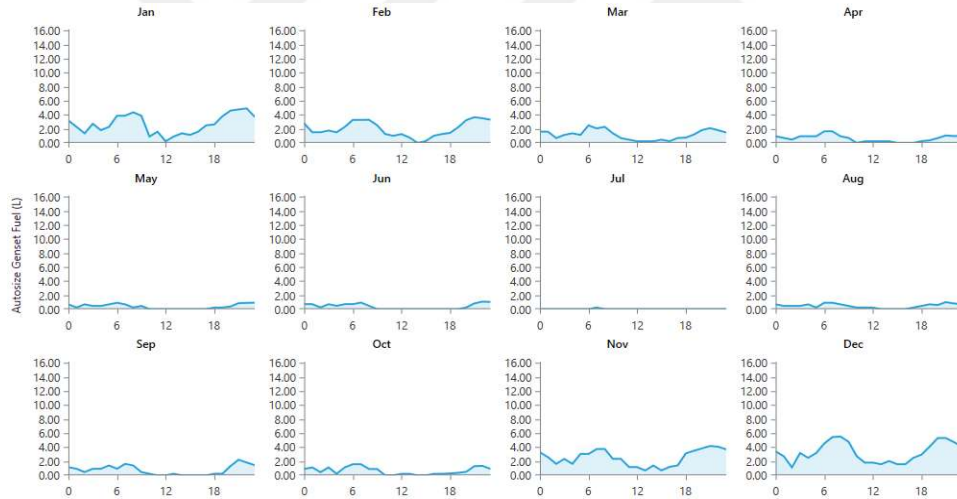
Şekil 5.5. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 1)



Şekil 5.6. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 1)



Şekil 5.7. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 2)



Şekil 5.8. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 2)

5.4.2. Rüzgâr türbini kule yüksekliğinin sisteme olan etkisi (senaryo 3)

Sistemde kullanılan rüzgâr türbininin gövde yüksekliğinin 24 metreden 40 metreye yükseltilmesi ve ortalama rüzgâr hızının 5,0 m/s olması ile oluşan senaryolar Tablo 5.4.'te verilmiştir. Senaryo 1 ile kıyaslandığında rüzgâr hızının artması ve kule gövdesinin yükselmesi ile yenilenebilir enerji kullanım oranı %4,6 kat artarak %63,3'ten %66,2' e kadar yükseldiği görülmüştür. Hem yenilenebilir enerji oranının artması hem de sistemin dizel yakıt tüketiminin %9,54 azalarak senelik 15687 L'ye gerilemiştir. Rüzgâr hızı güneş radyasyonuna kıyasla sene boyunca daha orantılı olup, rüzgâr türbinlerinden sağlanan enerjinin yıl boyunca çok fazla

değişikliğe uğramamasını sağlamaktadır. Termal yük kontrolörü kış aylarında güneş panelinden alamadığı fazla elektrik enerjisini rüzgâr türbinlerinde elde etmekte, bu da hem jeneratör elektrik üretiminin düşmesiyle emisyon oluşumunda ciddi düşüşlere sebep olmaktadır. Ortalama rüzgâr hızının 5,0 m/s, türbin gövde yüksekliğinin ise 40 metreye yükseltilmesi, sistemin birim enerji maliyetini 0,0560\$'a kadar düşürmüş ve sistemin net şimdiki maliyetini de 2,28 M\$ (%18,69) azaltarak 9,92 M\$'a kadar gerilemesine fayda sağlamıştır. Ayrıca operasyon maliyeti 4375\$ (%19,56) azalarak yılda 17995\$'a gerilemiştir.

Tablo 5.4. Senaryo 4 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi

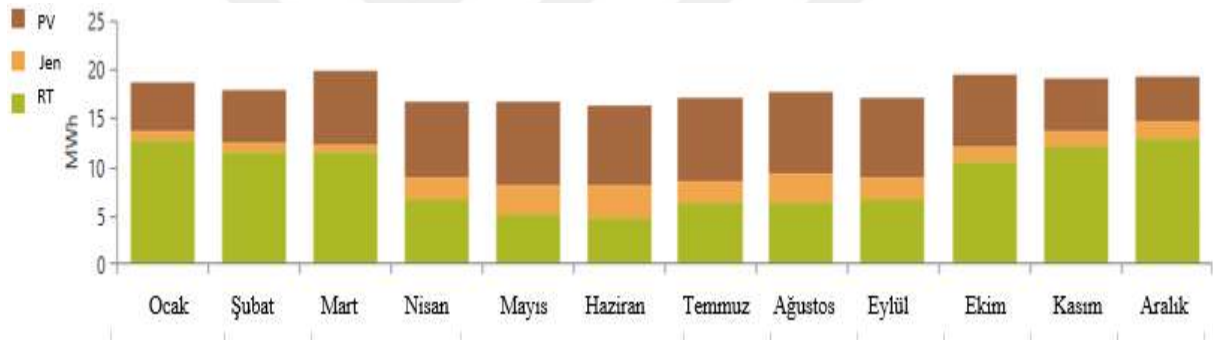
PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştür ücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
57	6	68	545	100	79,6	LF	9,92M	0,0560	17995	513003	66,2	15687
	10	68	785	100	279	LF	14,9M	0,111	27200	715074	57,7	23924
131		68	699	100	85,4	LF	15,2M	0,114	28091	508215	62,7	17680
		68	287	100	27,9	CC	47,8M	0,469	90899	240974	0	66382

Senaryo 3'teki sistemin emisyon değerleri Tablo 5.5.'te verilmiştir. Tablo 5.5.'ten de görüleceği üzere, kule yüksekliği artışı sisteme olumlu etki ederek dizel yakıtın tüketimi azalmış ve bunun sonucunda çevreye salınan zararlı gazların salınımı 46045,66 kg/yıl'dan 41648,631 kg/yıl'a düşerek %9,55 oranında azalma sağlanmıştır.

Tablo 5.5. Senaryo 4 emisyon değerleri

Nicelik	Değer	Birimler
Karbon Dioksit	41241	kg/yıl
Karbon Monoksit	154	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	6,70	kg/yıl
Partikül Maddesi	0,931	kg/yıl
Sülfür Dioksit	102	kg/yıl
Nitrojen Dioksit	144	kg/yıl

Hem senaryo 1'deki sistemde hem de senaryo 3'teki sistemde elektrik üretimi için güneş paneli, rüzgâr türbini ve jeneratörden faydalanılmıştır. Elektrik üretiminin yıllık bazda gösterimi Şekil 5.9.'da verilmektedir. Senaryo 1'deki sistemde yıllık 211377 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %58'i (122499 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından karşılanmaktadır. Rüzgâr türbinleri tarafından %29,30'u (61854 kWh/yıl) ve geriye kalan %12,8 (27024 kWh/yıl) ise jeneratörler tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 3'teki sistemde ise ilk sisteme kıyasla yılda 4118 kWh (%1,95) daha fazla elektrik üretimi sağlanarak 215495 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %39,1'i (84272 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından, %11,0'ı (23709 kWh/yıl) jeneratörler tarafından karşılanmaktadır. Geriye kalan %49,9'u (107514 kWh/yıl) ise rüzgâr türbinleri tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 1'deki sistem, senaryo 3'teki sisteme kıyasla jeneratörden elektrik üretiminde 3315 kWh/yıl daha fazla elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu da yenilenebilir enerji oranının diğer sisteme göre daha az olmasına ve emisyon değerlerinde artışın yaşanmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 5.9. Senaryo 3 elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

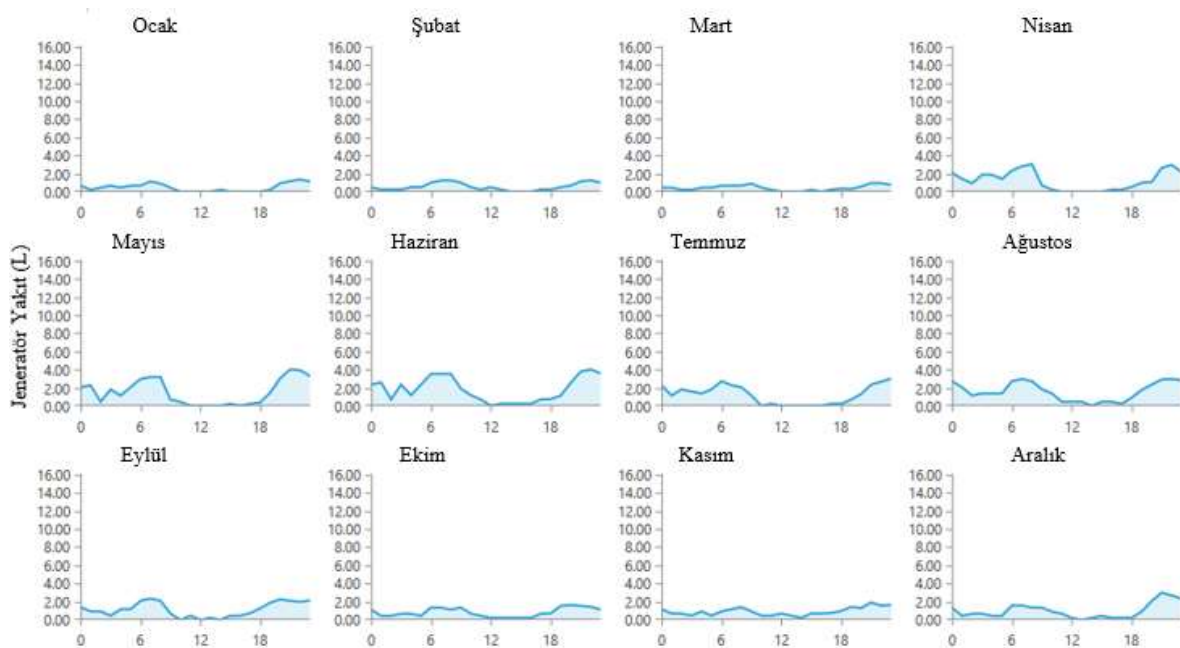
Hem senaryo 1'deki sistemde hem de senaryo 3'teki sistemde termal üretimi için kazan ve termal yük kontrolöründen faydalanılmıştır. Termal üretiminin yıllık bazda gösterimi Şekil 5.10.'da verilmektedir. Senaryo 1'deki istemde yıllık 75804 kWh termal enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu termal enerji üretiminin %79,3'ü (60097 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %20,7'si (15706 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 3'teki sistemde ise senaryo 1'deki sisteme kıyasla yılda 802 kWh (%1,06) daha fazla termal enerji üretimi sağlanarak 76606 kWh termal enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu termal enerji üretiminin %73,7'si (56491 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %26,3'ü (20115 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 1'deki sistem, senaryo 4'teki sisteme kıyasla kazan ile termal enerji üretiminde 3606 kWh/yıl daha fazla elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu da kazanda

kullanılacak dizel yakıtının daha fazla tüketilmesine ve emisyon değerlerinde artışın olmasına sebep sağlamaktadır.

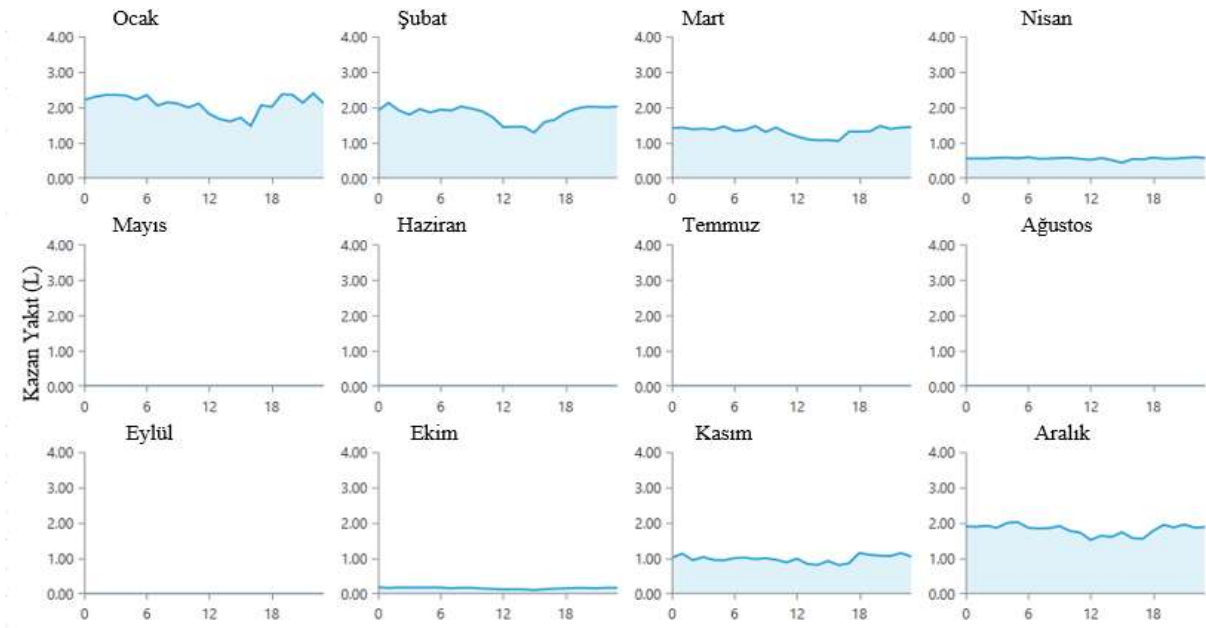


Şekil 5.10. Senaryo 3 termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

Yakıt tüketimi bakımından incelediğimizde her iki sistemde de Mayıs-Ekim ayları arasında termal enerji ihtiyacı olmadığı için kazanın çalışıp yakıt tüketmesine gerek olmamıştır. Yakıt tüketiminin büyük bir çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. Senaryo 1'deki sistemde yılda 17342 L dizel yakıt tüketilirken, senaryo 3'teki sistemde %9,54'lük bir azalış ile 15687 L dizel yakıt tüketimi gerçekleştirilmiştir. Bu da sistemin emisyon değerlerinde düşüş olmasını sağlamıştır. Senaryo 1 sisteminde yakıt tüketiminin yaklaşık %60,87'si jeneratör %39,13'ü kazan tarafından gerçekleşmekte iken, senaryo 4 sisteminde yakıt tüketiminin yaklaşık %59,3'ü jeneratör ve %40,67'si kazan tarafından gerçekleşmektedir (Şekil 5.11. - 5.12.).



Şekil 5.11. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 3)



Şekil 5.12. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 3)

5.2. Batarya Kullanımının Sisteme Olan Etkisi (Senaryo 4)

Şebekeden bağımsız sistemlerde akü maliyeti genel maliyeti oldukça fazla etkilemesi sebebiyle problem teşkil ettiği tahmin edilmektedir. Güneş yoğunluğunun ve rüzgâr hızlarının sene içerisinde genele yayılmaması bataryasız sistemlerde jeneratörün kullanım miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu artış enerji maliyetlerini, sistem maliyetlerini, yenilenebilir enerji oranını, yakıt miktarını, emisyon artışını önemli ölçüde etkilemektedir. Tablo 5.6.'da görüldüğü üzere batarya olmadan tasarlanan sistemin birim enerji maliyeti 0,0807 \$ 'dan 0,547 \$'a yükselmiştir. Sistemdeki yenilenebilir fraksiyonu da %63,3'ten %9,72'ye gerilemiştir. Bununla birlikte sistemin şimdiki değeri 12,2 M\$ 'dan 54,9 M\$'a yükselmiştir. Buna bağlı olarak enerji birim maliyetinde de %577,82 oranında artış meydana gelmiştir.

Sistemin yenilenebilir oranının düşmesiyle birlikte optimizasyon stratejisi Yük İzleme (LF) iken Döngü Şarj (CC) olmuştur. Yük İzleme stratejisi kapsamında bir jeneratöre talep olduğunda sadece talebi karşılayacak kadar güç üretir. Yük takibi, bazen yükün üzerinde çok fazla yenilenebilir enerjiye sahip sistemlerde optimal olma eğilimindedir. Döngü şarjı stratejisi kapsamında ise, bir jeneratöre talep olduğunda tam güçle çalışır ve fazla güç, batarya bankasını şarj eder. Döngüsel şarj, yenilenebilir gücün fazla olmadığı veya hiç olmadığı sistemlerde optimum olma eğilimindedir.

Tablo 5.6. Senaryo 1 (bataryalı sistem) ve senaryo 4 (bataryasız sistem) sonuçları

PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştür ücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer	Birim Enerji Maliyeti	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
82,8	4	68	540	100	63,9	LF	12,2M	0,0807	22370	482572	63,3	17342
96,2		68		100	93	CC	54,9M	0,547	104738	160408	9,72	72729

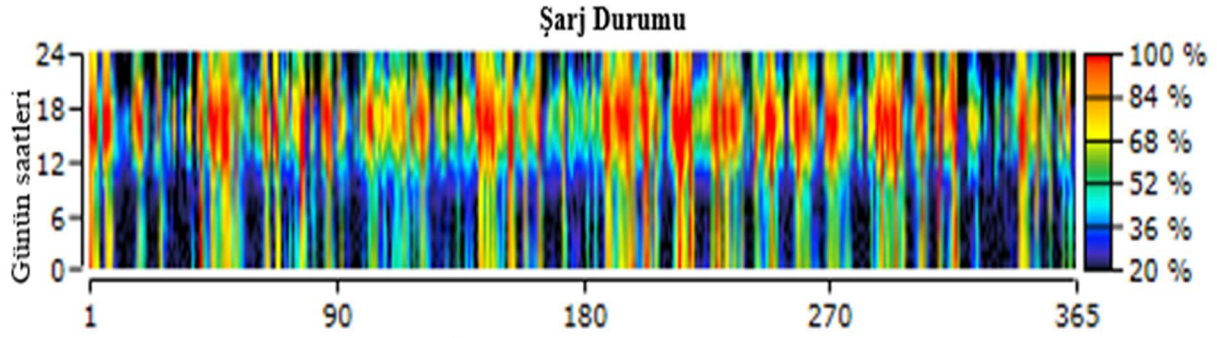
Simülasyon sonucu ortaya çıkan sistemde, yıllık olarak tüketile yakıt miktarı batarya olmadığı durumlarda, bataryalı duruma kıyasla 4 kattan daha fazla yakıt tüketerek 17342 litre dizel tüketiminden 72729 litre dizel yakıt tüketmesine sebep olmuştur. Bu yakıt farkının büyük çoğunluğu dizel jeneratörde gerçekleşmiştir. Senaryo 1’de jeneratör yıllık toplam 10556 litre dizel tüketiyor iken, senaryo 4’deki (bataryasız) sistemde bu miktar %551,5 oranında artarak 68773 litre dizel tüketmektedir. Bu maliyeti ciddi oranda olumsuz etkilemiştir. Yakıt tüketimindeki artış emisyon değerine de aynı doğrultuda etki edecektir. Emisyon oranlarına bakıldığında (Tablo 5.5.) senaryo 4’teki sistemde senaryo 1’deki sisteme kıyasla %319,61’lik emisyon artışı oluşmuştur. Bu da hiçbir şekilde istenilmeyen bir durumdur.

Senaryo 4’teki sistemin emisyon değerleri Tablo 5.7.’de verilmiştir. Tablo 5.7. incelendiğinde; yılda 190489 kg karbon dioksit tüketimi gerçekleştiği görülmektedir ve bu diğer sistemdeki karbon dioksit oranına kıyasla %400’ten fazla tüketime karşılık gelmektedir. Bu çevreci bir yaklaşım olmayacağı için istenmeyen bir durumdur.

Tablo 5.7. Senaryo 4 emisyon değeri

Nicelik	Değer	Birimler
Karbon Dioksit	190489	kg/yıl
Karbon Monoksit	1135	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	49,5	kg/yıl
Partikül Maddesi	6,88	kg/yıl
Sülfür Dioksit	467	kg/yıl
Nitrojen Dioksit	1066	kg/yıl

Bütün bu faktörler düşünüldüğünde batarya kullanılarak kurulan şebekeden bağımsız hibrit sistemi hem maliyet hem de emisyon değerleri bakımından analizler doğrultusunda daha mantıklı olacağı aşıkardır. Optimum sistemde kullanılan bataryanın sene içerisindeki kullanım ve doluluk Şekil 5.13.'te gözükmemektedir. Güneşin yoğun olduğu öğlen vakitlerinde akünün doluluk oranının %100'e dayandığı, diğer vakitlerde bataryadan yararlanmaya bağılı olarak doluluk oranlarında belirli azalmalar meydana geldiği görölmektedir.



Şekil 5.13. Senaryo 1'de kullanılan bataryanın yıl içerisindeki doluluk oranları

5.5. Jeneratörün Farklı Çalışma Yükünün Sisteme Etkisi (Senaryo 5)

HOMER programında tasarlanan sistemde kullanılan dizel jeneratörün devreye girme yükü %25'ten %75'e yükseltilmesi ile oluşan senaryolar Tablo 5.8.'de verilmiştir. Senaryo 3'e kıyasla, dizel jeneratörün devreye girme yükünün yükselmesi ile oluşan senaryo 5 sisteminde dizel yakıt tüketimi %9,82 azalarak senelik 14146 L'ye gerilemiştir. Bunun sonucunda sistemin emisyon değerinde de düşüş yaşanmıştır. Termal yük kontrolörü, kış aylarında güneş panelinden fazla elektrik temin edilemediği için fazla elektrik enerjisini rüzgâr türbinlerinin ürettiği elektrik enerjisi ile sağlamakta, bu da hem jeneratör ile elektrik üretiminin azalmasına hem de kazanın daha az termal enerji elde etmesinin önüne geçerek emisyon değerlerinde ciddi düşüş yaşanmasına yardımcı olmaktadır. Sistemin elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılamak için daha önce 364,6 kW güce sahip hibrit sistem gerekirken (Senaryo 3), yeni sistemde 340,6 kW güce sahip hibrit sistemin yeterli olması (Senaryo 5), sistemin daha etkin çalışmasına ve mali tablonun olumlu yönde yansımaya olanak sağlamıştır. Dizel jeneratörün %75 yükte devreye girmesi, sistemin birim enerji maliyetini 0,0560\$'dan 0,0402\$'a kadar düşürmüştür. Ayrıca sistemin net şimdiki maliyetinin de 1,45 M\$ (%14,62) azaltarak 8,47 M\$'a kadar gerilemesine fayda sağlamıştır. Sistemde kullanılan batarya 16 kWh artmasına rağmen net bugünkü maliyette yaşanan düşüş, bataryanın kurulum maliyetinin yüksek olmasına rağmen, sisteme sağladığı fayda ile birlikte aslında maliyeti düşürdüğünü göstermektedir. Sistemdeki

operasyon maliyetinde ise 2771\$ (%15,4) azalma sağlayarak, operasyon maliyetinin yılda 15224\$ seviyelerine kadar gerilemesini katkıda bulunmuştur.

Tablo 5.8. Senaryo 5 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi

PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştür ücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
57	6	68	561	100	55,6	LF	8,47M	0,0402	15224	514079	65,2	14146
	10	68	566	100	268	LF	12,6M	0,0809	22862	613609	53,5	22999
131		68	699	100	262	LF	13,5M	0,0952	24779	553506	61,1	26232
		68	346	100	35,4	CC	48,5	0,477	92414	205164	0	65741

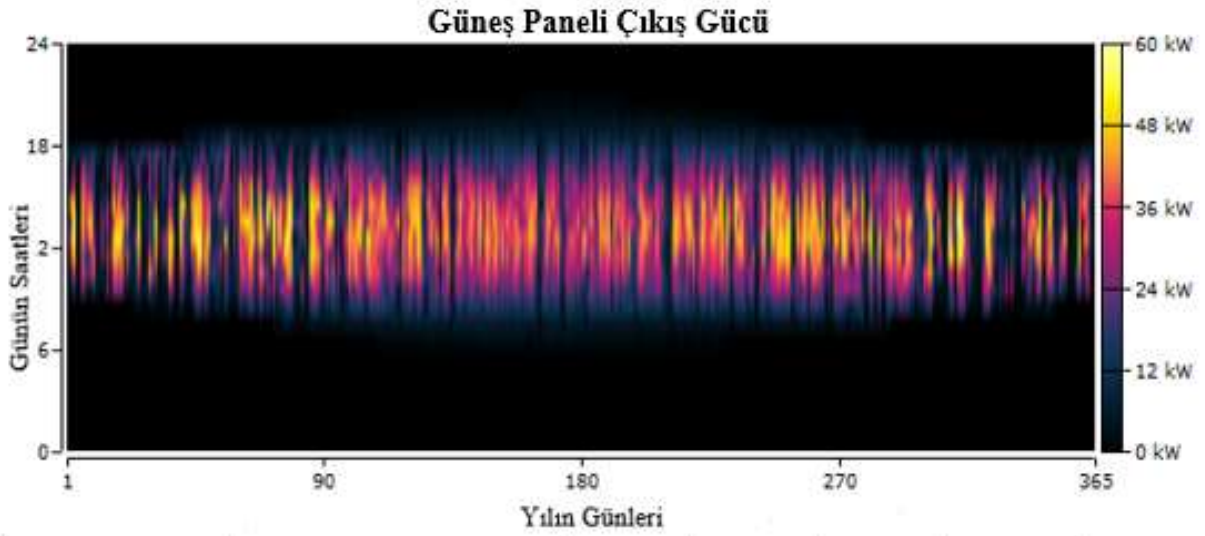
Senaryo 3'teki emisyon değerleri ile senaryo 5'teki sistemin emisyon değerleri ise Tablo 5.9.'da verilmiştir. Tablo 5.9.'dan da görüleceği üzere, dizel jeneratörünün %75 yükten fazla çalışması sisteme olumlu etki ederek dizel yakıtın tüketimi azalmış ve bunun sonucunda çevreye salınan zararlı gazların salınımı 41638,631 kg/yıl'dan 37553,98 kg/yıl'a düşerek %9,83 oranında azalma sağlanmıştır.

Tablo 5.9. Senaryo 5 emisyon değerleri

Nicelik	Değer	Birimler
Karbon Dioksit	37208	kg/yıl
Karbon Monoksit	128	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	5,60	kg/yıl
Partikül Maddesi	0,777	kg/yıl
Sülfür Dioksit	91,6	kg/yıl
Nitrojen Dioksit	120	kg/yıl

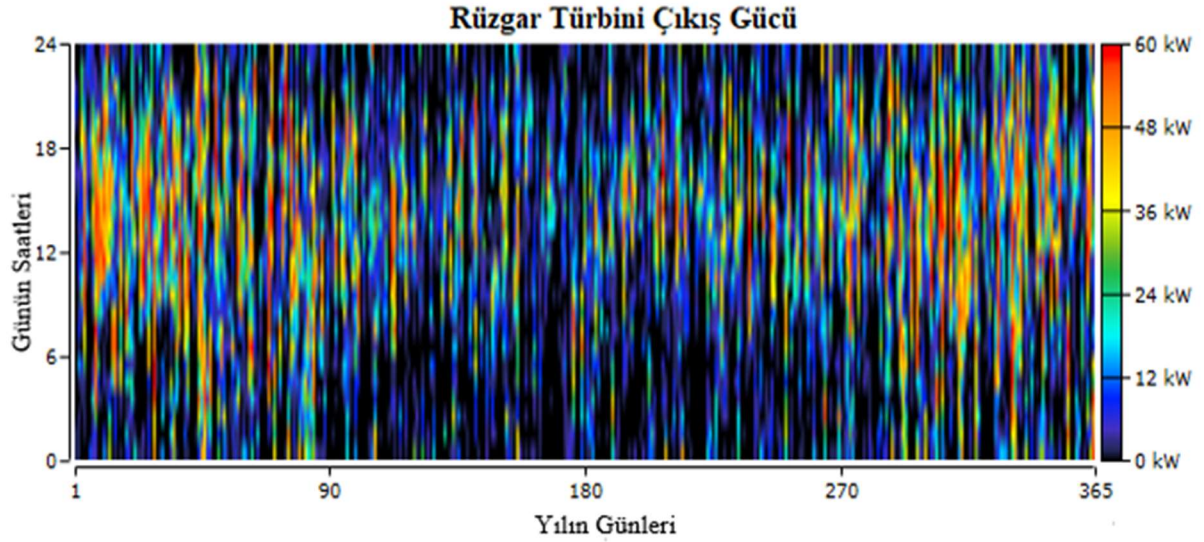
Senaryo 5'te tercih edilen güneş panelleri yılda 4388 saat çalışarak toplamda 84315 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Sistemde modellenen güneş panelinin ortalama çıkış gücü 9,63 kW, günlük ortalama çıkış gücü 231 kW ve kapasite faktörü %16,9 olmaktadır. Sisteme dahil

edilen güneş panellerinin maksimum çıkış gücü 58,5 kW olarak görülmüştür Şekil 5.14.'te senaryo 5'te kullanılan güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri verilmiştir.



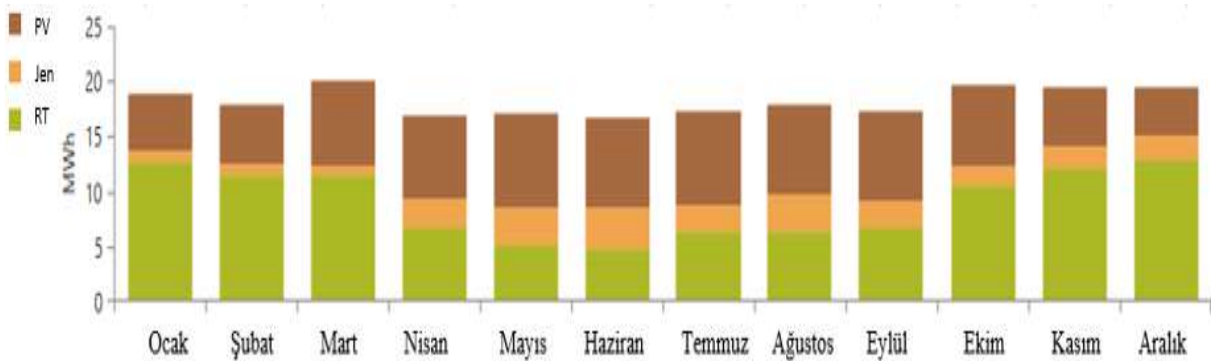
Şekil 5.14. Senaryo 5'te kullanılan güneş panelinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri

Senaryo 5'te sisteme dahil edilen 40 metre gövde uzunluğuna sahip rüzgâr türbini, yılda 7184 saat çalışarak 107514 kWh/yıl elektrik enerjisi üretmiştir. Rüzgâr türbini ile üretilen elektrik enerjisi miktarı, senaryo 1'deki rüzgâr türbini ile üretilen elektrik enerjisi miktarından 45660 kWh/yıl (%73,82) daha fazladır. Senaryo 5'teki sistemde, rüzgâr türbinlerinin maksimum çıkış gücü 60 kW olarak ortaya çıkmıştır. Modellenen rüzgâr türbininin ortalama güç çıkışı 12,3 kW, günlük ortalama güç çıkışı 295 kWh ve kapasite faktörü ise %20,5 olmaktadır. Rüzgâr türbini kullanımı ile yenilenebilir enerji faktörü de 0,019 oranında artarak %65,2'ye yükselmiştir. Şekil 5.15.'te senaryo 5'te kullanılan rüzgâr türbinlerinin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri verilmiştir.



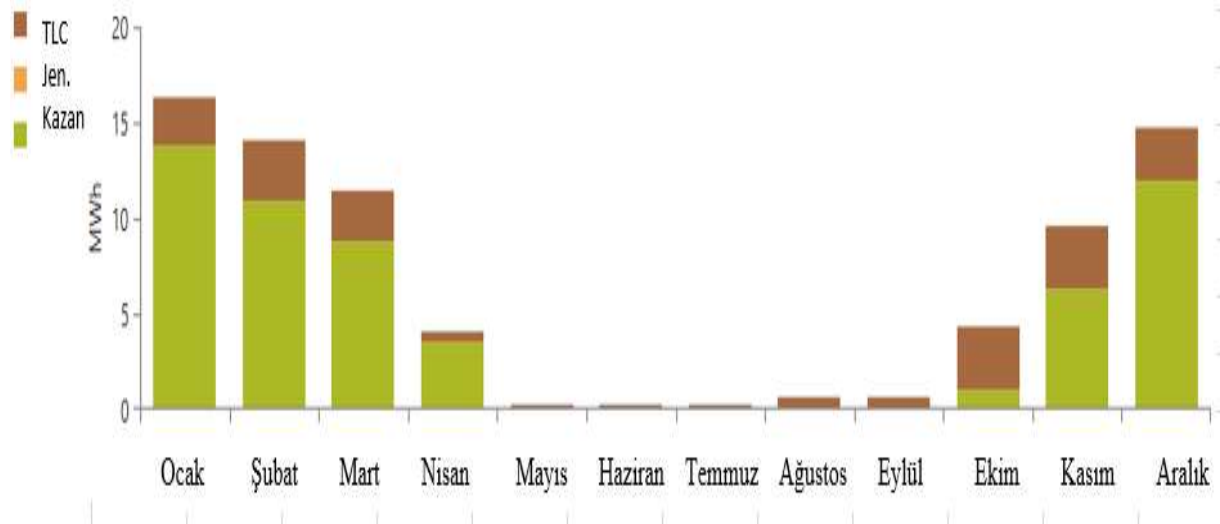
Şekil 5.15. Senaryo 5'te kullanılan rüzgâr türbininin yıl içerisindeki güç çıkışı değerleri

Hem senaryo 3'teki sistemde hem de senaryo 5'teki sistemde elektrik üretimi için güneş paneli, rüzgâr türbini ve jeneratörden faydalanılmıştır. Elektrik üretiminin yıllık bazda gösterimi Şekil 5.16.'da verilmektedir. Senaryo 3'teki sistemde 215495 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %39,1'i (84272 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından, %11,0'ı (23709 kWh/yıl) jeneratörler tarafından karşılanmaktadır. Geriye kalan %49,9'u (107514 kWh/yıl) ise rüzgâr türbinleri tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 5'teki sistemde ise senaryo 4'teki sisteme kıyasla yılda 2650 kWh (%1,23) daha fazla elektrik üretimi sağlanarak 218145 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %38,7'si (84315 kWh/yıl) güneş panelleri tarafından, %12,1'i (26316 kWh/yıl) jeneratörler tarafından karşılanmaktadır. Geriye kalan %49,3'ü (107514 kWh/yıl) ise rüzgâr türbinleri tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 5'teki sistem, senaryo 3'teki sisteme kıyasla 2650 kWh daha fazla üretilen elektriğin 2607 kWh/yıl değeri jeneratörden karşılanmaktadır. Bu da sistemdeki yenilenebilir enerji oranının diğer sisteme göre daha az olmasına sebep olmaktadır.



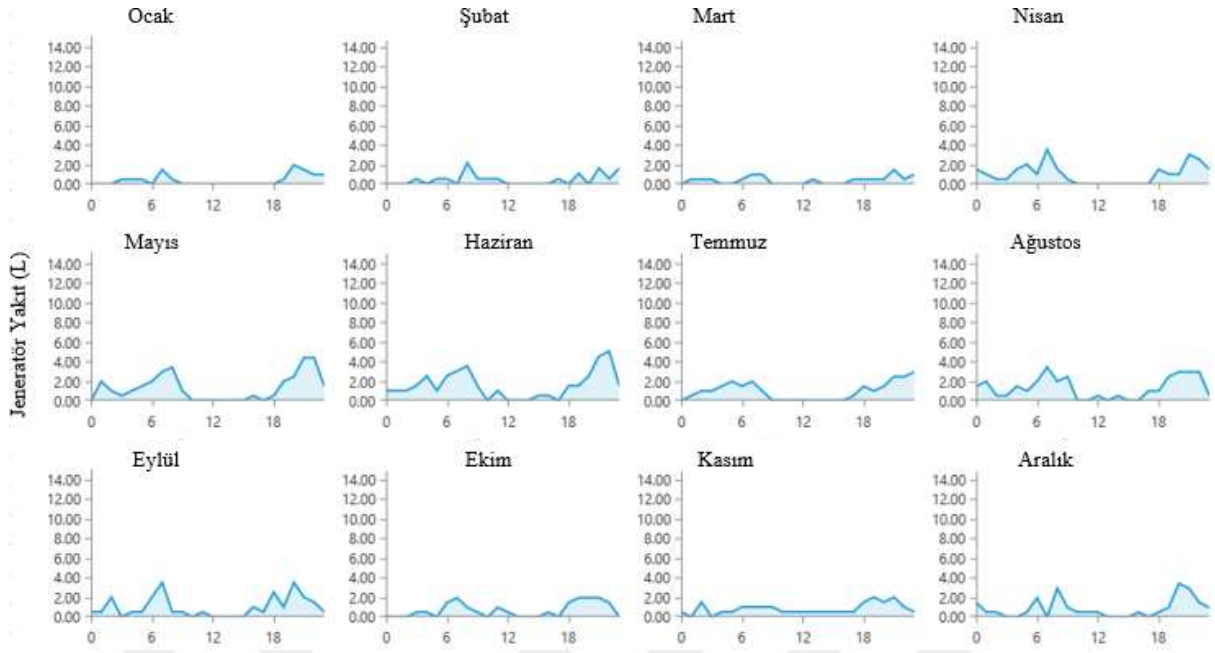
Şekil 5.16. Senaryo 5 elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

Hem senaryo 3'teki sistemde hem de senaryo 5'teki sistemde termal üretimi için kazan ve termal yük kontrolöründen faydalanılmıştır. Termal üretiminin yıllık bazda gösterimi Şekil 5.17.'de verilmektedir. Senaryo 3'teki istemde yıllık 76606 kWh termal enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu termal enerji üretiminin %73,7'si (56491 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %26,3'ü (20115 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır. Senaryo 5'teki sistemde ise senaryo 3'teki sisteme kıyasla yılda 41 kWh (%0,05) daha fazla termal enerji üretimi sağlanarak 76647 kWh termal enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu termal enerji üretiminin %73,6'sı (56439 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmakta iken, geriye kalan %26,4'ü (20207 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır.

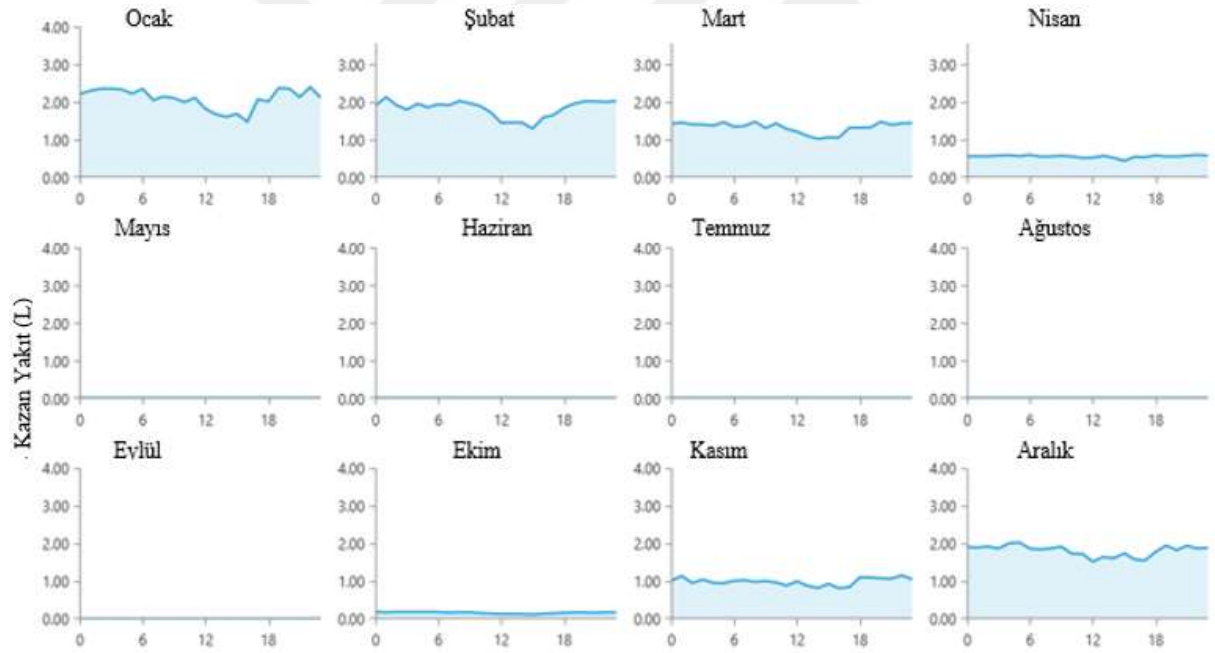


Şekil 5.17. Senaryo 5 termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

Yakıt tüketimi bakımından incelediğimizde her iki sistemde de Mayıs-Ekim ayları arasında termal enerji ihtiyacı olmadığı için kazanın çalışıp yakıt tüketmesine gerek olmamıştır. Yakıt tüketiminin büyük bir çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. Senaryo 3'teki sistemde yılda 15687 L dizel yakıt tüketilirken, senaryo 5'teki sistemde %9,82'lik bir azalış ile 14146 L dizel yakıt tüketimi gerçekleştirilmiştir. Bu da sistemin emisyon değerlerinde düşüş olmasını sağlamıştır. Senaryo 3 sisteminde yakıt tüketiminin yaklaşık %59,3'ü jeneratör %40,67'si kazan tarafından gerçekleşmekte iken, senaryo 5 sisteminde yakıt tüketiminin yaklaşık %54,95'i jeneratör ve %45,05'i kazan tarafından gerçekleşmektedir (Şekil 5.18.-5.19.).

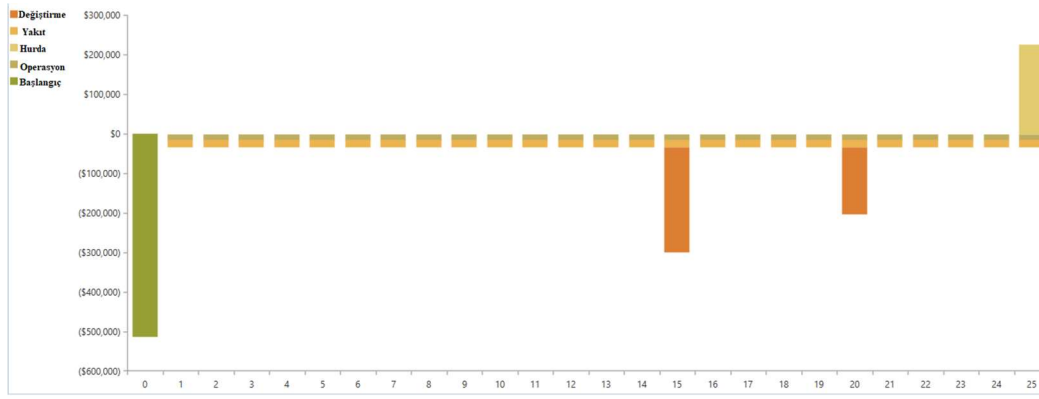


Şekil 5.18. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (senaryo 5)



Şekil 5.19. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (senaryo 5)

Senaryo 5'in nakit akış diyagramı Şekil 5.20.'de verilmiştir. Şekil 5.20. incelendiğinde, nakit çıkışının büyük bölümünün kuruluma harcandığı, sonraki yıllar eşdeğer şekilde giderlerin olduğu, lakin 15. ve 20. yıllarda bazı komponentlerin yenilenme ücretlerinin gidere eklenmesiyle o iki yılda ekstra fiyat artışı yaşandığı ve 25.yılda cihazların hurdaya verilmesi ile gelir kaynağı sağlanarak nakit akış diyagramında pozitif etki gözlemlenmiştir.



Şekil 5.20. Senaryo 5 nakit akış diyagramı

Senaryo 5'in komponentlerin maliyet tablosu ise Tablo 5.10.'da verilmiştir. Tablo 5.10.'dan da görüleceği üzere kurulacak sistemde 19,55 M\$'lık bir hurda geliri sağlanırken, kurulumda 0,51 M\$, cihaz yenilemede 9,83 M\$, işletim ve bakım maliyetinde 8 M\$ ve yakıtta 9,61 M\$ değerinde harcama gerçekleştirilmiştir. Bu gelir gider dengesi sonucu sistemin net bugünkü maliyeti 8,47 M\$ olarak bulunmuştur. Tasarlanan bu sistemde 25 yılın sonundaki gelir gider dengesinde; rüzgâr türbini, dönüştürücü ve termal yük kontrolörü sisteme maddi getiri sağlayacakken, diğer cihazlar gider oluşturacaktır. Burada en büyük giderin dizel jeneratörden kaynaklandığı görülmektedir. Nitekim kurulum ve işletim ile bakım maliyeti en yüksek cihaz batarya iken, yenileme maliyeti ve hurda değeri en yüksek cihaz rüzgâr türbinidir.

Tablo 5.10. Senaryo 5'teki komponentlerin maliyet tabloları

Elemanlar	Başlangıç (\$)	Değiştirme (\$)	Operasyon (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
Jeneratör	20400	0	183455,30	5282745,52	(853155,99)	4633434,83
Rüzgâr Türbini	150000	5312923,87	1568444,80	0	(9720876,83)	(2689508,15)
Li-İyon Batarya	252450	3665279,73	5865983,55	0	(7271215,87)	2512497,42
Kazan	0	0	0	4331481,68	0	433148168
Güneş Paneli	57005,99	0	298035,82	0	0	355041,81
Dönüştürücü	14222,98	206501,12	87140,48	0	(409658,83)	(101794,25)
Termal Yük Kontrolörü	20000	708389,85	0	0	(1296116,91)	(567727,06)
Sistem	514078,97	9893094,58	8003049,96	9614227,19	(19551024,42)	8473426,27

5.6. Faiz ve Enflasyon Oranının Sisteme Etkisi (Senaryo 6)

HOMER programında tasarlanan sistemin ömrü 25 yıldır ve yıllara bağlı olarak sistemin maliyeti faiz ve enflasyona bağlı olarak artmaktadır. Faiz ve enflasyon oranının yüksek olması, sistemin yıllar geçtikçe maliyette negatif büyüme yaşatacağı anlamı taşımaktadır. HOMER programında tasarlanan sistemde Ekim 2023 faiz ve enflasyon verileri kullanılmıştır. Burada faiz ve enflasyonun etkilerinin görülebilmesi adına Ekim 2021 faiz ve enflasyon verileri (faiz: %16 , enflasyon: %19,89) [98,103] sisteme tanımlanmış ve oluşan senaryolar Tablo 5.11.'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Senaryo 5 ve senaryo 6 simülasyon sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi

PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştür ücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer	Birim Enerji Maliyeti	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
57	6	68	561	100	55,6	LF	8,47M	0,0402	15224	514079	65,2	14146
57	6	68	561	100	55,6	LF	2,17M	0,261	42051	514079	65,2	14146

Sistemde faiz oranının %35'ten %16'ya, enflasyon oranının ise %61,39'dan %19,89'a düşmesiyle oluşan simülasyon modeli incelendiğinde, sistemin net bugünkü değerinin 8,47M\$'dan 2,17M\$'a gerilediği görülmektedir (Tablo 5.11.). Nitekim, faiz ve enflasyonun düşük olmasının etkisiyle yaklaşık 4'te 1'i fiyatına bu sistemin kurulabileceği gözlemlenmektedir. Bu durum, faiz ve enflasyon oranlarının kurulması planlanan sistemi önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

5.7. Seçilen Sistemin Gerçek Hayatta Uygulanma Simülasyonu

Simülasyon sonucu optimum sistemin komponentleri ve güçleri Tablo 5.12.'de verilmiştir.

Tablo 5.12. Sistemde kullanılan komponentler ve güçleri

Cihazlar	Güç
Güneş Paneli	57 kW
Rüzgâr Türbini	60 kW
Jeneratör	68 kW
Batarya	561 kWh
Dönüştürücü	55,6 kW
Termal Yük Kontrolörü	100 kW

Tablo 5.12.'den yola çıkarak, belirlenen lokasyonda kurulacak sistemin gerçek hayatta uygulanabilmesi adına bu güçlere sahip komponentler belirlenmiştir. HOMER programındaki simülasyonda ortaya çıkan sonuçların karşılanması, bu cihazları belirlemedeki ana parametre olmuştur. Seçilen cihazların adetleri, güçleri ve maliyetleri ile ilgili bilgiler Tablo 5.13.'te verilmiştir. Sistemde rüzgâr türbininde rüzgâr şarj kontrol cihazı dahil olduğundan dolayı hibrit kontrol cihazı tercih edilmemiştir. Ayrıca, seçilen hibrit inverterde MPPT (Maximum Power Point Tracking - Maksimum Güç Noktası İzleme) güneş enerjisi şarj kontrol cihazı bulunmaktadır. Bundan dolayı hem rüzgâr türbini için hem de MPPT için ekstra bir ücretlendirme gerekmemektedir. Kablolar, şebekeden bağımsız bir sistemde kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen kablo tipleri, sistemin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için uygun özelliklere sahiptir. Rüzgâr türbini temelini hesaplanması için türbinin yüksekliği, ağırlığı, yerel zemin koşulları ve rüzgâr yükleri gibi birçok faktör dikkate alınmaktadır. Modellenecek olan sistemde ise, rüzgâr türbininin kurulumunda kullanılan beton temeli vb. altyapı ücretleri bu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tablo 5.13. Sistem yatırım maliyetleri

İhtiyaç	Komponent	Miktar	Toplam Güç	Birim	Birim Fiyat (\$)	Toplam Maliyet (\$)
Güneş Paneli	CW Enerji 570Wp 144TNB M10 TOPCon Güneş Paneli	100	57 kW	Adet	315	31500
Rüzgâr Türbini (Kontrol Cihazı Dahil)	Altech Boreas 10000 - 10 Kw	6	60 kW	Adet	5000	30000
Pano	İnvertör toplama panosu	4	-	Set	15000	15000
Batarya	Pylontech Force-H1 Lityum Akü 48 Volt 3,55 kWh lityum batarya	158	560,9 kWh	Adet	2700	426600
Çevirici	TommaTech HVPlus 10kW MPPT Hibrit Akıllı İnverter Çevirici	6	60 kW	Adet	4880	29280

Tablo 5.13. (Devam) Sistem yatırım maliyetleri

İhtiyaç	Komponent	Miktar	Toplam Güç	Birim	Birim Fiyat (\$)	Toplam Maliyet (\$)
<i>Jeneratör</i>	Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör (85 Kva) Trifaze	1	68 kW	Adet	13260	13260
<i>PV panel konstrüksiyon elemanları</i>	Altyapı masrafları, profil ve bağlantı ekipmanları	1	-	Set	1550	1550
<i>Kablo Grupları</i>	H1Z2Z2K, N2XH, NYY vb. kablolar	1	-	Set	8500	8500
<i>Bağlantı ekipmanları</i>	Koruma sigortaları, topraklama, solar konnektör, diğer malzemeler	1	-	Set	3000	3000
<i>Montaj</i>	Konstrüksiyon sistemi, topraklama sistemi, pano montajı	1	-	Set	10000	10000
<i>Termal Yük Kontrolörü</i>	-	1	100 kW	Set	20000	20000
<i>Nakliye</i>	Ekipmanların sahaya nakliyesi, ekipmanların saha içinde yerleştirilmesi	1	-	Set	2000	2000
<i>Beklenmeyen giderler</i>	Mal kaybı, bozuk çıkma, bağlantı sırasında sıkıntı vb.	1	-	Set	10000	10000
TOPLAM						600690

HOMER programına eklenecek sistem sabit sermaye maliyeti Tablo 5.13.'ten 50050\$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Programda tasarlanan optimum senaryo sonucunda oluşan komponentler ve gerçek hayatta ona uyarlanabilecek komponentler ile ilgili bilgiler Tablo 5.14.'te gösterilmektedir. Tablo 5.14.'te de görüldüğü üzere gerçek hayatta uyarlanabilecek sistemde, optimum sisteme kıyasla lityum iyon batarya 100 Wh fazla, dönüştürücü 4400 W fazla kullanılmıştır. Bunların maliyete olan etkisi HOMER programında alınacak simülasyon sonucu sonrasında tartışılacaktır. Sistemde optimum senaryo tasarlanırken, komponentlerde adet değil güç olarak inceleme yapıldığından dolayı Tablo 5.14.'te güç bazlı gösterim yapılmıştır.

Tablo 5.14. Cihazlar ve güçleri

	Sistemdeki Cihazlar ve Güçleri	Gerçek Hayatta Uyarlanabilecek Cihazlar ve Güçleri
Güneş Paneli	57 kW	57 kW
Rüzgâr Türbini	60 kW	60 kW
Jeneratör	68 kW	68 kW
Batarya	561 kWh	560,9 kWh
Dönüştürücü	55,6 kW	60 kW

Gerçek hayata uyarlanabilecek cihazların belirlenen lokasyonda gösterimi SketchUp programından yararlanılarak çizilmiştir. SketchUp, mimarlar, mühendisler, endüstriyel tasarımcılar, mobilya tasarımcıları ve 3 boyutlu modellemeye ihtiyaç duyan bütün kullanıcılar için tasarlanmış bir 3D simülasyon yazılımıdır. Ara yüzü diğer çizim programlarına kıyasla dağınık olmayan, basit bir yapıya sahiptir [108].

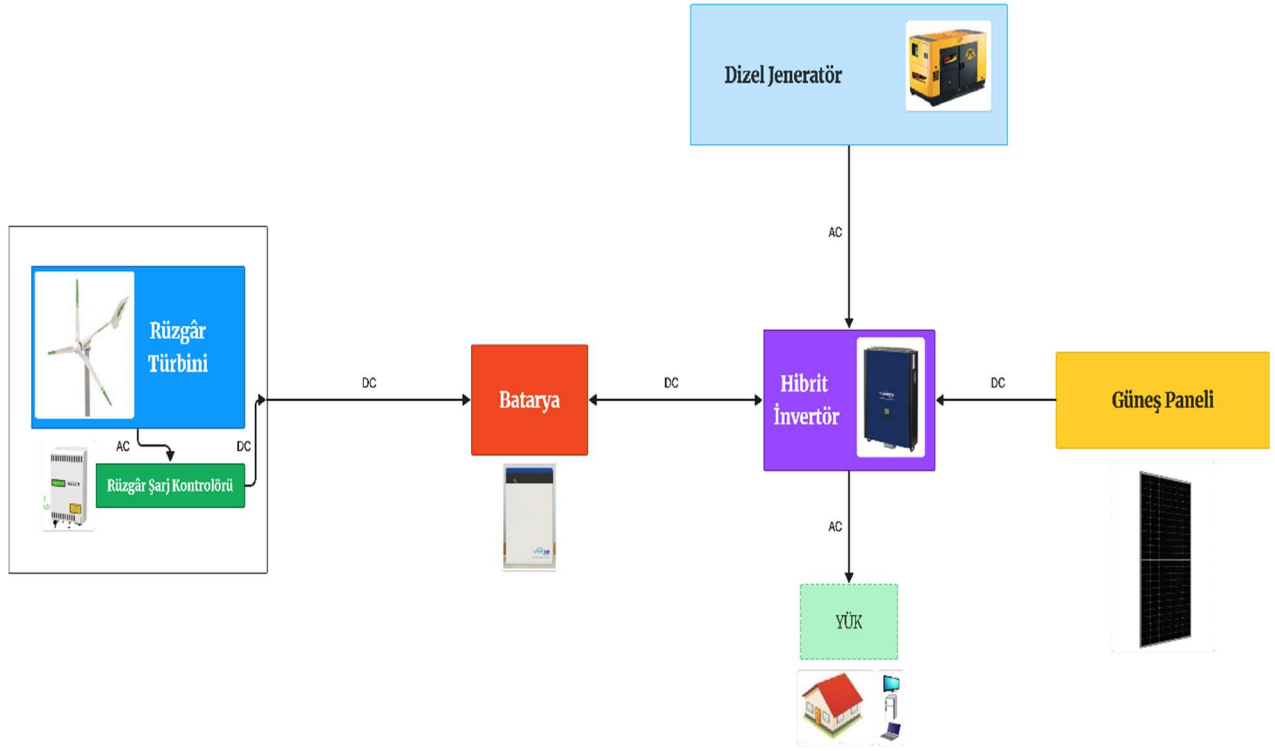
Belirlenen lokasyonumuz 4150 m² alana sahiptir. Tasarlanan modellerin kapladığı alan 3750 m²'ye sahiptir. Tasarlanan binalar 5'er kattan oluşmaktadır. Her katta 3 daire bulunmaktadır ve bu daireler 80 m² alana sahiptir. Belirlenen lokasyonda inşa edilecek olan binalara ve kurulacak sistem komponentlerine ait modelleme Şekil 5.21.'de gösterilmiştir. Güneş panellerinin, güney yönüne ve binadan dolayı gölgelenmeyecek şekilde çatılara monte edilmesi amaçlanmıştır.

Bundan dolayı binaların çatıları, güney cepheye doğru ve birbirlerini gölgelemeyecek şekilde tasarlanmıştır. Binaların çatılarında sandviç panel çatı kullanılacaktır. Çünkü çatı üzerinde güneş panelleri kullanımında genelde sandviç panel çatı tercih edilmektedir [109].



Şekil 5.21. SkecthUp programı ile mahalin görüntüsü

Modellenen sistemde kullanılacak ekipmanların bağlantı şeması Şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Rüzgâr türbini çıkış gücü alternatif akım ile sağlanırken, güneş paneli çıkış gücü doğru akım ile sağlanmaktadır. Rüzgâr türbini şarj kontrol cihazı, rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik akımını, kontrollü olarak aküye iletir. AC voltajı, belirli bir DC voltaj olarak regüle ederek, akımın ilgili yerlere iletilmesini sağlar. Güneş panellerinde akım ve gerilim her zaman sabit olarak üretilmez. Hibrit inverterin içerisinde bulunan MPPT cihazı, güneş panellerinden gelen akımı ve voltajı dengeleyerek akülerin fazla şarj veya yüksek voltajdan dolayı zarar görmesini engelleyen komponenttir. Temelinde bir DC-DC düzenleyicidir.



Şekil 5.22. Sistemde modellenen komponentlerin bağlantı şeması

Sistem simülasyon sonucu oluşan veriler Tablo 5.15.'te verilmiştir. Simülasyon sonucunda sistemin net bugünkü değeri 6,84M\$, birim enerji maliyeti 0,0224\$, operasyon maliyeti 11928\$, başlangıç maliyeti 600690\$, yenilenebilir fraksiyon oranı %70,7 ve yıllık toplam yakıt tüketimi 12802 litre olarak bulunmuştur.

Tablo 5.15. Gerçek hayata uyarlanan sistem simülasyon sonucu

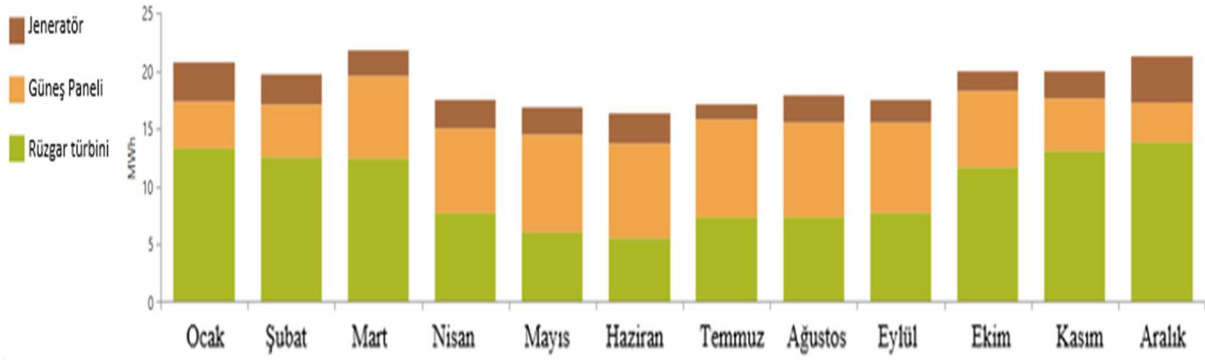
CWT570 Güneş Paneli (kW)	AB-10 Rüzgâr türbini	Jeneratör (kW)	Li-İon Batarya- 3,55kW	TLC (kW)	TTI- 10kW Hibrit İnvertör (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
57	6	68	158	100	60	PS	6,84M	0,0224	11928	600690	70,7	12802

Gerçek hayata uyarlanan sistemin emisyon değerleri Tablo 5.16.'da verilmiştir. Simülasyon sonunda çevreye yılda toplamda 33991,431 kg emisyon salınımı gerçekleştiği Tablo 5.16. incelendiğinde görülmektedir. Bu emisyon miktarının 33640 kg'ı karbon dioksit, 135 kg'ı karbon monoksit, 5,91 kg'ı yanmamış hidrokarbonlar, 0,821 kg'ı partikül maddesi, 82,7 kg'ı sülfür dioksit ve 127 kg'ı nitrojen dioksit olarak karşımıza çıkmaktadır. Emisyon değerleri incelendiğinde, emisyon miktarının %98,97'sinin karbon dioksit gazından kaynaklandığı görülmektedir.

Tablo 5.16. Gerçek hayata uyarlanan sistem simülasyon emisyon değerleri

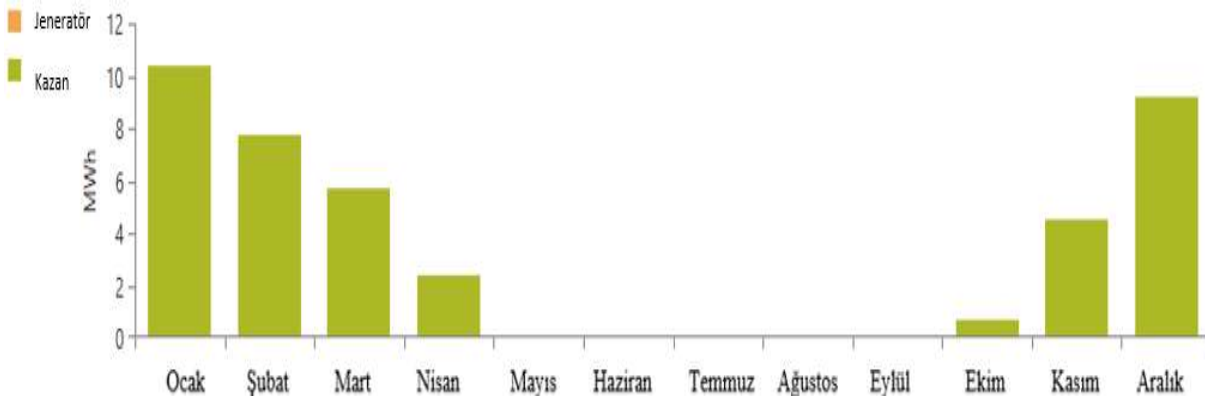
Nicelik	Değer	Birimler
Karbon Dioksit	33640	kg/yıl
Karbon Monoksit	135	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	5,91	kg/yıl
Partikül Maddesi	0,821	kg/yıl
Sülfür Dioksit	82,7	kg/yıl
Nitrojen Dioksit	127	kg/yıl

Kurguladığımız sistemde elektrik üretimi için güneş paneli, rüzgâr türbini ve jeneratörden faydalanılmıştır. Elektrik üretiminin yıllık bazda gösterimleri Şekil 5.23.'te verilmektedir. Sistemde yıllık 226362 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Bu elektrik üretiminin %52,5'i (118950 kWh/yıl) rüzgâr türbinleri tarafından karşılanmaktadır. Güneş panelleri tarafından %34,7'si (78526 kWh/yıl) ve geriye kalan %12,8 (28886 kWh/yıl) ise jeneratörler tarafından sağlanmaktadır.



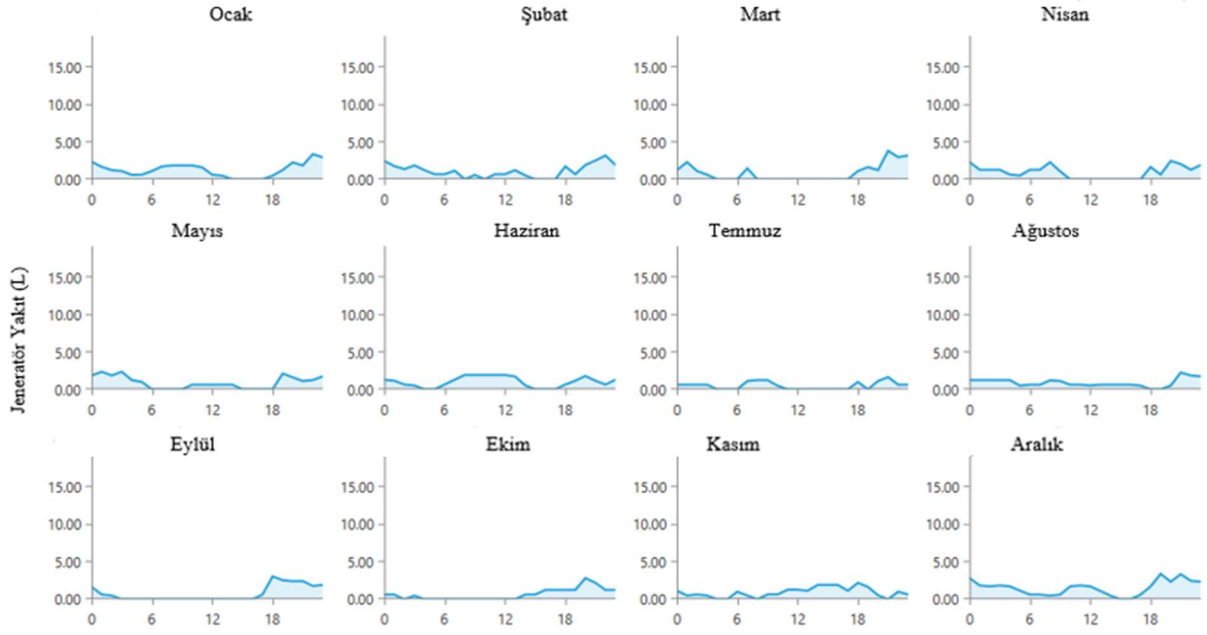
Şekil 5.23. Gerçek hayata uyarlanan senaryonun elektrik enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

Kurgulanan sistemde termal üretimi için kazan ve termal yük kontrolöründen faydalanılmıştır. Termal üretiminin yıllık bazda gösterimi Şekil 5.24.'te verilmektedir. Sistemde yıllık 62397 kWh termal enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu termal enerji üretiminin %65,2'si (40668 kWh/yıl) kazan tarafından karşılanmaktadır ve geriye kalan %34,8'ü (21729 kWh/yıl) ise termal yük kontrolörü tarafından sağlanmaktadır.

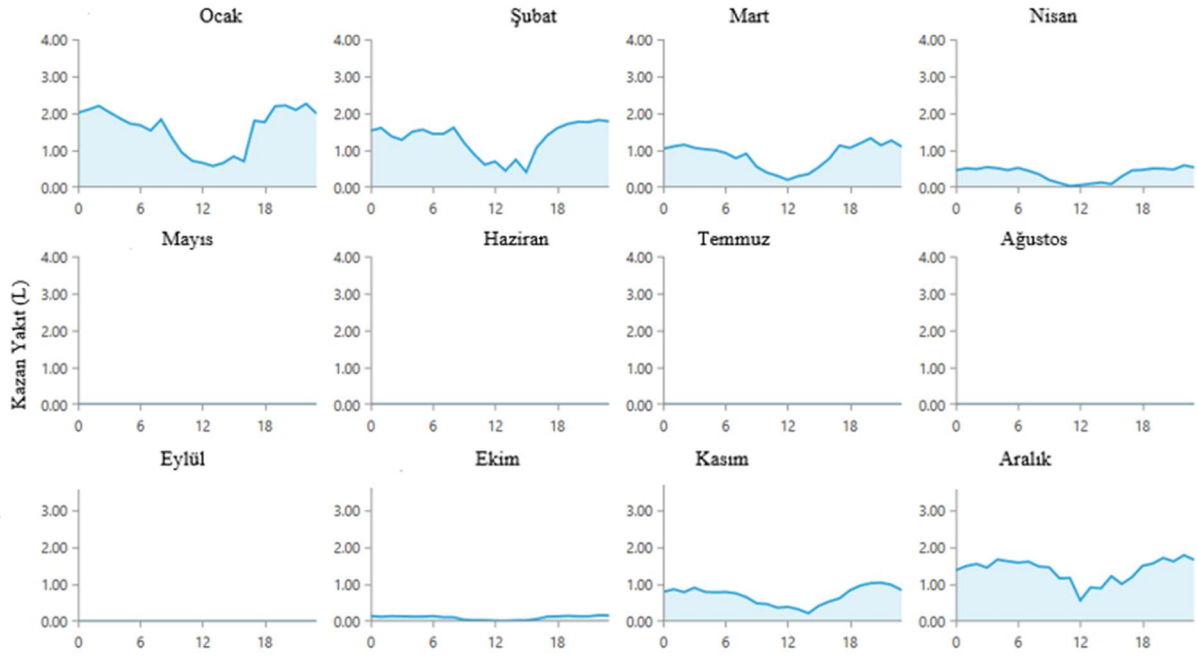


Şekil 5.24. Gerçek hayata uyarlanan senaryonun termal enerji üretiminin bileşenlerine ayrılmış hali

Sistemde tüketilen yakıt türü dizeldir ve bu yakıtı tüketen komponentler dizel jeneratör ile kazandır. Jeneratör ve kazanın aylara göre yakıt tüketimi Şekil 5.25. ve Şekil 5.26.'da gösterilmiştir. Sistemde Mayıs-Ekim ayları arasında termal enerji ihtiyacı olmadığı için termal enerji amacıyla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulmamıştır. Bundan dolayı kazan Mayıs-Ekim ayları arasında kullanılmamıştır. Yakıt tüketiminin büyük bir çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. Sistemde yılda 12802 L dizel yakıt tüketimi gerçekleştirilmiştir. Kurgulanan sisteminde yakıt tüketiminin yaklaşık %64,13'ü jeneratör %35,87'si kazan tarafından gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.25. Aylara göre jeneratör yakıt kullanım oranı (gerçek hayata uyarlanan sistem)



Şekil 5.26. Aylara göre kazan yakıt kullanım oranı (gerçek hayata uyarlanan sistem)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Marmara bölgesinde oluşturulması planlanan 60 haneli 240 kişilik dördüz binaların şebekeden bağımsız bir şekilde hem elektrik hem de termal yükünün karşılanması amacıyla; rüzgâr ve güneş enerjisinden meydana gelen, optimum hibrit sistem yapılandırmalarının sağlanması için, HOMER programı ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. HOMER programı kullanılarak yapılan modellemeler ile değerler elde edilmiş ve optimum sistem yapılandırması bulmaya çalışılırken, sistemin yük talebini şebeke yerine yenilenebilir enerji kaynakları ile karşıladığı simülasyonların sonucunun elde edilen değerleri sıralanarak kıyaslanmıştır. Her sistem simülasyonunun kendi içerisinde optimizasyon sürecine girilip, modellemedeki en optimum kombinasyon belirlenmiş, ardından ise ilk başta tasarlanan sistemle maliyet, emisyon değerleri, enerji bileşeni oranları ve yakıt kullanım oranları bakımından karşılaştırılmıştır. Gözden geçirilen ilk tasarımın, üç farklı düzenleme ile sistem simülasyonları gerçekleştirilmiş, optimum sistem yapılandırması bulunmaya çalışılmıştır. HOMER programında optimum sistem simülasyonunu bulmak için sisteme etkisi incelenen parametreler şunlardır; sistemde rüzgâr türbininin olmadığı durumlar, farklı gövde yüksekliği değerine sahip rüzgâr türbini ile farklı rüzgâr hızının olduğu durumlar, sistemde bataryanın olmadığı durumlar, farklı çalışma yük değerine sahip dizel jeneratörün olduğu durumlar, faiz ve enflasyonun farklı olduğu durumlar. Daha sonra, yapılan hesaplamalar doğrultusunda yeni bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, gerçek hayatta uygulanabilecek optimum sistem yapılandırılarak bu sistemin farklılıkları tartışılmıştır.

HOMER programında 7 değişik senaryonun simülasyonu değerlendirilmiştir. İlk değerlendirme ölçüsü olarak net şimdiki maliyet ele alınmıştır. 7 değişik senaryoda da modellenen sistemler kazan ısı yükü yüklendiği için ek olarak başka enerji kaynaklarından termal ihtiyacı tazmin etmek için elektrik kullanımına ihtiyaç kalmamıştır. Senaryo 1, senaryo 3, senaryo 5, senaryo 6 ve senaryo 7’de rüzgâr türbini, güneş paneli, dizel jeneratör, batarya, dönüştürücü, kazan ve termal yük kontrolörü kullanılırken, diğer sistemlerden farklı olarak senaryo 2’de rüzgâr türbini, senaryo 4’te ise hem rüzgâr türbini hem batarya hariç diğer cihazlar kullanılmıştır.

Homer programı ile yapılan optimizasyon neticesinde, şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistemdeki senaryo 1’de termal yük ihtiyacı için kazanın devrede olduğu, termal yük kontrolörü ile fazla elektriğin termal yük barasına aktarımını sağlayan, elektrik enerjisi ihtiyacı için rüzgâr türbini ve fotovoltaik panel ile dizel jeneratörün bulunduğu, alternatif akım ile doğru akım

arasındaki dönüşümü sağlayan invertörü içinde barındıran sistem konfigürasyonunda optimum sistem; 40 kW'lık güce sahip rüzgâr türbini, 82,8 kW güce sahip fotovoltaik panel, 68 kW güce sahip dizel jeneratör, 540 kWh'lık batarya depolama sistemi ve 63,9 kW'lık dönüştürücüden oluşan sistem olmuştur. Bu durumda sistemin net bugünkü maliyeti 12,2 M\$, birim enerji maliyeti 0,0807 \$, işletim maliyeti 22370 \$/yıl ve yatırım maliyeti 482572 \$ bulunmuştur ve sistemin geri ödeme süresi 25 yıl olarak elde edilmiştir.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda birinci parametre olan rüzgâr türbininin sisteme olan etkisini incelemek için bir simülasyon daha gerçekleştirilmiştir. Homer programı ile yapılan optimizasyon sonucunda, şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistem, senaryo 2 olarak adlandırılmıştır. Senaryo 2'de termal yük ihtiyacı için kazanın devrede olduğu, termal yük kontrolörü ile fazla elektriğin termal yük barasına aktarımını sağlayan, elektrik enerjisi ihtiyacı fotovoltaik panel ile dizel jeneratörün bulunduğu, alternatif akım ile doğru akım arasındaki dönüşümü sağlayan invertörü içinde barındıran sistem konfigürasyonunda optimum sistem; 131 kW güce sahip fotovoltaik panel, 68 kW güce sahip dizel jeneratör, 699 kWh'lık batarya depolama sistemi ve 85,4 kW'lık dönüştürücüden oluşan sistem olmuştur. Bu durumda sistemin net bugünkü maliyeti 15,2 M\$, birim enerji maliyeti 0,114 \$, işletim maliyeti 28091 \$/yıl ve kurulum maliyeti 508215 \$ bulunmuştur ve sistemin geri ödeme süresi 25 yıl olarak elde edilmiştir. Rüzgâr türbininin çıkarılması neticesinde sistemde net bugünkü maliyet 3 M\$, birim enerji maliyeti 0,0333 \$ ve işletim maliyetinde 5721 \$/yıl ve kurulum maliyetinde 25643 \$'lık artış yaşanırken, yenilenebilir fraksiyonda %0,6 azalarak %62,7'ye gerilemiştir. Yenilenebilir enerji faktöründeki azalış ile birlikte elektrik tüketiminde dizel jeneratörün kullanımı artmış, bunun neticesinde de yıllık dizel yakıtı tüketim miktarı 338 litre artarak emisyon miktarında artış yaşanmıştır. Burada kurulacak sistem konutlar için düşünüldüğünden, maliyet ve emisyon miktarı olarak Senaryo 2'nin doğru bir senaryo olmadığı görülmüştür.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda ikinci parametre olan rüzgâr türbini gövde yüksekliğinin 24 metreden 40 metreye yükseltilmesinin ve ortalama rüzgâr hızının 5,0 m/s'ye yükseltilmesinin sisteme olan etkisini incelemek için bir simülasyon daha gerçekleştirilmiştir. Homer programı ile yapılan optimizasyon sonucunda, şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistem, senaryo 3 olarak adlandırılmıştır. Senaryo 3'te termal yük ihtiyacı için kazanın devrede olduğu, termal yük kontrolörü ile fazla elektriğin termal yük barasına aktarımını sağlayan, elektrik enerjisi ihtiyacı için rüzgâr türbini ve fotovoltaik panel ile dizel jeneratörün bulunduğu, alternatif akım ile doğru akım arasındaki dönüşümü sağlayan invertörü içinde barındıran sistem konfigürasyonunda optimum sistem; 60 kW'lık güce sahip rüzgâr

türbini, 57,0 kW güce sahip fotovoltaiik panel, 68 kW güce sahip dizel jeneratör, 545 kWh'lık batarya depolama sistemi ve 79,6 kW'lık dönüştürücüden oluşan sistem olmuştur. Bu durumda sistemin net bugünkü maliyeti 9,92 M\$, birim enerji maliyeti 0,0560 \$, işletim maliyeti 17995 \$/yıl ve kurulum maliyeti 513003 \$ bulunmuştur ve sistemin geri ödeme süresi 25 yıl olarak elde edilmiştir. Rüzgâr türbini gövde yüksekliğinin 24 metreden 40 metreye yükselmesiyle sistemde net bugünkü maliyet 2,28 M\$, birim enerji maliyeti 0,0247 \$ ve işletim maliyetinde 4375 \$/yıl azalma gerçekleşirken, kurulum maliyetinde 30431 \$'lık artış yaşanmıştır. Rüzgâr türbini kullanımı ile yenilenebilir enerji faktörü de 0,029 oranında artarak %66,2'ye yükselmiştir. Yenilenebilir enerji faktöründeki artış ile birlikte elektrik tüketiminde dizel jeneratörün kullanımı azalmış, bunun neticesinde de yıllık dizel yakıtı tüketim miktarı 1655 litre azalarak emisyon miktarında düşüşün yaşanmasını sağlamıştır. Burada kurulacak sistem konutlar için düşünüldüğünden, maliyet ve emisyon miktarı olarak Senaryo 3'ün doğru bir senaryo olabileceği görülmüştür.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda üçüncü parametre olan bataryanın kullanılmadığı senaryo 4'te ise net bugünkü değeri 54,9 M\$'a kadar yükselmiştir. Geri ödeme süresi önceki senaryoda olduğu gibi 25 yıl olan bu sistemin, birim enerji maliyeti de 0,547 \$'a yükselmiştir. 160408 \$ kurulum maliyetiyle, ilk sisteme kıyasla %66,76 daha az başlangıç maliyetine sahiptir. Bunun sebebi, ilk kurulum ücreti yüksek olan bataryanın olmaması olarak düşünülebilir. Lakin buna rağmen, yıllık 104738 \$ işletim maliyetiyle, diğer sistemin neredeyse 5 katı olmasından dolayı maliyet konusunda doğru bir tercih olarak görülmemektedir. Senaryo 3'teki sistemde yenilenebilir enerji faktörü ise %10'un altına düşmüştür. Fosil yakıt olarak sistemde kullanılan dizel yakıtın %500'ün üzerinde artmasıyla da emisyon miktarlarında %300'ün üzerinde artış yaşanmış, bu da sistemin çevreciliğini olumsuz etkilemiştir. Burada kurulacak sistem konutlar için düşünüldüğünden, maliyet ve emisyon miktarı olarak Senaryo 4'ün doğru bir senaryo olmadığı görülmüştür.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda dördüncü parametre olarak dizel jeneratörün çalışma yükünün %25'ten %75'e yükseltilmesinin sisteme olan etkisini incelemek için bir simülasyon daha gerçekleştirilmiştir. HOMER programı ile yapılan optimizasyon sonucunda, şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistem, senaryo 5 olarak adlandırılmıştır. Senaryo 5'te termal yük talebi için kazanın sistemde yer aldığı, termal yük kontrolörü ile fazla elektriğin termal yük barasına aktarımını sağlayan, elektrik enerjisi ihtiyacı için rüzgâr türbini ve fotovoltaiik panel ile dizel jeneratörün bulunduğu, alternatif akım ile doğru akım arasındaki dönüşümü sağlayan invertörü içinde barındıran sistem konfigürasyonunda optimum sistem; 60

kW'lık güce sahip rüzgâr türbini, 57,0 kW güce sahip fotovoltaiik panel, 68 kW güce sahip dizel jeneratör, 561 kWh'lık batarya depolama sistemi ve 55,6 kW'lık dönüştürücüden oluşan sistem olmuştur. Bu durumda sistemin net bugünkü maliyeti 8,47 M\$, birim enerji maliyeti 0,0402 \$, işletim maliyeti 15224 \$/yıl ve kurulum maliyeti 514079 \$ bulunmuştur ve sistemin geri ödeme süresi 25 yıl olarak elde edilmiştir. Senaryo 5'in senaryo 1'den sistem modellemesi ve konfigürasyonu bakımından hiçbir fark yoktur. Sadece parametre olarak farklılıklar vardır ve bu farklar; rüzgâr türbini gövde yüksekliğinin 24 metre yerine 40 metre tercih edilmesi ve dizel jeneratörün devreye girme yükünün %25 değil %75 olmasıdır. Bu iki parametrenin devreye girmesiyle oluşan optimum sistemle birlikte; net bugünkü maliyette 3,73 M\$ (%30,57), birim enerji maliyeti 0,0405 \$ (%50,2) ve işletim maliyetinde 4375 \$/yıl (%31,94) azalma gerçekleşirken, kurulum maliyetinde 31507 \$'lık (%6,53) artış yaşanmıştır (Tablo 6.1.).

Tablo 6.1. Simülasyon sonuçları (senaryo 1 ve senaryo 5)

PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör (kW)	1 kWh Batarya	TLC (kW)	Dönüştürücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
82,8	4	68	540	100	63,9	LF	12,2M	0,0807	22370	482572	63,3	17342
57	6	68	561	100	55,6	LF	8,47M	0,0402	15224	514079	65,2	14146

Senaryo 5 göz önüne alındığında, her hanenin yaklaşık 141200 \$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacının karşılanabileceği görülmektedir. Belirlediğimiz lokasyonda kurulacak sistem için bütün senaryoların simülasyon sonuçları çıkartılmış, yapılan değerlendirmeler kapsamında maliyet ve emisyon miktarı olarak Senaryo 5'in diğer sistemlere kıyasla daha doğru bir senaryo olacağı görülmüştür.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda beşinci parametre olan faiz ve enflasyonun sisteme olan etkisinin incelendiği senaryo 6'da ise net bugünkü değeri 2,17 M\$'a kadar gerilemiştir. Sistemin net bugünkü değeri bu düşüş ile birlikte %74,38 oranında azalmıştır. Geri ödeme süresi önceki senaryoda olduğu gibi 25 yıl olan bu sistemin, birim enerji maliyeti de 0,261 \$'a yükselmiştir. 42051 \$ operasyon maliyetiyle, ilk sisteme kıyasla %176,2 daha fazla operasyon maliyetine sahiptir. Yapılan değerlendirmeler kapsamında, faiz ve enflasyon değerinin sistem maliyeti için önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

HOMER programında tasarladığımız sistem simülasyonunda en uygun senaryo olarak karşımıza çıkan Senaryo 5'in, gerçek hayatta uygulanabilirliğini incelemek için bir simülasyon daha gerçekleştirilmiştir. Şebekeden bağımsız olarak tasarlanan sistem, gerçek hayatta

alınabilecek komponentlerden seçilmiştir. Senaryoda termal yük talebi için kazanın sistemde yer aldığı, termal yük kontrolörü ile fazla elektriğin termal yük barasına aktarımını sağlayan, elektrik enerjisi ihtiyacı için rüzgâr türbini ve fotovoltaik panel ile dizel jeneratörün bulunduğu, alternatif akım ile doğru akım arasındaki dönüşümü sağlayan hibrit invertörü içinde barındıran sistem konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bu sistem; 10 kW güce sahip 6 adet rüzgâr türbini, 570 W güce sahip 100 adet fotovoltaik panel, 68 kW güce sahip dizel jeneratör, 3,55 kWh'lık 158 adet batarya depolama sistemi, 10 kW güce sahip 6 adet hibrit invertör ve rüzgâr türbini şarj kontrol cihazından meydana gelmiştir. Belirlenen lokasyonda, alana uygun olarak binaların ve rüzgâr türbinlerinin kurulumunun yanı sıra güneş panellerinin çatılara yerleştirilmesi SkechUp programından yararlanılmıştır. Sistemin belirlenen lokasyonda kurulum için belirlenen alan 4150 m² iken, sistemin kaplayacağı alan 3750 m² olarak tasarlanmıştır. Sistem tasarımında her çatıya 25 adet güneş paneli yerleştirilirken, panellerden yüksek verim almak amacıyla binalar güney cepheye göre planlanmıştır. Yine binalarda kullanılan çatı tipi olarak, güneş panelinin çatı kurulumunda en çok tercih edilen çatı tipi olan sandviç tip çatı kullanmıştır. Her binada 15 daire bulunmaktadır ve her bina 5 katlıdır (kat başına da 3 daire). Daire başına 80 m² düşmesi planlanmıştır. Cihazların HOMER programına yüklenmesinin ardından gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda, sistemin net bugünkü maliyeti 6,84 M\$, birim enerji maliyeti 0,0224 \$, işletim maliyeti 11928 \$/yıl ve kurulum maliyeti 600690 \$ bulunmuştur ve sistemin geri ödeme süresi 25 yıl olarak elde edilmiştir. Sistemin Senaryo 5'teki sistem modellemesi ve konfigürasyonu bakımından hiçbir fark yoktur. Sisteme kıyasla sadece dönüştürücü 4400 W fazla güçte tercih edilmiştir. Bu farkın devreye girmesiyle birlikte; kurulum (başlangıç) maliyetinde 86611 \$'lık (%16,85) ve yenilenebilir fraksiyonda %5,5'lik artış yaşanırken, net bugünkü maliyette 1,63 M\$ (%19,24), birim enerji maliyetinde 0,0178 \$ (%44,23), operasyon maliyetinde 3996 \$/yıl (%21,65) ve yıllık toplam yakıt tüketiminde 1344 litre (%9,50) azalma yaşanmıştır (Tablo 6.2.). Burada hem seçilen komponentlerin teknik özellik olarak optimum sistemdeki komponentten farklılıkları, maliyetlerindeki farklılıkların hem de dizel yakıtın daha az tüketilmesinin etkisiyle sistemin maliyetinde yaşanan azalmada etkili olmuştur.

Tablo 6.2. Simülasyon sonuçları (Gerçek hayata uyarlanan senaryo ve senaryo 5)

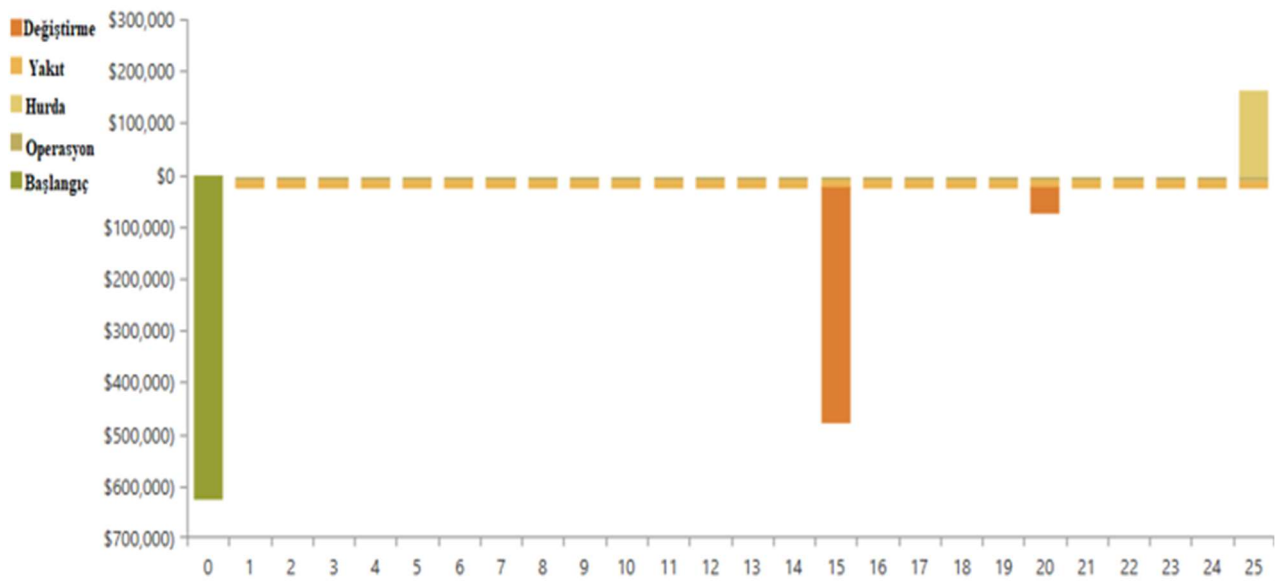
PV (kW)	Rüzgâr Türbini	Jeneratör (kW)	Batarya (kWh)	TLC (kW)	Dönüştürücü (kW)	Sevk Etmek	Net Bugünkü Değer (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)	Operasyon Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)	Toplam Yakıt Tüketimi (L/yıl)
57	6	68	158	100	60	PS	6,84M	0,0224	11928	600690	70,7	12802
57	6	68	561	100	55,6	LF	8,47M	0,0402	15224	514079	65,2	14146

Gerçek hayata uyarlanan sistemin, emisyon değeri olarak senaryo 5’te ortaya çıkan değerden 3446,2 kg/yıl daha az emisyon salınımı gerçekleştirdiği ortaya çıkmıştır (Tablo 6.3.).

Tablo 6.3. Emisyon değerleri karşılaştırması

Nicelik	Gerçek hayata uyarlanan sistem simülasyon emisyon değerleri	Senaryo 5 simülasyon emisyon değerleri
Karbon Dioksit	33754 kg/yıl	37208 kg/yıl
Karbon Monoksit	136 kg/yıl	128 kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	5,95 kg/yıl	5,60 kg/yıl
Partikül Maddesi	0,826 kg/yıl	0,777 kg/yıl
Sülfür Dioksit	83 kg/yıl	91,6 kg/yıl
Nitrojen Dioksit	128 kg/yıl	120 kg/yıl

Gerçek hayata uyarlanan sistemin nakit akış diyagramı Şekil 6.1.’de verilmiştir. Şekil 6.1. incelendiğinde, nakit çıktısının büyük bölümünün kurulumda harcandığı, sonraki yıllar eşdeğer şekilde giderlerin oluştuğu, lakin 15. ve 20. yıllarda bazı komponentlerin yenilenme ücretlerinin gidere eklenmesiyle o iki yılda ekstra fiyat artışı yaşandığı ve 25.yılda cihazların hurdaya verilmesi ile gelir kaynağı sağlanarak nakit akış diyagramında pozitif etki gözlemlenmiştir.



Şekil 6.1. Gerçek hayata uyarlanan sistemin nakit akış diyagramı

Gerçek hayata uyarlanan sistemdeki komponentlerin maliyet tablosu ise Tablo 6.4.'te verilmiştir. Tablo 6.4.'ten de görüleceği üzere kurulacak sistemde 14,04 M\$'lık bir hurda geliri sağlanırken, başlangıçta (kurulum) 0,60 M\$, değiştirmede (cihaz yenileme) 7,68 M\$, operasyon ve bakım maliyetinde 3,9 M\$ ve yakıtta 8,7 M\$ değerinde harcama gerçekleştirilmiştir. Bu gelir gider dengesi sonucu sistemin net bugünkü maliyeti 6,84 M\$ olarak bulunmuştur. Tasarlanan bu sistemde 25 yılın sonundaki gelir gider dengesinde; batarya, dönüştürücü ve termal yük kontrolörü sisteme maddi getiri sağlayacakken, diğer cihazlar gider oluşturacaktır. Burada en büyük giderin dizel jeneratörden kaynaklandığı görülmektedir. Nitekim kurulum ve işletim ile bakım maliyeti en yüksek cihaz batarya iken, yenileme maliyeti ve hurda değeri en yüksek cihaz rüzgâr türbinidir.

Tablo 6.4. Gerçek hayata uyarlanan sistemin komponentlerin maliyet tabloları

Elemanlar	Başlangıç (\$)	Değiştirme (\$)	Operasyon ve Bakım (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
Jeneratör	13260	0	163536,51	5576974,4 3	(618714,37)	5135056,57
Rüzgâr Türbini	30000	1062584,7 7	1568444,80	0	(1944175,37)	716854,21
Li-İyon Batarya	426600	5480456,7 3	1652095,19	0	(9343047,84)	(1783895,92)
Kazan	0	0	0	3120862,1 9	0	3120862,19
Güneş Paneli	31500	0	522814,93	0	0	554314,93
Dönüştürü cü	29280	425111,47	0	0	(843340,07)	(388948,60)
Termal Yük Kontrolörü	20000	708389,85	0	0	(1296116,91)	(567727,06)
Diğer	50050	0	0	0	0	50050
Sistem	600690,00	7676542,8 2	3906891,43	8697836,6 1	(14045394,55)	6836566,32

Belirlediğimiz lokasyonda kurulacak sistem için bütün senaryoların simülasyon sonuçları çıkartılmış, yapılan değerlendirmeler kapsamında maliyet ve emisyon miktarı olarak Senaryo

5'in diğ er sistemlere kıyasla daha doğru bir senaryo olacağı görülmüştür. Senaryo 5 gerçek hayata uyarlanarak yeni bir sistem kurulması sonucu, her hanenin yaklaşık 114000 \$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık hem elektrik hem de ısıtma ihtiya ının karşılanabileceği görülmektedir. Bu da hane ba ı aylık ortalama 380 \$'a gelmektedir. Teknolojik gelişmelerle yenilenebilir enerji cihazlarının maliyetlerinin azalması, fosil kaynakların kullanımına bağlı ücret artışıyla yakın gelecekte hibrit enerji sistemlerinden üretilen enerjinin birim masrafının geleneksek yöntemle üretilen enerjiden daha az maliyetli olacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak elektrik tüketimdeki oranının yükselmesinin, fosil kaynaklara olan talebin azalması konusunda en etkili yöntem olduğu ve bu kaynakların meydana getirdiği çevresel ve ekonomik zorlukların düşürülmesinde etkin bir rol oynayacağı fikri gün geçtikçe artmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Çukurçayır, M. A., Sağır, H., “Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları,” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, sayı 20, s. 257-278, 2008.
- [2] Erişim tarihi: 09.08.2023, <http://www.kuresel-isinma.org/>
- [3] Yılmaz, U., “Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [4] G. Martinopoulos, G. Tsalikis, “Diffusion and adoption of solar energy conversion systems – The case of Greece”, *Energy*, 144, 800–807, 2008.
- [5] Uçar, S., ve Kokulu, N., “Antalya bölgesinde yeni tasarlanacak binalarda güneş panellerinin kullanım potansiyelinin incelenmesi”, 4. *Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi*, 6-8 Aralık 2018, sayfa 377-386.
- [6] Keskin, E., “Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarımı ve maliyet analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye, 2012
- [7] Yılmaz, M., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54, 2012.
- [8] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü Raporu, 1-83, 2017.
- [9] Kayabaşı, R., ve Kaya, M., “Fotovoltaik modüllerin atık ısılarından termoelektrik jeneratör ile elektrik üretimi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 310-324, 2019.
- [10] Oral, M., “Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: case of Karabük province”, *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503, 2020.
- [11] BP, Statistical review of world energy 2019. <https://www.bp.com/content/>, Accessed 10 March 2021.
- [12] IEA, Key world energy statistics 2019. <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2019>, Accessed 10 April 2021.
- [13] Çelik, A. Ç., ve Koç, F., “Polikristal tür bir fotovoltaik panelin I-V karakteristiğinin analitik modellenmesi ve deneysel doğrulanması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 2491-2515, 2020.
- [14] Erişim tarihi: 14.08.2023, www.enerji.gov.tr
- [15] Erişim tarihi: 18.08.2023, http://www.norwin.dk/Building_integration.htm
- [16] Erişim tarihi: 03.09.2023, <http://www.inhabitat.com/>
- [17] Baran, B., “Güneş- rüzgâr hibrit sistemlerin maliyet optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2012.
- [18] Rogers, A. L., Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Ellis, A. F., “Design requirements for medium-sized wind turbines for remote and hybrid power systems”, *Renewable energy*, 26(2), 157-168, 2002.
- [19] Öztürk, Z., Tosun, S., & Öztürk, A., “Örnek bir hibrit yenilebilir enerji sisteminin HOMER ile modellenmesi, ekonomik ve teknik yönden analizleri”, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 286-299, 2019.
- [20] Yılmaz, G., Şahin, M., Akyazı, Ö., & Öztürk, B., “Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Homer ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği”, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 1090-1106., 2023.
- [21] Mamur, H., Yakar, M. C., & Zerafet, A., “Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi” *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(1), 51-58, 2019.
- [22] Adalı, S. Ve Kılıç, M. Y., “Evsel elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemleriyle karşılanması: Bursa örneği” *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 520-526, 2021.

- [23] Kılıç, M. Y., Ve Adalı, S., "Bir Apartmanın Yenilenebilir Enerji Sistem Maliyetinin HOMER Pro Kullanılarak Belirlenmesi", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 13-20, 2022.
- [24] Altın, M. T. C., "Şebekeden Bağımsız Küçük Ölçekli Köylerin Enerji İhtiyacını Karşılamaya Yönelik Optimize Edilmiş Hibrit Yenilenebilir Enerji Kaynağı Sistemi Tasarımı", *İlk Bildiriler Konferansı (İBK)*, 2021.
- [25] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. Ve Uğurlu, İ., "Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi", *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86-114, 2018.
- [26] Koç, E., ve Şenel, M. C. "Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme", *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 639, s. 532-44, 2013.
- [27] Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., ve Tandiroğlu, A., "Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogas Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat ", *Energy*, 111p., 923-932, 2016.
- [28] Yagli, H., Koc, A., Karakus, C., & Koc, Y., "Comparison of Toluene and Cyclohexane as a Working Fluid of an Organic Rankine Cycle Used for Reheat Furnace Waste Heat Recovery," *International Journal of Exergy*, vol. 19, no. 3, p. 420-438, 2016.
- [29] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2017 Strateji Geliştirme Başkanlığı ile Bağlı, "Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü," www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html, son erişim tarihi 19.03.2018.
- [30] Karagöl, T., E., Kavaz, İ., "Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji," *SETA, Analiz Dergisi*, cilt 4, sayı 197, s. 5-32, 2017.
- [31] Kayıkcı, B. "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, Kocaeli, 2020.
- [32] Erişim tarihi: 12.09.2023, <http://www.yegm.gov.tr/>
- [33] Scarborough P., Appleby P., Mizdrak A., Briggs A., Travis R., Bradbury K., Key T., "Dietary Greenhouse Gas Emissions of Meat-eaters, Fish-eaters, Vegetarians and Vegans in the UK", *Climatic Change*, 125(2), 179-192, 2014.
- [34] Bayraç, N. H., & Doğan, E. "Türkiye’de iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine etkileri", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, cilt 11, s.1-23, 2016.
- [35] Erişim tarihi: 03.09.2023, www.tskb.com.tr
- [36] Patel, Mukund R., "Wind and solar power systems", *Boca Raton CRC Press*, 1999
- [37] Erişim tarihi: 10.09.2023, <http://www.eie.gov.tr/>
- [38] Bahtiyar, B. "Fotovoltaik Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla, 2006.
- [39] http://www1.eere.energy.gov/solar/pv_systems.html
- [40] Tutaşı, C.C., "Güneş enerjisinden ısı ve elektrik eldesinin tekno-ekonomik simülasyonu: Örnek bir uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara, 2018.
- [41] Kahraman, M. Ü, "Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2018.
- [42] Şahan, M., Tokat, Ö., & Okur, Y., "Osmaniye’de Günlük Toplam Güneş Işınım Ölçümleri", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi*, 10 (2), 97-105, 2015.
- [43] Erkoç, R., "Güneş enerji santrallerinin modellenmesi, ekonomik analizi ve değerlendirme: Almanya ve Türkiye uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu, 2019.
- [44] Erişim tarihi: 25.09.2023, <https://tr.wikipedia.org>

- [45] Erişim tarihi: 27.09.2023, www.gnssolar.com
- [46] Erişim tarihi: 28.09.2023, gepa.enerji.gov.tr
- [47] Aronin, J. E., "Climate & architecture", *Progressive architecture book*, 43-46, 1953.
- [48] Mutlu, M. E., & Akdoğan, B., "Rüzgâr Enerji Santrallerinde Rotor Kanatları İçin Malzeme Tasarımı", Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- [49] Erişim tarihi: 07.10.2023, <http://www.windpower.org/>
- [50] R. Gasch, R., Twele, J., "Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation", *Solarpraxis AG*, 2002.
- [51] Camerlynck, J., "Modelling of Renewable Energy Systems in the Maldives", Master's Thesis, Utrecht University, The Netherlands, 2004.
- [52] Schubel, P. J., & Crossley, R. J., "Wind turbine blade design review", *Wind engineering*, 36(4), 365-388, 2012.
- [53] Nurbay, N., & Çınar, A., "Rüzgâr türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması", *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 2005, 19-21.
- [54] Güneş, İ., "Bir Rüzgâr Türbininin Modellenmesi, Simülasyonu ve Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2006.
- [55] B., Avcı, B., Yılmaz, T. B., Yöneten, P., & Ataş, D. D. C., "Rüzgâr Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi", Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2020.
- [56] Tangler, J., "The evolution of rotor and blade design (No. NREL/CP-500-28410)", *National Renewable Energy Lab.(NREL)*, Golden, CO (United States), 2000.
- [57] Yerebakan, M., "Rüzgâr Enerjisi", *İTO Yayınları*, İstanbul, Ekim, 2001.
- [58] Ceylan, M., "Muğla Bölgesi'nde Mermer Endüstrisinin Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin, Matlab Paket Programı ile Rüzgâr Çiftliği Tasarım Çalışması", Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2006.
- [59] Erişim tarihi: 11.10.2023, <http://www.borusanmakina.com/BorusanGucSistemleri/Products/DieselGenerators.aspx>
- [60] Erişim tarihi: 17.10.2023, http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/dizel_motorlar/dizel_jenarator.htm
- [61] İlkılıç, C., Aydın, H., "Wind Power Potential and Usage in the Coastal Regions of Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 44, p. 78-86, 2015.
- [62] İlkilic, C., Aydın, H., Behçet, R., "The Current Status of Wind Energy in Turkey and in the World," *Energy Policy*, vol. 39, p. 961-967, 2011.
- [63] İlkılıç, C., "Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı," *Mühendis ve Makine Dergisi*, cilt 50, sayı 593, s. 26-32, 2009.
- [64] Aydın, İ., "Balıkesir'de Rüzgâr Enerjisi," *Eastern Geographical Review*, cilt 18, sayı 29, s. 29-50, 2013.
- [65] Koç, E., Şenel, M. C., "Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme", *Mühendis ve Makine Dergisi*, cilt 54, sayı 639, s. 32-44, 2013.
- [66] Çolak, İ., Demirtaş, M., "Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye'deki Gelişimi", *Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV) Bilim Dergisi*, cilt 1, sayı 2, s. 55-62, 2008.
- [67] Erişim tarihi: 21.10.2023, <http://www.iea.org.tr/>
- [68] Erişim tarihi: 27.10.2023, <http://www.vindenergi.dtu.dk/english/news/2017/11/mapping-the-worlds-wind-energy-potential?id=aa03a611-1b4c-44b0-b453-c4c2e6adf3b8>
- [69] Kumar Y., Ringenberg J., Deparu S. S., Devabhaktuni V.J., Lee J.W., Nikolaidis E., Andersen., Afjeh A., "Wind energy: Trends and enabling technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 209-224, 2016.
- [70] Erişim tarihi: 15.11.2023, <http://www.mgm.gov.tr/>
- [71] Erişim tarihi: 16.11.2023, <http://www.eigm.gov/>

- [72] Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E., *Wind Energy Handbook*, West Sussex, United Kingdom. Wiley, Second Edition, 2011.
- [73] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, Sussex, United Kingdom. Wiley, 2009.
- [74] Aydın, İ., ‘‘Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi’’, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18 (29), 29-50, 2014.
- [75] Yıldız, S. S., ‘‘Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi’’, *Geomatik*, 6(3), 198-206, 2021.
- [76] Bayraç, N. H., ve Doğan, E., ‘‘Türkiye’de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri’’, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İibf Dergisi*, 11(1), 23- 48, 2016.
- [77] Houghton, J. T., Filho, L. G. M., Griggs, D. J. and Maskell, K., ‘‘An Inroduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report’’, *IPCC Technical Paper*, pp 8-10, 1997.
- [78] Albritton, D. L., Cicerone, R. J., Barron, E. J., Dickinson, R. E., Fung, I. Y., Hansen, J. E and Karl, T. R., ‘‘Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions’’, *Committee on Science of Climate Change, National Academy Press*, pp9-14, 2001.
- [79] Gillenwater, M., Van Pelt, M. M. ve Peterson, K., ‘‘Greenhouse Gases And Global Warming Potential Values’’, *Exerpt From The Inventory of US Greenhouse Emissions And Sinks, US Environmental Protection Agency, USA*, pp 4-9, 2002.
- [80] Pekin, M. A., ‘‘Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [81] Muslu, Y., ‘‘Ekoloji ve Çevre Sorunları’’, pp 223, 255-260, *Aktif Yayınevi*, 2000.
- [82] Erişim tarihi: 09.12.2023, <https://earth.google.com/>
- [83] Dinçsoy, M. E., ‘‘Orta ölçekli bir otelin elektrik enerjisinin hibrit sistemler ile modellenmesi ve optimizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [84] Farret, F. A., & Simões, M. G., ‘‘Integration of alternative sources of energy (Vol. 504)’’, Piscataway, NJ, USA: *IEEE press*, 2006.
- [85] Yılmaz, U., ‘‘Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [86] Özkök, A., ‘‘Türkiye’nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler ile Karşılmasının Ekonomik Analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [87] Lambet, T., Gilman, P., & Lilienthal, P., ‘‘Micropower system modeling with HOMER’’, *Integration of Alternative Sources of Energy*, 379-418, 2006.
- [88] Bahramara, S., Moghaddam, M. P., & Haghighi, M.R., ‘‘Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review’’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 609-620, 2016.
- [89] Özcan, H., ‘‘Bir hibrit enerji sisteminin modellenmesi ve analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [90] Dursun, S., ‘‘Biyokütle-rüzgâr-güneş hibrit güç üretim sistemi kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesinin tekno-ekonomik açıdan değerlendirilmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, 2016
- [91] Demiroren, A., & Yılmaz, U., ‘‘Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökçeada, Turkey: An island example.’’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 323-333, 2010.
- [92] Sayfa, A. And Bilgiler, F., Türkiye’de Hane Başına Düşen Ortalama Elektrik Tüketimi Ne Kadar ?. [Online] Gazelektrik. Available At: <https://Gazelektrik.Com/Faydali-Bilgiler/Elektrik-Tuketimi> [Accessed 11 Feb. 2020], 2020.
- [93] Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T., ‘‘Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının

- Karşılanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri'', *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485, 2020.
- [94] Eser, C., Öner, F., Başoğlu, O., Bilir, L., Özcan, N. Y., & Özcan, H. G., ''Urla-İzmir'de Bulunan Müstakil Bir Ev İçin Bütünleşik Hibrit Sistem Analizi'', *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 27-40, 2017.
- [95] Avcı, A., ''Doğal gaz, güneş ve rüzgâr hibrit enerji üretiminin teknoekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmesi: Ege bölgesi için örnek uygulama'', Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2022
- [96] Kılıç, M. Y., & Adalı, S., ''Elektrik İhtiyacının Karşılanmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği'', *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 224-235, 2022.
- [97] M. S. Thakur, B. Gupta, V. Kumar, M. Pandey, ''Renewable Hybrid Energy System for Sustainable and Economical Power Supply'', *A Review. International Journal of Engineering Research, Technology*, 1(6), 1-9, 2012
- [98] Erişim tarihi: 03.01.2024, <https://www.tcmb.gov.tr/>
- [99] Erişim tarihi: 03.01.2024, <https://www.petrolofisi.com.tr/>
- [100] Güven, A. F., & Hatipoğlu, C., ''Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması'', *EMO Bilimsel Dergi*, 12(1), 53-65, 2022.
- [101] Lau, K. Y., Yousof, M. F. M., Arshad, S. N. M., Anwari, M., & AHM, Y., ''Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions'', *Energy*, 35(8), 3245-3255, 2010.
- [102] Güven, A. F., & Mertcan, M., ''Balıkesir İli Erdek İlçesi İçin Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi'', *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1063-1076, 2021.
- [103] Erişim tarihi: 13.02.2024, <https://data.tuik.gov.tr/>
- [104] Chen, Y., Wang, R., Ming, M., Cheng, S., Bao, Y., Zhang, W., Zhang, D., ''Constraint Multi-Objective Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System Considering Load Characteristics. Complex & Intelligent Systems'', 8: 803-817, 2021.
- [105] Ghenai, C., Salameh, T., Merabet, A., ''Technico-Economic Analysis of off Grid Solar PV/Fuel Cell Energy System for Residential Community in Desert Region. International Journal of Hydrogen Energy'', 45(20): 11460–11470, 2020.
- [106] Ahmadi, S., Abdi, S., ''Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Battery System. Solar Energy'', 134: 366–374, 2016.
- [107] Roslan, M.F., Hannan, M.A., Ker, P.J., Begum, R.A., Indra Mahlia, T.M., Dong, Z.Y., ''Scheduling Controller for Microgrids Energy Management System Using Optimization Algorithm in Achieving Cost Saving and Emission Reduction. Applied Energy'', 292: 1-16, 2021.
- [108] Erişim tarihi: 15.04.2024, <https://www.sketchup.com/>
- [109] Tunçez, H. O. ''Çatı üstü güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen faktörlerin belirlenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 2020.

EK-A CW Enerji 570Wp 144TNB M10 TOPCon güneş paneli teknik özellikleri

CW Enerji®

CWT GÜNEŞ PANELİ

CW ENERJİ

BIFACIAL TOPCON MONOKRİSTAL • 144TNB10

Half Cut

Yüksek Dönüşüm Verimliliği

Yüksek Panel Verimliliği Sayesinde, Yüksek Güç Çıkarımı Garanti Eder.

Kendi Kendini Temizleyen ve Yansımayı Azaltan Cam

Cam Üzerindeki Özel Kaplama Yüzeyi Tozunu Azaltır.

Düşük Işığında Yüksek Verimlilik

Sabah ve Bulutlu Hava Koşullarında Dahı Yüksek Panel Verimliliği

Mükemmel Dayanım Kapasitesi

2400 Pa Rüzgar Yüklü, 5400 Pa Kar Yüklüne Karşı Dayanım

0 ~ +5W Pozitif Güç Toleransı

Kolay Kurulum

168B
n-Type

Azaltık katman: kirlenmeyi

Çoğaltık katman: güçü

Düşük direnç katlı ve yüksek Voc

30 Yıl Performans Garantisi

12 Yıl Ürün Garantisi

CWT560-144TNB10 560 Wp

CWT565-144TNB10 565 Wp

CWT570-144TNB10 570 Wp

CWT575-144TNB10 575 Wp

CWT580-144TNB10 580 Wp

30
YIL
PERFORMANS
GARANTİLİ

SOMPO SİGORTA

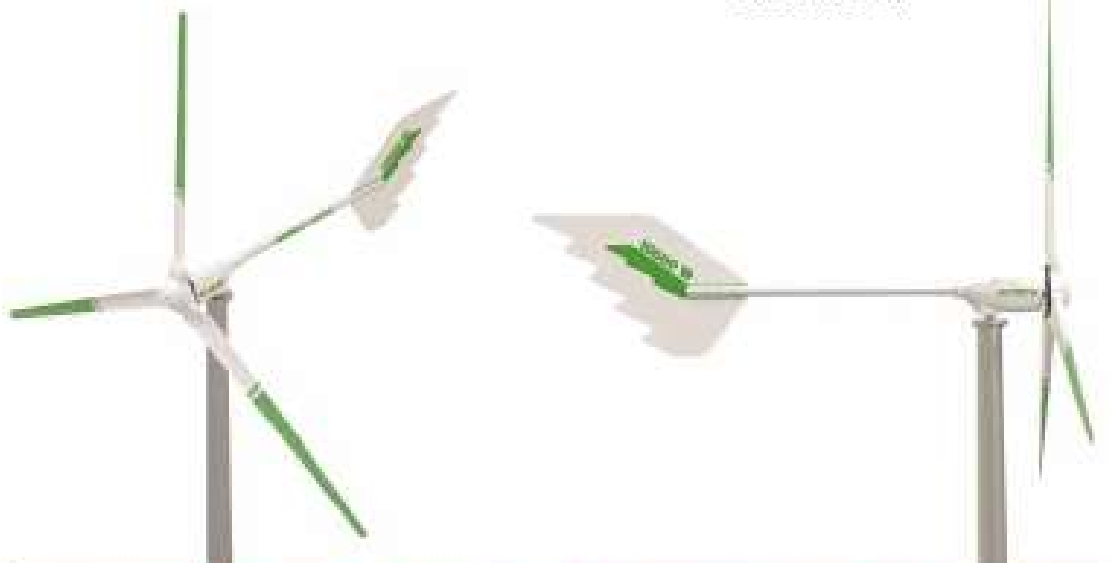
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018

www.cw-enerji.com

EK-B Altech turbine Altech Boreas 10000 - 10 kW yatay rüzgâr türbini teknik özellikleri



BOREAS 10000 TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Anma Gücü (Rated Power)	10000W (10kW)
Maksimum Çıkış Gücü (Maximum Output Power)	11000W (11kW)
Çıkış Voltajı (Output Voltage)	48V - On Grid
Kanat Sayısı ve Kanat Malzemesi (Blade Quantity & Blade Material)	3 Adet Ultra Sesiz Fiber Glass Kanat (3 Pcs Ultra Silent Glass Fiber Blades)
Türbin Gövde Malzemesi (Body Material)	İstisnai Özel Alüminyum Alaşımı (Tempered Aluminum Special Alloy)
Rotor Çapı (Rotor Blade Diameter)	4.64 m (15.23 Ft)
Başlangıç Rüzgâr Hızı (Start-up Wind Speed)	2.5 m/s (5.59 mph)
Anma Rüzgâr Hızı (Rated Wind Speed)	15 m/s (33.55 mph)
Maksimum Rüzgâr Hızı (Survival Wind Speed)	50 m/s (112.34 mph)
Alternatör Tipi (Generator Type)	Üç Fazlı PM Alternatör (Three Phase Permanent Magnetic Generator)
Alternatör Verimliliği (Generator Efficiency)	>0.95
Türbin Toplam Ağırlığı (Turbine Total Weight)	108 kg (238.1 lbs)
Design Ömrü (Design Lifetime)	20 Yıl (20 Years)
Garanti Süresi (Warranty)	Standard 2 Yıl (Standard 2 Years)
Çalışma Aralığı (Temperature Range)	-30°C to +50°C
DN ve Test Standartları (DN and Test Standards)	DN IEC 61400-2:2014 - DN 60204-1:2016 DN ISO 12100:2010 - DN IEC 61000-6-1:2019 DN IEC 61000-6-2:2019



✉ info@altechturbine.com
🌐 www.altechturbine.com

EK-C Kama Jeneratör Kama By Reis KDE100SS3 Dizel Kabinli Sessiz Jeneratör



KDE100 SS3 DİZEL

Maksimum Çıkış Gücü	85kVA
Sürekli Çıkış Gücü	80kVA
Faz Sayısı	3 (Trifaze)
Motor	KM6105ZG
Motor Gücü	76kW (101.9 Hp)
Motor Tipi	6 silindirli Turbo şarj 4zamanlı
Çalıştırma Şekli	Marşlı sistem
Yakıt Tipi	Euro dizel
Yakıt Depo Kapasitesi	110 lt
Yakıt Tüketimi (g/kW.h)	280gr
Ses Seviyesi (dBA-7m)	51
Yağ Kapasitesi (litre)	18,5 lt
Yağ Tipi	Sae10w30-15w40
Boyutlar (UxGxY)[mm]	2700x1140x1500
Ağırlık (kg)	1680kg
Kabin Tipi	Kapalı kasa Sessiz
Devir	1500

EK-D Pylontech Force-H1 Lityum Akü 48 Volt 3,55 kWh lityum batarya teknik özellikleri

Ürün tipi	FH48074
Hücre Teknolojisi	Li Iyon (LFP)
Akü Modülü Kapasitesi (kWh)	3.552
Akü Modülü Voltajı (Vdc)	48
Akü Modülü Kapasitesi(Ah)	74
Akü Modülü Seri Hücre Miktarı (adet)	15
Akü Hücresi Voltajı (Vdc)	3.2
Akü Hücresi Kapasitesi (AH)	37
Boyut (W*D*H, mm)	600*380*170
Ağırlık (kg)	36
Operasyon Ömrü	15+Years
Çalışma Döngüsü Ömrü	5,000
Çalışma Sıcaklığı	0~50℃
Depolama sıcaklığı	-20~60℃
Transfer Sertifikası	UN38.3

EK-E Tommatech HV Plus 10 kW Hibrit Akıllı İnverter Çevirici

TOMMATECH HV PLUS SERİSİ HİBRİT AKILLI INVERTER



- Öz tüketim ve besleme seçeneği
- Programlanabilir güç kaynağı önceliği
- Farklı pil türleri için pil şarj modları
- Çoklu işlem modu
- Off/On-Grid İşlemler için zamanlayıcı
- Paralel fonksiyon 6 adet



MODEL	TT-PLUS10K/MPPT	3 Faz Giriş / 3 Faz Çıkış	TT-PLUS10K/MPPT
Faz			
Max. Güç (kW)	10000		10000
Max. Güç (kW) (AC)	10000		10000
ON-GRID ÇALIŞMA VERİLERİ			
PV GİRİŞİ (DC)			
Nominal DC Voltaj (V) / Maksimum DC Voltaj (V)		320 / 900	
Başlangıç Voltaj (V) / Başlangıç Kesilme Voltaj (V)		120 / 250	
MPPT Voltaj Aralığı (V)		400 - 800	
MPPT Sayısı / Maksimum Giriş Akımı (A)	2 / 2 x 55.6		2 / A: 17.65; B: 18.6
ÇIKIŞ (AC)			
Nominal Çıkış Voltaj (V)		230 (P-N) / 400 (P-P)	
Çıkış Voltaj Aralığı (V AC)	Faz Sayısı 184 - 265*		Faz Sayısı 184 - 264.5
Nominal Çıkış Akımı (A)	Faz Sayısı 14.5		Faz Sayısı 21.7
Çıkış Güç Faktörü		> 0.99	
VERİMLİLİK			
Maksimum Verimlilik (DC/AC) (%)		96	
Nominal Voltajda Verimlilik (%)		96	
OFF-GRID ÇALIŞMA VERİLERİ			
AC GİRİŞİ			
AC Başlangıç Voltaj (V AC) / On-Grid Fonksiyon Başlangıç Voltaj (V AC)		Faz Sayısı 120 - 140 / Faz Sayısı 180	
Kabul Edilebilir Voltaj Aralığı (V AC)		Faz Sayısı 170 - 280	
Maksimum AC Giriş Akımı (A)		40	
PV ÇIKIŞI (DC)			
Maksimum DC Voltaj (V)		900	
MPPT Çıkış Voltaj (V)	400 - 800		180 - 860
MPPT Sayısı / Maksimum Giriş Akımı (A)	2 / 2 x 55.6		2 / A: 17.65; B: 18.6
BATARYA MODU ÇIKIŞI (AC)			
Nominal Çıkış Voltaj (V AC)		230 (P-N) / 400 (P-P)	
Çıkış AC Dalga Şekli		Sel Sinüs Dalga	
Verimlilik (DC'den AC'ye) (%)		96	
İŞLEMLER ÇALIŞMA VERİLERİ			
PV GİRİŞİ (DC)			
Nominal DC Voltaj (V) / Maksimum DC Voltaj (V)		320 / 900	
Başlangıç Voltaj (V) / Başlangıç Kesilme Voltaj (V)		120 / 250	
MPPT Voltaj Aralığı (V)	400 - 800		180 - 860
MPPT Sayısı / Maksimum Giriş Akımı (A)	2 / 2 x 55.6		2 / A: 17.65; B: 18.6
ÇIKIŞ (AC)			
Nominal Çıkış Voltaj (V AC)		230 (P-N) / 400 (P-P)	
Çıkış Voltaj Aralığı (V AC)	Faz Sayısı 184 - 265 *		Faz Sayısı 184 - 264.5
Nominal Çıkış Akımı (A)	Faz Sayısı 14.5		Faz Sayısı 21.7
AC GİRİŞİ			
AC Başlangıç Voltaj (V AC) / On-Grid Fonksiyon Başlangıç Voltaj (V AC)		Faz Sayısı 120 - 140 / Faz Sayısı 180	
Kabul Edilebilir Voltaj Aralığı (V AC)		Faz Sayısı 170 - 280	
Maksimum AC Giriş Akımı (A)		40	
BATARYA MODU ÇIKIŞI (AC)			
Nominal Çıkış Voltaj (V AC)		230 (P-N) / 400 (P-P)	
Verimlilik (DC'den AC'ye) (%)		96	
BATARYA GÜÇLÜK KONTROLLERİ			
Nominal DC Voltaj (V)		48	
Maksimum Çıkış Akımı (A)	Varıştan 00.30 - 300 pA/paralel		Varıştan 00.30 - 300 pA/paralel
GENEL			
FİZİKSEL ÖLÇÜMLER			
Genlik x Genişlik x Yükseklik (mm)	1672 x 500 x 422		209 x 420 x 820
Net Ağırlık (kg)	40		61
ARMATÖRLENDİRME			
Şarj Portu	RS-232/USB		RS-232, USB ve Bluetooth
Akıl Kart Yuvası			
ÇEVRESEL BAĞLARI			
Çalışma Sıcaklığı (°C)		Opisyonel SHMS Modbus ve RS-485 bağlantılarıdır	
Rakım (m)		0 - 30 m / 0 pA/paralel	
		-55 - 55	
		0 - 1000 **	

*Yükseklik verileri örneğin rakımın ve diğer AC voltaj değerleri için geçerli değildir.

**Rakım 2000 metreden fazla olduğu durumlarda her 100 metrede 5.5 pA/paralel.

***Tommatech GmbH'den önceki rakımları önceden haber verilmeksizin değiştirme hakkına sahiptir.

Özellikler için lütfen teknik dokümanlara başvurunuz.

www.tommatech.de

Tommatech GmbH - Garching b. München / GERMANY

www.tommatech.de
mail@tommatech.de

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2015 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünden 2021 yılında mezun oldu. 2021 yılından beri Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaktadır. İş hayatına ısıtma sistemlerinin öncü firmalarından Fortes Mühendislik’te başlamış, ardından Akar Grup’ta çalıştıktan sonra şu anda Teknopalas Yüksek Teknoloji Sistemleri şirketinde Proje Yöneticisi olarak çalışmıştır. Şu anda Salute Sağlık A.Ş. firmasında IT Proje Yöneticisi olarak iş hayatına devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Balıkesir Edremit Bölgesinde Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistemle Bir Binanın Elektrik İhtiyacının Karşılanması (Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi – id: 1489199 / bildiri yapılmıştır, makale değerlendirme aşamasındadır)

DİĞER YAYIN VE ESERLER

ÜNVER, Ü., ADIGÜZEL, ‘E., ADIGÜZEL, E., Süleyman, Ç. İ. V. İ., & ROSHANAİ, K., Türkiye'deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları’, *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 171-187., 2020.