

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİNİN ELEKTRİK ENERJİ İHTİYACININ HİBRİD
SİSTEMLERLE MODELLENMESİ

ENGİN EREN KORKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MALATYA

ARALIK 2016

Tezin Başlığı: İnönü Üniversitesinin Elektrik Enerji İhtiyacının Hibrid Sistemle Modellenmesi

Tezi Hazırlayan: ENGİN EREN KORKMAZ

Sınav Tarihi: 23.12.2016

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Apdulmuttalip ŞAHİNASLAN
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet YILMAZ
İnönü Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Halit Lutfi YÜCEL
Fırat Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnönü Üniversitesinin Elektrik Enerji İhtiyacının Hibrid Sistemle Modellenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Engin Eren KORKMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİNİN ELEKTRİK ENERJİ İHTİYACININ HİBRİD SİSTEMLE MODELLENMESİ

Engin Eren KORKMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

116+xi sayfa

2016

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

Yenilenebilir enerji kaynakları dünya genelinde uzun yıllardır kullanılan temiz enerji kaynaklarıdır. Ülkemizde ise son yıllarda özellikle elektrik üretim amacıyla kullanılmaktadır. Her geçen gün fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere zehirli gazlar yayılmakta ve bu durum daha yaşanabilir bir dünyayı yok etmektedir. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları, insanlığa temiz ve sonsuz bir enerji kaynağından sınırsızca faydalanma imkânı sunmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, ülkemize ve dünyaya ait enerji üretim ve tüketim oranlarına değinilmiştir. Yazılımla modellenen ve uygulanabilir sistemlerle; ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini (2966 kWh/gün) optimum sayıda yenilenebilir enerji elemanları ile karşılamanın ve enerjiyi en uygun maliyetle üretmenin yolları araştırılmıştır. Bu nedenle Malatya ili İnönü Üniversitesi örnek olarak seçilmiş ve farklı enerji sistemi senaryolarına göre simülasyonlar HOMER yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız modellenmiştir. Tasarlanan sistemler tekil enerji sistemleri ve hibrit enerji sistemleri olmak üzere iki çeşittir. Bu farklı sistemlerin yıllık enerji üretim ve tüketim miktarları, birim enerji ve toplam net maliyetleri, işletme maliyetleri, yatırım maliyetleri ve atmosfere yayılan zehirli gaz miktarları incelenmiştir. Hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarına dizel jeneratör de eklenerek farklı sistemler tasarlanmış ve yakıttan elektrik üretimi ile sistem desteklenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada; şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin (güneş - rüzgâr) hepsinin birim enerji maliyetinin şebeke elektrik fiyatını aştığı, ilk yatırım ve toplam net maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca şebekeye bağımlı hibrit sistemler için (güneş enerjisi sistemi hariç) birim enerji maliyetinin şebeke elektrik fiyatından düşük olduğu belirlenmiştir. Şebekeye bağlı sistemler için maliyet değerleri kazanç anlamına gelen negatif işaretli olmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yenilenebilir Enerji, HOMER Programı, Enerji Simülasyonu, Maliyet Analizi

ABSTRACT

Master Thesis

THE MODELLING OF INONU UNIVERSITY ELECTRIC POWER DEMAND BY HYBRID SYSTEM

Engin Eren KORKMAZ

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

116+xi pages

2016

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

The renewable energy resources which are used for many years all around the World are clean energy resources. In recent years, these energy resources are harnessed on the purpose of electric generating in our country. Day by day, as a result of fossil fuels toxic gases are emitted into the atmosphere and this case exterminates more livable World. The renewable energy resources, especially wind and solar energy, have enabled to mankind limitlessly exploitation from clean and infinite energy resource.

In this thesis study, it is touched on energy generating and harnessing rates that belong to our country and the world. By the systems both modelable via software and applicable; it is investigated to find the ways to meet the electric demand (2966 kWh/day) with optimum renewable energy components and to generate cost-effective electric energy. For this reason, Malatya city-Inonu University has been sampled and the simulations considering different energy system scenarios have been carried out via HOMER program. All systems have been modelled both on-grid and off-grid. Designed systems are two kinds; isolated energy systems and hybrid energy systems. The amount of annual energy generating and consumption, cost of energy, net present cost, operating cost, capital cost and toxic gases amount emitted into atmosphere that belong to these sytems have been investigated. By adding diesel generator to hybrid renewable energy systems, different systems have been designed and tried to support with electric generating from fuel.

In the study, it has been observed that the cost of energy for all off-grid systems (solar - wind) surpasses grid price, capital cost and net present cost are quite high. Otherwise it has been determined that cost of energy for on-grid hybrid energy system (except solar system design) is lower than grid price. The cost values for on-grid hybrid energy system become negative sign meaning income.

KEYWORDS: Renewable Energy, HOMER Program, Energy Simulation, Cost Analysis

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana bilgilerini ve tecrübelerini aktararak yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN' a;

Tez çalışmam boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Muhittin KORKMAZ' a, annem Nazmiye KORKMAZ' a, eşim, beyaz gelinciğim Merve DEMİRCİ KORKMAZ' a ve arkadaşlarım Arş. Grv. Ahmet ERDOĞAN ve Arş. Grv. Ekrem TAÇGÜN' e teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan yüksek lisans tezine konu olan çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2015/76 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu destek sayesinde temin edilen yazılım ve ekipmanlarla tezimin hesaplamalarının yapılması gerçekleştirilebilmiştir. Bu birime katkı ve desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam	3
1.3 Literatür Taraması.....	3
2. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE ENERJİ GÖRÜNÜMÜ	8
2.1 Dünya Enerji Görünümü.....	8
2.1.1 Dünya Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	9
2.2 Türkiye Enerji Görünümü.....	11
2.2.1 Türkiye Elektrik Üretimi ve Kaynaklara Göre Dağılımı	13
2.3 Türkiye Yenilenebilir Enerji Potansiyeli	15
2.3.1 Türkiye Hidrolik Enerji Potansiyeli.....	17
2.3.2 Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli.....	18
2.3.3 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli	19
2.3.4 Türkiye’ de Enerji Yatırımları	21
2.4 Yenilenebilir Enerji Tasarımı ile İlgili Yazılımlar	23
2.4.1 HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)	23
2.4.2 RETScreen (Renewable Energy and Energy Efficient Technologies)	24
2.4.3 PVSyst	24
2.4.4 HOGA (Hybrid Optimization By Genetic Algorithms)	25
3. ENERJİ SİSTEMLERİ	26
3.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri	26
3.1.1 Fotovoltaik Hücreler ve Çalışma İlkesi	28
3.1.2 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri.....	31
3.1.2.1 Kristal Silisyum Hücre.....	31

3.1.2.2 İnce Film Hücreler	32
3.1.2.3 Tek ve Çok Eklemli Hücreler	33
3.2 Rüzgâr Enerji Sistemleri	34
3.2.1 Rüzgâr Türbinini Oluşturan Elemanlar.....	35
3.2.1.1 Kule.....	36
3.2.1.2 Nasel (Nacelle)	36
3.2.1.3 Kanat (Pervane)	37
3.2.1.4 Rotor	37
3.2.1.5 Dişli Kutusu	37
3.2.1.6 Mekanik Dişli Mili (Düşük ve Yüksek Hız Milleri).....	37
3.2.1.7 Elektrik Jeneratörü	37
3.2.1.8 Yön Saptırma (Yönelme) Sürücüsü	37
3.2.1.9 Yön Saptırma (Yönelme) Motoru	38
3.2.1.10 Eğim mekanizması.....	38
3.2.1.11 Anemometre ve yel bayrağı	38
3.2.1.12 Frenler	38
3.2.1.13 Hız kontrolörü ve kontrol sistemleri.....	38
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
4.1 Materyal	39
4.1.1 Malatya İli.....	39
4.1.2 İnönü Üniversitesi Yerleşkesi	40
4.1.3 HOMER Yazılımı	41
4.1.3.1 Simülasyon (Benzetim).....	42
4.1.3.2 Optimizasyon (İyileştirme)	43
4.1.3.3 Hassaslık (Duyarlılık) Analizi	45
4.1.3.4 Fiziksel Modelleme.....	46
4.1.3.5 Ekonomik Modelleme.....	47
4.2 Yöntem.....	49
4.2.1 HOMER Veri Tanımlama Yöntemi.....	49
4.3 Modellenen Kaynaklar.....	51
4.3.1 Güneş Enerjisi Kaynağı	52
4.3.2 Rüzgâr Enerjisi Kaynağı	53
4.3.3 Sıcaklık Kaynağı.....	56

4.4 Modellenen Elemanlar	57
4.4.1 Fotovoltaik Dizi	57
4.4.2 Rüzgâr Türbini	63
4.4.3 Batarya	65
4.4.4 İnverter (Eviriciler)	67
4.4.5 Elektrik şebekesi	67
4.4.6 Jeneratör	69
4.4.7 Kapasite Yetersizlik Oranı	70
4.4.8 Diğer Parametreler	71
5. İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ İÇİN SENARYOLAR	73
5.1 Şebekeden Bağımsız Enerji Sistemleri	73
5.1.1 Rüzgâr Enerjisi Sistemi	73
5.1.2 Güneş Enerjisi Sistemi	77
5.1.3 Hibrit Enerji Sistemi 1 (Rüzgâr+Güneş)	80
5.1.4 Hibrit Enerji Sistemi 2 (Rüzgâr+Güneş+Dizel jeneratör)	85
5.1.5 Hibrit Enerji Sistemi 3 (Rüzgâr+Güneş)	90
5.2 Şebekeye Bağımlı Enerji Sistemleri	91
5.2.1 Rüzgâr Enerjisi Sistemi	91
5.2.2 Güneş Enerjisi Sistemi	94
5.2.3 Hibrit Enerji Sistemi 1 (Rüzgâr + Güneş + Şebeke)	97
5.2.4 Hibrit Enerji Sistemi 2 (Rüzgâr + Güneş + Jeneratör + Şebeke)	101
5.2.5 Hibrit Enerji Sistemi 3 (Rüzgâr + Güneş + Şebeke)	105
5.3 Senaryolarla İlgili Sonuçlar	107
5.4 Alan Gereksinimi	108
5.4.1 Rüzgâr Türbinleri Alan Gereksinimi	108
5.4.2 PV Panel Alan Gereksinimi	108
5.4.3 Batarya Alan Gereksinimi	109
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	109
7. KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı	11
Şekil 2.2 2015 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü	14
Şekli 2.3 2015 Yılı Sonu Türkiye Elektrik Üretimi	15
Şekil 2.4 2002-2015 Yılları Arası Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi	19
Şekil 2.5 Güneşin dolaylı olarak etkilediği enerji kaynakları	20
Şekil 3.1 Şebeke bağlantılı fotovoltaiik sistem	27
Şekil 3.2 Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem	27
Şekil 3.3 Güneş Paneli Şematik Şekli	30
Şekil 3.4 Rüzgar Türbini Elemanları	36
Şekil 4.1 İnönü Üniversitesi yerleşkesi.....	41
Şekil 4.2 Fotovoltaiik panel, jeneratör ve bataryalara sahip bir sistem	45
Şekil 4.3 HOMER metodoloji adımları	49
Şekil 4.4 HOMER günlük yük profili.....	50
Şekil 4.5 HOMER yıllık yük profili	50
Şekil 4.6 HOMER yük profili.....	51
Şekil 4.7 Malatya global güneş radyasyonu	6252
Şekil 4.8 PV modül veri giriş ekranı.....	62
Şekil 4.9 Elde edilen PV modül tasarımı	62
Şekil 4.10 HOMER örnek güç eğrisi	63
Şekil 4.11 Elde edilen rüzgâr türbini güç eğrisi profili.....	64
Şekil 4.12 Elde edilen rüzgâr türbini tasarımı	65
Şekil 4.13 Batarya tasarımı.....	66
Şekil 4.14 HOMER emisyon değerleri	69
Şekil 4.15 Şebeke tasarım sayfası.....	69
Şekil 4.16 Jeneratör yakıt özellikleri ve tasarım ekranı.....	70
Şekil 5.1 Rüzgâr enerjisi sistem şematik gösterimi	73
Şekil 5.2 Rüzgâr enerjisi sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.....	74
Şekil 5.3 Aylık ortalama elektrik üretimi	75
Şekil 5.4 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları	75
Şekil 5.5 Batarya simülasyon sonuçları.....	76

Şekil 5.6 Güneş enerjisi sistemi şematik gösterimi	77
Şekil 5.7 Güneş enerjisi sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet	78
Şekil 5.8 Aylık ortalama elektrik üretimi	78
Şekil 5.9 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları	79
Şekil 5.10 Batarya simülasyon sonuçları	79
Şekil 5.11 Hibrit enerji sistemi 1 şematik gösterimi.....	81
Şekil 5.12 Hibrit enerji sistem 1 elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.....	82
Şekil 5.13 Aylık ortalama elektrik üretimi	82
Şekil 5.14 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları	83
Şekil 5.15 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları	83
Şekil 5.16 Batarya simülasyon sonuçları	84
Şekil 5.17 Hibrit enerji sistemi 2 şematik gösterimi.....	85
Şekil 5.18 Hibrit enerji sistem 2 elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet.....	86
Şekil 5.19 Aylık ortalama elektrik üretimi	86
Şekil 5.20 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları	87
Şekil 5.21 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları	87
Şekil 5.22 Dizel jeneratör güç çıkışı aylık ortalamaları.....	88
Şekil 5.23 Batarya simulasyon sonuçları	88
Şekil 5.24 Hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu.....	90
Şekil 5.25 Rüzgâr enerji sistemi şematik gösterimi.....	91
Şekil 5.26 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi	92
Şekil 5.27 Aylık ortalama elektrik üretimi	93
Şekil 5.28 Şebeke elektrik alım-satım değerleri	93
Şekil 5.29 Güneş enerjisi sistemi şematik gösterimi	94
Şekil 5.30 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi	95
Şekil 5.31 Aylık ortalama elektrik üretimi	96
Şekil 5.32 Şebeke elektrik alım-satım değerleri	96
Şekil 5.33 Batarya simülasyon sonuçları	97
Şekil 5.34 Hibrit enerji sistemi 1 şematik gösterimi.....	98
Şekil 5.35 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi	99
Şekil 5.36 Aylık ortalama elektrik üretimi	99
Şekil 5.37 Şebeke elektrik alım-satım değerleri	100
Şekil 5.38 Batarya benzetim sonuçları	100
Şekil 5.39 Hibrit enerji sistemi 2 şematik gösterimi.....	102

Şekil 5.40 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi	103
Şekil 5.41 Aylık ortalama elektrik üretimi	103
Şekil 5.42 Şebeke elektrik alım-satım değerleri	104
Şekil 5.43 Batarya benzetim sonuçları	104
Şekil 5.44 Hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu.....	106
Şekil 5.45 Rüzgar türbinleri yerleşimi.....	1068



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Dünyada birincil enerji talebinin ülkelere göre dağılımı	9
Çizelge 2.2.	Dünyada birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı.....	9
Çizelge 2.3.	Türkiye Birincil Enerji Kaynak Rezervleri	12
Çizelge 2.4.	Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynak Potansiyeli	16
Çizelge 4.1.	Ortalama güneş ışıınımı verileri.....	53
Çizelge 4.2.	Ortalama rüzgar hızı verileri.....	55
Çizelge 4.3.	Yüzey engebe değerleri.....	56
Çizelge 4.4.	Malatya ili aylık sıcaklık ortalamaları.....	56
Çizelge 4.5.	Powersolar 250 W _p özellikleri.....	60
Çizelge 4.6.	Enercon E33 model türbin teknik özellikleri	64
Çizelge 5.1.	Gaz emisyon değerleri	89
Çizelge 5.2.	Senaryo sonuçlarının toplu gösterimi	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

c	Işık hızı
$C_{yıl,top}$	Toplam yıllık maliyet
COE	Birim enerji maliyeti
CRF ()	Amortisman faktörü
E	Foton enerjisi
E_{AC}	Beslenen AC yük miktarı
E_{DC}	Beslenen DC yük miktarı
$E_{şeb, sat}$	Şebekeye satılan elektrik miktarı
f	Frekans ve yıllık enflasyon oranı
f_{PV}	Fotovoltaik dizi azalma faktörü
GEPA	Güneş enerjisi potansiyeli atlası
GES	Güneş enerjisi santrali
h	Planck sabiti
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
I_s	STK altında fotovoltaik dizi üzerine gelen global güneş ışıınımı
I_T	Fotovoltaik dizinin dış yüzeyine gelen global güneş ışıınımı
i	Reel faiz oranı
i'	Nominal faiz oranı
n	Bir yıl içindeki gün sayısı
NPC	Toplam net maliyet
NREL	Uluslararası yenilenebilir enerji laboratuvarı
OECD	Ekonomik kalkınma ve işbirliği örgütü
R_{proje}	Proje yaşam süresi
RES	Rüzgâr enerjisi santrali
t_s	Güneş saati
T_c	Fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığı
T_s	STK altında fotovoltaik dizi hücre sıcaklığı
TEP	Ton eşdeğer petrol
U_{anem}	Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı değeri
U_{hub}	Türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı değeri
Y_{pv}	Fotovoltaik dizinin nominal kapasitesi - STK altında çıkış gücü
Z_{anem}	Rüzgâr ölçme sisteminin yüksekliği
Z_{hub}	Rüzgâr türbini yerden yüksekliği
Z_0	Yüzey engebe yüksekliği
α_p	Güç sıcaklık katsayısı
λ	Dalga boyu
δ	Deklinasyon açısı
ω	Saat açısı

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji insanlık için üretimi zorunlu olan, bir ülkenin kalkınmasını, refah seviyesinin yükselmesini, ekonomik açıdan enerji pazarında güçlü olmasını sağlayan en önemli etkenlerden biridir. Gereksinimi yadsınamayacak kadar önemli olan enerji ihtiyacı, küreselleşen dünyaya eşdeğer olarak her geçen gün artmaktadır. Ulaşım, yakıt, aydınlatma, ısınma vb. gibi alanlarda insanoğlu için hayati önem taşıyan enerjinin sürdürülebilir olması bu açıdan önem arz etmektedir. Sürdürülebilirliğin yanı sıra petrol, kömür gibi fosil yakıtlara göre çevreye daha az zararı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı 20.yy’ da dünya devletlerinin ilgisini fazlasıyla çekmiştir. Dünya devletleri de enerji politikalarını alternatif enerji kaynaklarına göre belirlemeye başlamışlardır. Türkiye’ de bunlara ek olarak lisanlı ve lisanssız elektrik üretim talepleri incelenip, destek verilmek üzere değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş (PV ve termal) ile rüzgâr enerjisi başta olmak üzere biokütle(odun, katı atıklar, etanol vb.), jeotermal, hidrolik, gel-git gibi enerji kaynaklarıdır [1]. Bu kaynakların kullanımı günbegün artmasına rağmen, ülkemizin 2014 yılına ait birincil enerji tüketimi 123,9 Milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Ancak bu miktarın çoğu ithalat yoluyla karşılanmıştır. Ülkemiz bu tüketim değeri ile dünya ülkeleri sıralamasında 19. sıradadır ve tüketim değeri dünya toplamının yalnızca %1’ ini oluşturmaktadır [2]. 2013 yılında birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynakları dünyada % 2,2’ lik, Türkiye’ de ise % 2’ lik bir paya sahip olmuştur. Her geçen gün gelişen teknoloji ve yatırımlarla 2014 yılı verilerine bakıldığında ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artarak birincil enerji talebi kaynakları içerisindeki kullanımı %6,7’ ye yükselmiştir [3, 4]. Yine de bu oranlar yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer fosil yakıtlarla kıyaslandığında dünyada halen etkin bir enerji kaynakları olamadığını göstermektedir. Bu değerler göz önüne alındığında enerji konusunda ülkemizin dışa bağımlı olduğu açıkça görülmektedir.

Fosil yakıtlar atmosfere fazlaca sera gazı yayan ve küresel ısınmanın artmasında önemli rol oynayan yakıt türleridir. Bu yakıt kaynaklarının giderek tükenmesi ve daha yaşanabilir bir hayat gereksinimi doğada sürekli var olan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin en önemli etmenlerindendir. Temiz enerji kaynağı olan

yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakmak anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr hızı, güneş radyasyonu) potansiyelleri ve üretim tesisinde kullanılacak olan ekipmanların (rüzgâr türbinleri, güneş panelleri) verimi ne kadar yüksek olursa o oranda maksimum verim elde edilebilir.

1.1 Amaç

Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, atmosfere sera gazı salınımını yok denecek kadar azaltan sonsuz enerji kaynaklarıdır. Enerji alanında çalışmalarını yürüten birçok araştırmacının ilgi alanına giren temiz enerji kaynaklarından küçük ve büyük ölçekte enerji üretme faaliyetleri de son yıllarda hız kazanmaktadır. Ele alınan tez çalışmasında Malatya İnönü Üniversitesi iklim şartlarında üniversitenin harcadığı elektrik yükü dikkate alınmış, HOMER paket program kullanılarak seçilen bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek birçok farklı hibrid enerji senaryosu oluşturulmuş ve simülasyonlar gerçekleştirilerek maliyet analizleri yapılmıştır. HOMER Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş modellemeye göre en uygun hibrid sistem tasarım sonucunu veren ve maliyet analizi yapabilen bir simülasyon programıdır. Tez kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen çalışmalar şunlardır;

- HOMER hibrid sistem modelleri oluşturularak simülasyon sonucunda şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız farklı her bir sisteme ait birim enerji, ilk yatırım maliyeti, işletme-bakım maliyeti ve toplam net maliyet hesaplarının yapılması,
- Oluşturulan her bir hibrid enerji üretim modeli için ortalama rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu vb. değerler hanesine birden fazla değer girilerek olası veri değişikliklerine göre hassaslık analizlerinin gerçekleştirilmesi,
- Programda simülasyonu gerçekleştirilecek her bir eleman için programa girilen değer aralıklarına göre elektrik enerjisini karşılayabilecek optimum sayıda eleman adedinin belirlenmesi,

1.2 Kapsam

Yapılan tez çalışması; belirli bir elektrik yükün, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak optimum elemanlarla ve uygun maliyetle karşılanabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Seçilen yük İnönü Üniversitesinin aylık tükettiği elektrik yükün % 10' u kadardır. Tez çalışmasında şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız farklı birçok senaryo oluşturularak, karşılaştırmalar yapılacaktır. Karşılaştırılacak parametreler sırasıyla; birim enerji maliyeti (COE), toplam net maliyet (NPC), işletme maliyeti, yatırım maliyeti ve CO₂ salınım miktarıdır.

Yapılan çalışmanın ikinci bölümünde; dünyanın ve Türkiye'nin enerji durumundan, enerji yatırımları ile ilgili mevzuattan ve desteklerden ve yenilenebilir enerji kaynakları tasarımları için kullanılan enerji simülasyon programlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde; enerji sistemleri ve simülasyonda kullanılan elemanlar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde; simülasyon hesaplamaları için kullanılan HOMER yazılımı genel itibariyle açıklanmaya çalışılmış ve elektrik yükü, enerji kaynakları ile elemanlar modellenmiştir. Beşinci bölümde; farklı senaryolar adına simülasyon hesapları gerçekleştirilmiştir. Yıllık enerji üretimi, tüm enerji maliyetleri, sistemlerin birim enerji, toplam net, yatırım ve işletme maliyetleri ile CO₂ salınım miktarları hesap edilmiştir. Tezin son kısmında ise, sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Kalancı [5], Bozcaada için yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin uygunluğunu ve maliyetini incelemiştir. HOMER programı yardımıyla modellediği 6 farklı sistemi enerji üretimleri ve birim enerji fiyatı (COE) açısından karşılaştırmıştır. Modellenen 6 farklı senaryo içerisinde en ucuz elektriği üreten yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlı rüzgâr sistemi olduğunu belirlemiştir. Simülasyon sonucunda şebeke-rüzgâr yenilenebilir enerji sisteminin birim enerji fiyatı, şebeke elektriği fiyatının 0,17 \$/kWh olduğu durumda, 0,103 \$/kWh olarak belirlenmiştir. Uygulanabilecek ikinci senaryo olarak ise 0,112 \$/kWh birim enerji fiyatına sahip şebeke-PV-rüzgâr hibrid enerji sistemi önerilmiştir. Ayrıca fazla enerjinin desteklenmesi hususunda bataryalar yerine hidrojen depolama üzerine incelemeler yapılmış ve programda rüzgâr-yakıt hücresi modellenerek simülasyonu

gerçekleştirilmiştir. Diğer senaryolara göre bu sistemin ürettiği elektriğin birim enerji fiyatının 1,016 \$/kWh olarak hesaplanmıştır.

Engin [6], Bornova ilçesinde örnek olarak seçilen 10 evin elektrik ihtiyacını PV-rüzgâr hibrid enerji sistemi ile karşılamak amacıyla HOMER yazılımını kullanmıştır. Bu çalışmada Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü' ne ait meteorolojik verileri kullanmıştır. Simülasyon sonucunda 72 adet farklı çözüm ortaya çıkmış ve en düşük enerji maliyeti elde etmek amacıyla optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Modellenen hibrid sistem 6,4 kW güneş pili, 2 adet rüzgâr türbini, 240 adet batarya, 4 kW inverter ve 4 kW doğrultucudan meydana gelmiştir. Hibrid sistemin yatırım maliyetinin 48.052 \$, yıllık bakım ve işletme maliyetinin 207 \$/yıl ve üretilen enerjinin birim maliyetinin 0,851 \$/kWh olduğu belirtilmiştir. Üretilen bu enerjinin birim maliyetinin, şebeke elektriği birim enerji maliyetine göre 8 kat daha pahalıya mal olduğu belirlenmiştir.

Baek vd. [7], Güney Kore' nin en büyük metropollerinden biri olan Busan kentinde HOMER programı kullanarak optimum yenilenebilir enerji üretim konfigürasyonlarını araştırmışlardır. Önerilen en uygun yenilenebilir enerji üretim sistemi; 258 adet rüzgâr türbini (Generic 10 kW), 4130 kW kapasiteli güneş panelleri, 1482 kW kapasiteye sahip konvertör, 5525 adet bataryadan oluşan konfigürasyondur. Modellenen sistem şebekeden bağımsızdır. Sistemin birim enerji maliyeti ile toplam net maliyeti sırasıyla 0,399 \$/kWh ve 26.095.438 \$ olarak hesaplanmıştır.

Prasetyaningsari vd. [8], HOMER programı ile Sleman Krallığı' nda bulunan bir balık havuzu için güneş enerjili havalandırma sistemi tasarlamışlardır. Hibrid sistemle karşılanması düşünülen elektrik yükünü havalandırma sistemi, iç ve dış aydınlatma verileri toplamını alarak programa aktarmışlardır. Modelledikleri sistemle günlük 2 kWh kapasiteli yükü, hibrid enerji sistemi ile elde etmeye çalışmışlardır. Optimizasyon neticesinde uygulanabilecek en makul hibrid enerji sisteminin 1 kW PV panel, 200 Ah değerinde 8 adet batarya, 0,2 kW invertörden oluştuğunu belirtmişlerdir. Hibrid enerji sisteminin ilk yatırım maliyeti ile birim enerji maliyeti sırasıyla 4960 \$ ve 0,769 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu modellemede rüzgâr türbinleri kullanılmamıştır.

Park ve Kwon [9], Güney Kore’ de bulunan Kyung-Hee üniversitesi kampüsünde yenilenebilir elektrik üretim sistemi tasarlayarak, optimizasyon çözümleri yapmışlardır. Tasarımlarını 5’ i şebekeye bağlı ve 5’ i şebekeden bağımsız toplam 10 tane farklı senaryolar üzerine modellemişlerdir. Önerilen 10 farklı sistem modellemesine ait birim enerji maliyetlerinin (COE), sistemin şebekeye bağlı olduğu durumda 0,509 \$ ile 0,515 \$, sistemin şebekeden bağımsız olduğu durumda ise 0,525 \$ ile 0,531 \$ arasında hesaplanmıştır. Her iki modellemeye de en uygun hibrid enerji sistemi, PV-dizel jeneratör olarak belirlenmiştir. Ancak dizel jeneratör genellikle yenilenebilir enerji kaynağı olarak düşünülmediğinden, PV-rüzgâr ve bataryadan oluşan üçlü sistemin kurulabilecek optimum hibrid enerji sistemi olabileceği öngörülmüştür.

Akyüz vd. [10], ticari bir tavuk çiftliğinin tükettiği enerjiyi karşılayabilecek şebekeden bağımsız hibrid yenilenebilir enerji sistemi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu çalışmalarında HOMER programından yararlanarak 4 farklı sistem modellemişler ve maliyet analizleri başta olmak üzere üretilen elektrik sonucu ortaya çıkan emisyon miktarlarını hesaplamışlardır. Sera gazının tavuk çiftliklerinde azaltılmasında hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin önemli bir rolü olduğu belirtilmiştir.

Engin ve Çolak [11], sadece güvenlik aydınlatması amacıyla güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sistemi boyutlandırmışlardır. Boyutlandırma sonucunda tüketilen enerjinin birim maliyetini 0,89 \$/kWh olarak hesaplamışlardır. Aydınlatma için enerji tasarruflu PL lambalar kullanmışlardır. Yapılan çalışmada ulusal elektrik şebekesinin olduğu bölgelerde bu sistemin kullanılmasının uygun olmayacağı belirtilmiştir.

Gokcol ve Dursun [12], Kırklareli üniversitesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten sistemlerin ekonomik ve çevresel analizler gerçekleştirmişlerdir. Birçok araştırmacı gibi bu çalışmalarında HOMER’ den faydalanmışlardır. Klasik modellemelerin dışında programa yenilenebilir penetrasyon oranı olarak 7 farklı yüzdelik değer atanmış ve hassaslık analizi yapılmıştır. Minimum yenilenebilir penetrasyon oranı 0 ile %70 arasında değişirken toplam net maliyet ve birim enerji maliyetinin yavaş bir şekilde arttığı, penetrasyon oranı %70’ in üzerine çıktığında ise her iki maliyet tablosunda ani artış olduğu tablo ile gösterilmiştir. CO₂, SO₂ ve NO_x emisyon oranlarının yenilenebilir penetrasyon oranı ile ters orantılı olduğu belirtilmiştir.

Ramos ve Ramos [13], Portekiz’ de güneş ile rüzgâr enerjili şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız bir su pompalama sistemi için araştırma yapmışlardır. Şebeke bağlantılı sistemin ilkinde su türbini kullanarak ikincisinde ise su türbini olmadan iki farklı analiz gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon işlemleri için EPANET ve HOMER yazılımlarını kullanmışlardır. Çalışmada test edilen 3 farklı sistemde de en fazla elektrik üretimini rüzgâr türbinlerinin gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Şebekeye bağlı sistemde su türbini kullanmadan pompanın günde 18 saat çalıştığı ve enerji vergisi yüksek olduğunda kullanımının makul olmadığı belirlenmiştir. Sisteme su türbini eklendiğinde ise pompanın sadece gece boyunca çalıştığı ifade edilmiştir. Her iki durumda da optimum sistemin güneş panellerinden oluşmadığı belirtilmiştir.

Sekuçoğlu [14], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında PVsyst ve HOMER yazılımlarını kullanarak fotovoltaiik sistem, rüzgâr enerji sistemleri ve hibrid sistemlerden elektrik enerjisi üretimini şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak araştırmış, sistem tasarımlarını ve ekonomik analizleri gerçekleştirmiştir. Tasarım bölgeleri olarak, Belen, Kırklareli, Karaman, Konya, Gelibolu ve Sinop’ u seçmiştir. Sistem maliyetleri ve birim enerji maliyetlerini yıllık 1500 kWh, 2500 kWh ve 3500 kWh değerinde üç farklı yük için incelemiş ve karşılaştırmalı analiz gerçekleştirmiştir.

Olatomiwa vd. [15], Nijerya’ da bulunan jeopolitik öneme sahip kırsal bölgedeki altı sağlık kliniğinin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji sistemleri ile karşılamaya çalışmışlar ve tüm bölgeler için maliyet analizleri yaparak en uygun hibrid yenilenebilir enerji modelini irdelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında 18-39 yıllık meteorolojik verileri kullanmışlardır. Seçilen bölgeler için modellenen sistemlerin tümü şebekeden bağımsız olarak düşünülmüştür. Çeşitli sistem konfigürasyonlarını ve maliyet analizini içeren karşılaştırmalı bir tablo çalışmada gösterilmiştir. Yine optimum sistemlere ait emisyon değerleri tablo halinde verilmiştir. Hibrid sistemlerin dayanıklılığının güneş, rüzgâr ve dizel enerji üretim kaynaklarının beraber kullanımı ile arttığı belirlenmiştir.

Özcan [16], yaptığı yüksek lisans tezinde modelleyeceği şebeke bağlantılı örnek hibrid enerji sistemi olarak Gebze’ de bulunan bir fabrikayı seçmiştir. Modelleme programı olarak birçok araştırmacının çalışmasında yararlandığı HOMER simülasyon programını kullanmıştır. Güneş, rüzgâr başta olmak üzere programın modellemede ihtiyaç duyduğu birçok bileşene ait yatırım, yenileme ve bakım maliyetleri belirlenerek detaylı maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir.

Demirören ve Yılmaz [17], yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak Türkiye' nin en büyük adalarından biri olan Gökçeada' nın elektrik enerjisi maliyetindeki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada Gökçeada elektrik tüketimi programa 46 MWh/gün olarak girilmiştir. Tasarımlarda GE 1.5sl rüzgâr türbini kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda rüzgâr enerji sistemlerinin enerji maliyetinin düşük olduğu görülmüş ve 17 \$Cents olarak hesaplanmıştır. Elektrik satışlarıyla birlikte elektriğin birim enerji maliyetinin 2 \$Cents olacağı ve sistemin toplam net maliyetinin önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür. Yapılan çalışmaya göre rüzgâr türbinlerinin kurulumu için yaklaşık 384.000 m² alana ihtiyaç duyulacağı ve Gökçeada' nın yeterli alana sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda yüksek PV modül ve batarya maliyetlerinden dolayı PV sistemlerin henüz ekonomik olmadığı sonucuna varılmıştır.

Aktacir vd. [1] Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi' nde elektrtik şebekesinden bağımsız elektrik enerjisi elde etmek amacıyla rüzgâr-güneş enerjili hibrid güç sistemi kurmuşlardır. Sistemde kullanılan 800 W gücündeki rüzgâr jeneratöründe 48 V' luk AC elektrik enerjisi üretilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan fotovoltaik paneller ise 4 adet monokristal hücreden oluşan 60W/12 V' luk panellerdir ve seri bağlanarak 48 V DC elektrik enerjisi üretilmiştir.

2. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

2.1 Dünya Enerji Görünümü

Gelir ve nüfus artışına eş değer olarak dünyada petrol, doğalgaz, kömür, nükleer enerji, hidroelektrik, yenilenebilir enerji gibi kaynaklardan oluşan birincil enerji talebi günden güne hız kazanarak artmaktadır. Özellikle OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) dışı ülkelerdeki kentleşme, sanayileşme ve artan nüfusun bu ülkelerin, birincil enerji talebindeki artışın nedeni olduğu düşünülmektedir. 2035 yılına kadar olan zaman diliminde yapılan tahminlerde, nüfus artış hızının OECD dışı ülkelere kaynaklanması ve bu sebeple birincil enerji talebinin büyük çoğunluğunun bu ülkeler tarafından geleceği öngörülmektedir.

BP İstatistiklerinin 2012 yılı verisine göre 12,4 milyar TEP (ton eşdeğer petrol) olan dünya birincil enerji ihtiyacı, 2013 yılında %2 artmış ve 12,7 milyar TEP olmuştur. 2012 yılı verilerine göz atıldığında birincil enerji talebinin %56' sını OECD dışı ülkeler oluştururken, 2014 yılında bu oran %57' ye çıkmıştır. 2035 yılında ise bu oranının %65' e çıkması beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının tahminlerine göre 13,5 milyar TEP seviyelerinde olan birincil enerji talebinin 2040 yılına gelindiğinde mevcut enerji politikaları baz alınarak hazırlanan devam senaryosunda birincil enerji talebinin %45 artarak 19,6 milyar TEP' e, yeni politikalar senaryosunda %32 artarak 17,9 milyar TEP' e ve 450 ppm senaryosuna göre %12' lik artışla 15,2 milyar TEP' e yükseleceği öngörülmektedir [3, 4].

Çizelge 2.1'de 2012-13 yılları arası dünyada birincil enerji talebinin ülkelere göre dağılımını ve yüzdelik değişimlerini göstermektedir. 2013 yılında en büyük artış %3,2 ile Asya Pasifik'te gerçekleşirken birincil enerji talebi Avrupa ve Avrasya' da %0,6 azalmıştır. Çizelge 2.2' de ise dünya birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı verilmiştir [3]. Çizelgeye bakıldığında dünya birincil enerji talebini en fazla karşılayan ilk 3 yakıt türünün petrol, doğalgaz ve kömür olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları 2012 ve 2013 yılında dünya birincil enerji talebini karşılama hususunda en düşük yüzdeye sahipken, bu yıllar arasında yüzdelik değişimlere bakıldığında %16 ile ilk sırada yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Dünyada birincil enerji talebinin ülkelere göre dağılımı [3]

Ülkeler	Milyon TEP		% Değişim
	2012	2013	
Kuzey Amerika	2723,4	2786,7	2,3
Güney Amerika	656,9	673,5	2,5
Avrupa ve Avrasya	2942,6	2925,3	-0,6
Ortadoğu	764,4	785,3	2,7
Afrika	402,4	408,1	1,4
Asya Pasifik	4993,5	5151,5	3,2
Dünya Toplamı	12.483,2	12.730,4	2

Çizelge 2.2 Dünyada birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı [3]

Kaynaklar	Milyon TEP		Yüzdelik Değişim		
	2012	2013	% Değişim	2012 (%)	2013 (%)
Petrol	4138,9	4185,1	1,1	33,2	32,9
Doğalgaz	2986,3	3020,4	1,1	23,9	23,7
Kömür	3723,7	3826,7	2,8	29,8	30,1
Nükleer Enerji	559,9	563,2	0,6	4,5	4,4
Hidroelektrik	833,6	855,8	2,7	6,7	6,7
Yenilenebilir Enerji	240,8	279,3	16,0	1,9	2,2
Dünya Toplamı	12.483,2	12.730,4	2	100	100

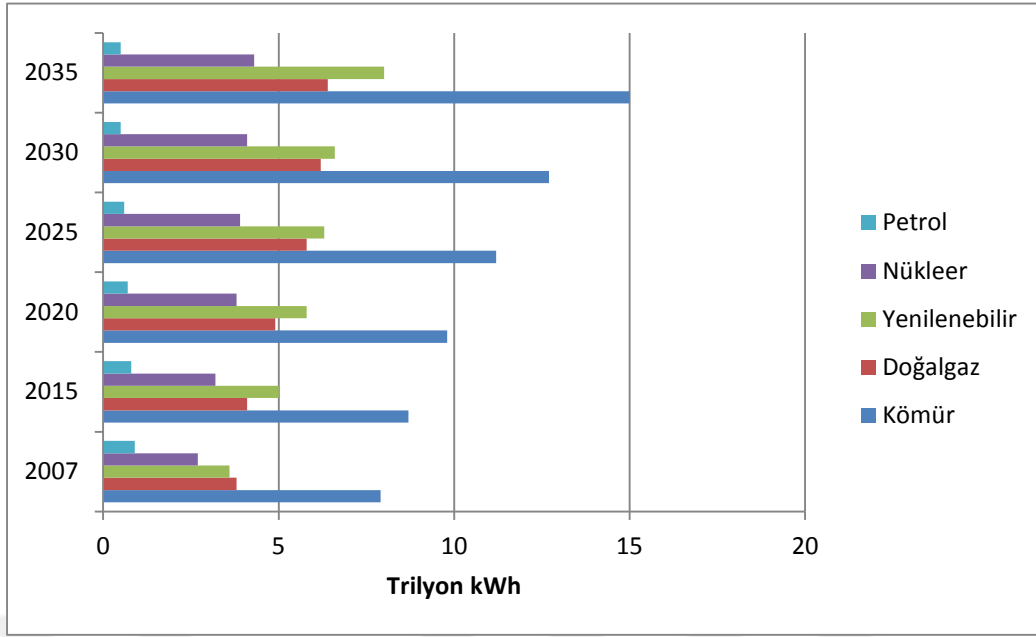
2.1.1 Dünya Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

Dünyada elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında elektrik üretiminde en sık kullanılan kaynağın kömür olduğu görülmektedir. Kömürden sonra en fazla kullanılan diğer kaynaklar ise yenilenebilir enerji kaynakları ve doğalgazdır [18]. Şekil 2.1’ de dünyada birincil enerji tüketiminin trilyon kWh cinsinden kaynaklara göre dağılımı verilmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından hazırlanan 2016 yılı Bütçe Sunumu'nda yer alan bilgiye göre, ülkelerin elektrik enerjisi üretiminde kullandıkları birincil enerji kaynakları incelendiğinde ABD, Çin, Hindistan ve Almanya' da kömürün, Rusya' da doğalgazın, Fransa' da nükleer enerjinin, Kanada' da yenilenebilir enerji kaynaklarının en fazla kullanılan birincil enerji kaynakları olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Fransa, Almanya, ABD, Kanada ve Rusya nükleer enerjiyi büyük ölçüde kullanarak elektrik enerjisi elde eden ülkelerdir. Özellikle Fransa nükleer enerji elektrik üretiminde %74 gibi büyük bir orana sahiptir. Nükleer enerjiyi %18' lik bir oranla hidrolik, güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları izlemektedir [3, 4].

Almanya' da elektrik üretiminde tercih edilen en mühim kaynak kömür olup, elektrik üretiminde yaklaşık olarak kömür %46' lık, yenilenebilir enerji %26'lık ve nükleer %15'lik bir paya sahiptir. ABD' de yine elektrik üretiminde kömür %39,8 ile ilk sıradadır. Kömürü %26,9 ile doğalgaz, %19,1 ile nükleer enerji takip etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %13,3 olarak belirlenmiştir. Kanada ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde %62,8 ile diğer ülkelerle kıyaslanınca büyük bir fark atmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından sonra elektrik üretmek için sırasıyla %15,8 nükleer enerji, %10 kömür ve %10,3 doğal gaz kullanılmaktadır. [4].

Hindistan ve Çin, sırasıyla %72,8 ve %75,5 gibi yüksek oranlarda kömür kullanarak elektrik enerjisi üreten ülkelerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak elektrik üretimleri incelendiğinde her iki ülkede sırasıyla %16,9 ve %20,7' lik oranlar ile ikinci sırada yer almaktadır. Çin'de doğalgazdan elektrik üretimine bakıldığında diğer ülkelere nazaran %1,7 gibi oldukça düşük bir oranda kaldığı görülmektedir. Hindistan'da doğalgazdan elektrik eldesinin payı ise %5,5' dir. Rusya'nın en fazla kullandığı birincil enerji kaynağı %50 oranı ile doğal gaz olup diğer yararlandığı enerji kaynakları; nükleer enerji, yenilenebilir enerji ve kömürdür. [4].



Şekil 2.1 Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [18]

2.2 Türkiye Enerji Görünümü

Türkiye; 2000 yılından itibaren enerji talebi her geçen gün artan ve bu talebe üretim konusunda yeteri kadar cevap veremeyen bir ülke konumundadır. Nüfusun artması, sanayileşme ve enerjiye olan mutlak bağımlılık kuşkusuz enerji ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Ülkemiz gelişen ekonomisine bağlı olarak dünyanın önemli enerji tüketicileri arasında kendine yer bulmaktadır. 2011 yılı verilerine göre birincil enerji kaynakları üretimi 32,2 milyon TEP iken, birincil enerji kaynakları tüketimi 114,4 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir [19]. Türkiye’ nin birincil enerji arzı 2013 yılına gelindiğinde 120 milyon TEP seviyesine ulaşmış olup 2014 yılında ise 3,9 milyon TEP artarak 123,9 Milyon Tep olmuştur [20]. Ülkemiz her yıl tükettiği birincil enerji kaynaklarının yaklaşık olarak %30’ unu karşılayabilecek durumdadır. Bu sonuçlar ülkemizin sürekli enerji ithal etmek zorunda olan ve enerji temini hususunda büyük ölçüde diğer devletlere bağlı bir ülke olduğunun göstergesidir [21]. Nitekim 2014 yılı ülkemizin dışa bağımlılığının devam ettiği bir yıl olmuştur.

Türkiye’nin enerji potansiyeli fosil ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki başlık halinde incelenebilir. Petrol, doğalgaz, maden kömürü, linyit, asfaltit, bitümler, ülkemizde mevcut olan fosil enerji kaynaklarıdır. Fakat Türkiye linyit haricinde bu kaynak türleri açısından varlıklı bir ülke değildir. Yenilenebilir enerji

kaynakları ise rüzgâr, hidrolik, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3 ülkemize ait birincil enerji kaynak rezervlerini göstermektedir. Türkiye petrol, kömür ve doğalgaz rezervleri açısından kısır bir ülkedir. Doğalgaz ve petrol rezervlerine sahip olan ülkeler sıralamasında, ülkemiz oldukça gerilerde kalmaktadır. Önemli kömür madenlerini bünyesinde bulunduran ülkemiz, bu alanda da diğer ülkelere göre sınıfta kalmıştır ve yerli kömür yetmediği için ithal kömür kullanmak durumundadır. Dünyada varlığı kanıtlanmış kömür rezervlerinin sadece %0.46' sı Türkiye'de bulunmaktadır. Üstelik sahip olduğumuz kömür rezervlerinin büyük bölümünün kalitesi, yalnızca kömür yakıtlı termik santrallerde yakıt olarak kullanılabilir oranda düşüktür [22].

Çizelge 2.3 Türkiye Birincil Enerji Kaynak Rezervleri [23]

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taşkömürü (Milyon Ton)	517,5	425	368,4	1.310,5
Linyit (Milyon Ton)				
Elbistan	4.845,5			4.845,5
Diğer	9.146	768,9	4,5	9.919,4
Toplam	13.991,5	768,9	4,5	14.764,9
Asfaltit (Milyon Ton)	82			82
Bitümler (Milyon Ton)	1.641,4			1.641,4
Hidrolik				
GWh/Yıl	59.245,8			59.245,8
MW	22.748,9			22.748,9
Ham Petrol (Milyon Varil)	7.123			7.123
Doğalgaz (Milyar m ³)	24,4			24,4
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9.100			9.100
Toryum	380.000			380.000

2.2.1 Türkiye Elektrik Üretimi ve Kaynaklara Göre Dağılımı

Türkiye elektrik üretimine baktığımızda 2012 yılında 239,5 milyar kWh olarak gerçekleşen elektrik üretimimiz 2015 yılında 259,7 milyar kWh' e yükselmiştir. Türkiye' de brüt elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılı verilerine göre 242,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılı verilerine göre ise bu yıla ait elektrik tüketimi 264,1 milyar kWh' e yükselmiştir. Ürettiğimiz enerji miktarı kadar harcadığımız enerji miktarı da her sene artmaktadır.

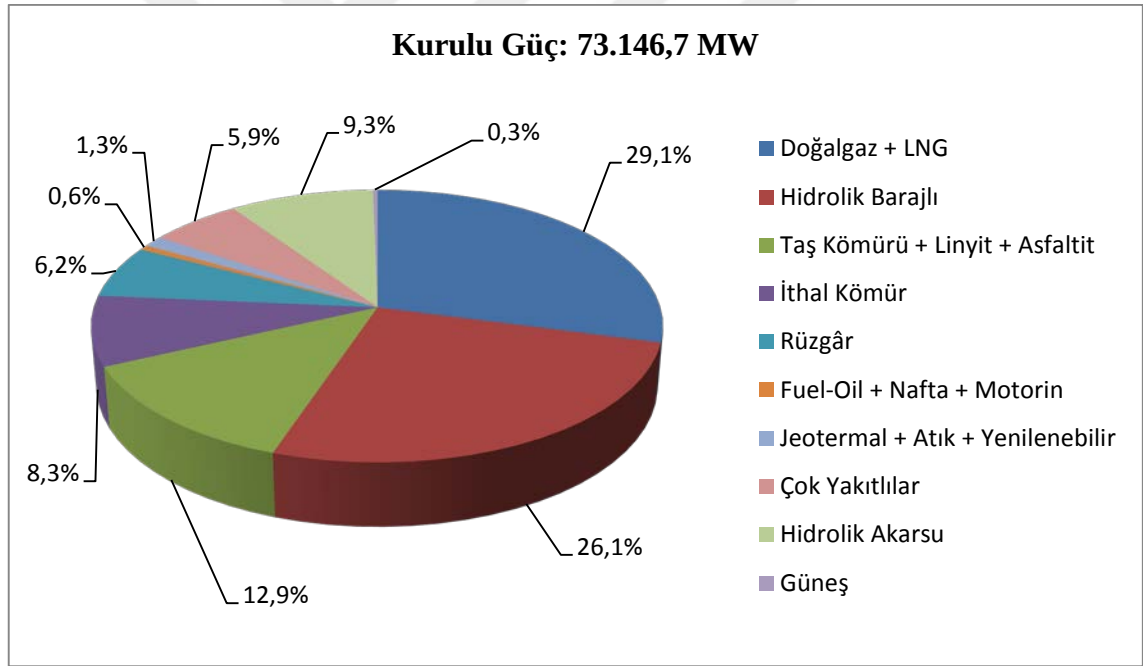
2015 yılında toplam elektrik üretimimizin, %37,8' i doğal gaz, %28,4' ü kömür, %25,8' i hidrolik, %4,4' ü rüzgâr, %1,3' ü jeotermal ve %,2,3' ü diğer enerji kaynakları kullanılarak elde edilmiştir [4]. Ülkemizin toplam elektrik tüketiminin 2020' de yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %6.9 artarak 392 TWh'e, baz senaryoya göre ise yıllık ortalama %5,5 artarak 357,4 TWh'e ulaşması beklenmektedir. Her ne kadar elektrik üretimimizin yaklaşık yarısını doğalgazdan, dörtte birini de kömürden üretmekte kullandığımız fosil yakıtlı bu temel enerji kaynakları rezervleri ülkemizde oldukça sınırlı durumdadır.

Fosil yakıtlı kaynaklar olarak gruplandırılan kömür ile doğalgaz ve de bunlara ek olarak petrol rezervlerinin düşük olmasından dolayı ülkemiz yeterli elektrik üretememekte ve bu enerji kaynaklarını ithal etmek zorundadır. Ulaşımında petrolün, santrallerde elektrik üretimi için kömürün, ısınma da ise özellikle doğalgazın yoğun kullanıldığı düşünülürse bu iki enerji kaynağının insanlar için ne denli gerekli olduğu görülecektir.

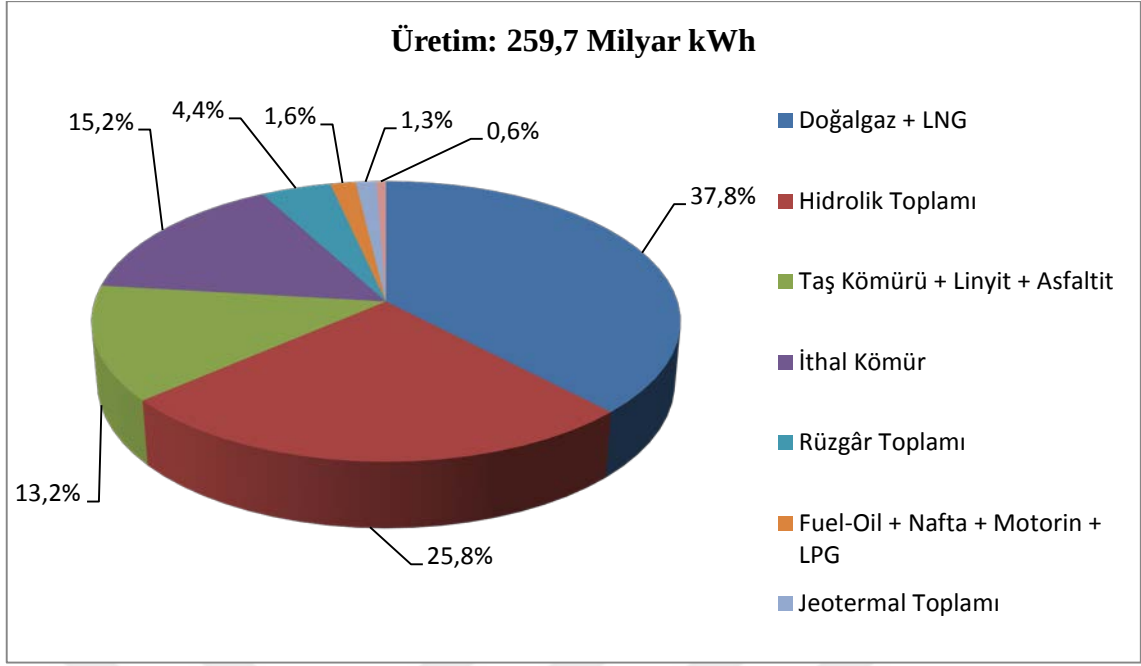
Türkiye son 13 yılda ekonomik anlamda önemli mesafeler kaydetmiştir. 2015 yılının ikinci çeyreğindeki büyüme rakamları incelendiğinde G20 ülkeleri arasında Hindistan ve Çin' den sonra en hızlı gelişme gösteren üçüncü ülke durumunda olan ülkemizin elektrik enerjisi arzındaki artış oranı son 13 yılda yıllık ortalama %5,5 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Sürekli artma eğiliminde olan bu talebi karşılamak adına kurulu güç yatırımları son hız devam etmektedir. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı tarafından 2015 yılında toplam kurulu gücü 4.288 MW ve toplam yatırım miktarı yaklaşık 4,5 milyar dolar olan lisanslı elektrik üretim santrali devreye alınmıştır.

Lisanssız devrede olan santral ise 362 adet güneş, 9 adet rüzgâr, 24 adet termik, 1 adet hidrolik santral olmak üzere toplam 396 adettir ve 270 MW kurulu güçten oluşmaktadır. Şekil 2.2 ve 2.3’ de sırasıyla 2015 yılı sonuna ait Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü ve Türkiye elektrik üretimi verilmiştir. Ülkemizin bu yılsonundaki kurulu gücü 73.146,7 MW olarak ölçülmüştür [24].

Şekil 2.2’ de de görülebileceği gibi doğalgazın 2015 sonunda kurulu güç içindeki payı %29,1 olarak ölçülmüştür. 2014 yılı incelendiğinde bu oranın %31 olduğu görülmektedir. Çok büyük değişimler olmasa da her geçen yıl doğalgazın kurulu güç içindeki payının azaldığı açıktır. Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları için az da olsa her sene artış gösterdikleri söylenebilir.



Şekil 2.2 2015 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü [25]



Şekil 2.3 2015 Yılı Sonu Türkiye Elektrik Üretimi [25]

2.3 Türkiye Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Yenilenebilir enerji, enerji kaynağından temin edilen enerjiye eşit oranda ya da kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli kendilerini yenileyebildikleri için tükenmeyen enerji kaynakları olarak bilinirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu direkt veya indirekt yollarla güneşten meydana gelirler. Yenilenebilir enerji kaynakları başta hidrolik, rüzgâr, güneş olmak üzere jeotermal, biyokütle, biyogaz enerji kaynaklarıdır. Türkiye 2000' li yıllardan itibaren OECD ülkeleri arasında son 10-15 yılda en hızlı enerji talep artışı yaşayan ülke olmuştur. Bu süreçteki elektrik talebinde ise Çin ve Hindistan' dan sonra %55,3' lük artış oranı ile 3. sıradadır. Çizelge 2.4' de Türkiye yenilenebilir enerji kaynak potansiyelleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynak Potansiyeli

	Kurulu Güç (MW)	Elektrik Üretimi	Isı (Bin TEP)	2023 Hedefi	Kaynak
Hidrolik	25.918	59.245 MW		36.000 MW	4, 23
Rüzgâr	4.541	11.552 GW		20.000 MW	4,
Güneş	327,6		795	5.000 MW	25
Biyokütle	288,2	1.171,2 MW		1.000 MW	23
Jeotermal	979,8	724,94 MW	4,99	1.000 MW	25

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma geçmişi çok eskiye dayanmamakla birlikte 2008 yılında birincil enerji arzının %73'ü ithal edilmiş, 2009 yılında elektriğinin %81'i fosil yakıtlar kullanılarak üretilmiştir [26]. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı konusunda ciddi adımlar atan, lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi için teşvik çalışmaları yürüten ülkemiz BOTAŞ sektör raporuna göre 2012 yılında enerji talebinin %90' ını fosil yakıtlardan karşılamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji talebi ise kalan %10' luk kısım. Türkiye toplam enerji tüketimlerine göz atıldığında, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %90' ını petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtlı kaynakların oluşturduğu ve bu yakıt taleplerinin de büyük ölçüde ithal olduğu görülmektedir [20].

Diğer bir taraftan, yenilenebilir enerji kaynakları için oldukça teşvik edici faaliyetler gerçekleştirilmektedir ve bu teşvikler sonucunda 2008 yılından itibaren özellikle hidrolik, rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi önemli yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç içindeki payı son yıllarda artma eğilimindedir. 2015 yılı sonu itibarıyla ülkemizin kurulu gücünün %43,2'si (31.605 MW) yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. 2002 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından 34 milyar kWh elektrik üretilirken 2015 yılı verilerine göre elektrik üretimi %142 artışla 82 milyar kWh' e yükselmiştir. [4, 24]. Yukarıdaki verilerden de anlaşılabileceği gibi, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma oranı düşük seviyelerde olsa da Türkiye yenilenebilir enerji kaynak rezervleri bakımından iyi bir potansiyele sahiptir ve bu potansiyelden mümkün olduğu kadar yararlanma adına yatırımlar gerçekleştirmektedir. 2015 yılındaki artış oranı gözönüne alınırsa ilerleyen yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından fazlaca yararlanılabileceği söylenebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından mümkün olduğunca çok faydalanmak demek diğer kaynaklara göre daha temiz, daha ucuz ve sonsuz enerji elde etmek demektir. Enerji elde edilmesine ek olarak elde edilen bu enerjinin verimli kullanılması da dikkat edilmesi gereken bir husustur. Enerji verimliliği kavramı; enerjinin üretim, iletim ve tüketim aşamalarında, kullanılan teknoloji ve alınan önlemlerle, enerjiden en düşük kayıp ve en yüksek yarar sağlanacak şekilde kullanımı anlamına gelmektedir. Enerji tasarrufu, enerji tüketiminin bilinçsiz bir şekilde azaltılmasından ziyade, enerji savurganlığının engellenmesini hedeflemektedir [21,27].

2.3.1 Türkiye Hidrolik Enerji Potansiyeli

Güneş ışınımından dolayı olarak etkilenen bir enerji kaynağı olan hidrolik enerji; suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan bir enerji türüdür. Su üst seviyelerden alt seviyelere düşerken enerji açığa çıkarmakta ve oluşan bu enerjinin türbinleri döndürmesiyle de elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Çevreye uyumlu, son derece temiz, yenilenebilir, yüksek verime sahip, yakıt gideri olmayan, uzun vadede kullanılabilir, işletme gideri düşük ve dış ülkelere bağımlı olmayan bir enerji kaynağı olarak nitelendirilebileceğimiz hidrolik kaynaklar, ülkemiz yenilenebilir enerji potansiyelleri arasında en önemli yere sahiptir. Ülkemizin teorik hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh' e (dünya teorik potansiyelinin %1'i), teknik olarak değerlendirilebilir enerji potansiyeli 216 milyar kWh' e ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl' a (Avrupa ekonomik potansiyelinin %16' sı) tekabül etmektedir [28].

2013 yılını, 22.289 MW' lık kurulu güçle geçiren ülkemiz, 2016 yılı Ocak ayı sonu itibarıyla HES kurulu gücünü 25.918 MW' a çıkarmıştır. Bu yıl sonundaki elektrik üretimimizin, %24,8'i hidrolik enerji kaynağından elde edilmiştir. Hidroelektrik santrallerinin yüksek verimde çalışmasını etkileyen en olumsuz etmen kuraklıktır. Yaşanan kuraklıklar sebebiyle hidroelektrik santrallerden beklenen elektrik üretiminde dalgalanmalar meydana gelecektir.

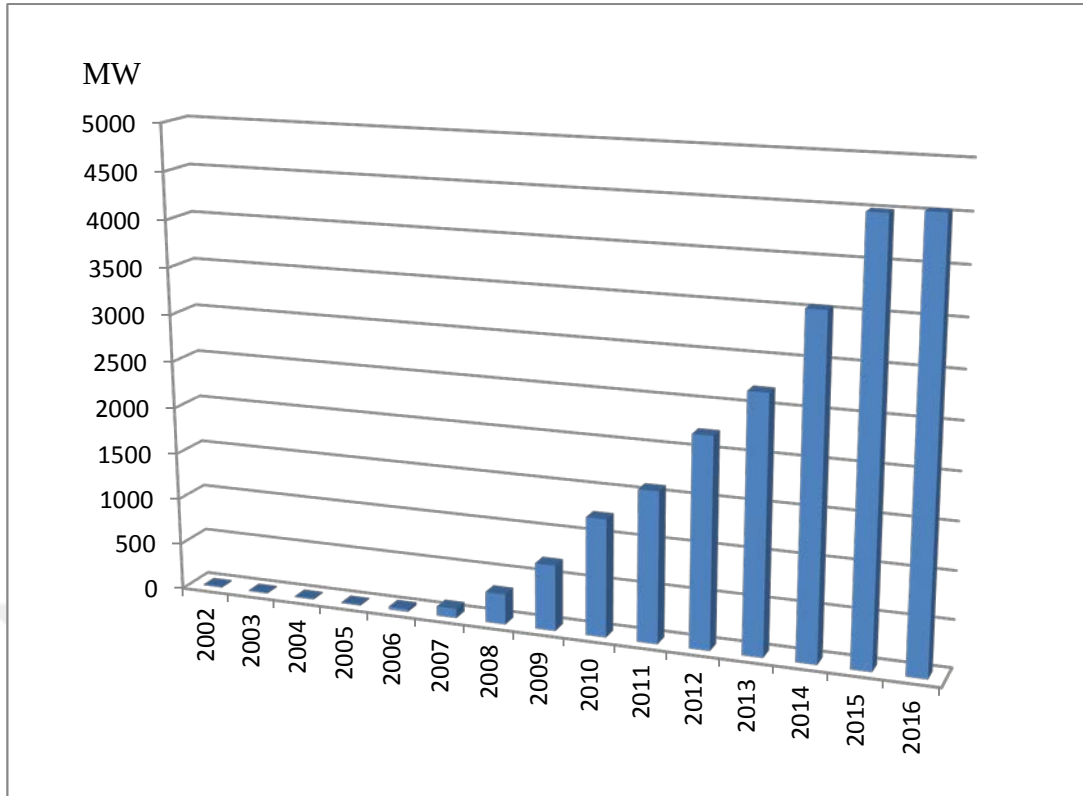
2.3.2 Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Rüzgâr enerjisi; yer yüzeyinin güneş radyasyonu tarafından farklı bir şekilde ısıtılmasından kaynaklanan, hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi yani kinetik enerjisidir. Yer yüzeyine ulaşan güneş radyasyonunun yaklaşık olarak %2' si rüzgâr enerjisine dönüştürülmektedir. Ülkemiz rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa'da en iyi ülkeler sıralamasında önlereddir. Rüzgâr enerjisi potansiyelleri bölgeler bazında incelendiğinde Marmara bölgesinin büyük bir kısmı, Doğu Akdeniz, Batı Karadeniz, Kuzey Batı Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin iç kısımları en fazla rüzgâr alan bölgelerdir [16].

Rüzgâr enerjisi doğada var olan, sonsuz enerji kaynaklarından biridir. Yaz aylarında yararlanma oranları düşse de yenilenebilir enerji kaynakları arasında rağbet gören bir enerji kaynağıdır. Türkiye rüzgâr konusunda kendisini her geçen gün geliştiren ve yatırımlara hız kesmeden devam eden bir ülkedir. Özellikle Marmara ve Ege bölgelerinde en yüksek kapasitede işletmeye alınan RES' lere ilaveten Akdeniz bölgesinde Osmaniye ili Bahçe ilçesinde de yüksek kapasitede RES' ler mevcuttur.

Örneğin geçici kabulü yapılarak işletmeye alınan lisanslı rüzgâr santralleri içerisinde Manisa ili Soma ilçesinde 140,10 MW' lık kurulu güç ile en yüksek kapasiteye sahip RES ve Osmaniye ili Bahçe ilçesinde 135 MW kurulu güce sahip RES dir [29]. Ayrıca son yıllarda Osmaniye İli Hasanbeyli mevkinde kurulan RES ile günlük ortalama 40 MWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Rüzgâr enerjisi ekonomik potansiyelinin 50 Milyar kWh/yıl olduğu düşünülen ülkemizde 2015 yılı sonu yıllık rüzgâr enerjisi üretim miktarı 11.552 GWh olarak gerçekleşmiştir. 2002 yılında 18,9 MW kurulu güç değeri ile neredeyse yok denebilecek seviyede olan ülkemiz rüzgâr enerjisi kurulu gücü ise 2016 yılı Ocak ayı sonunda 4.541 MW'a ulaşmıştır [4, 16, 30]. Şekil 2.4' de yıllar itibariyle Türkiye rüzgar enerjisi kurulu güç gelişimi grafiksel olarak gösterilmiştir



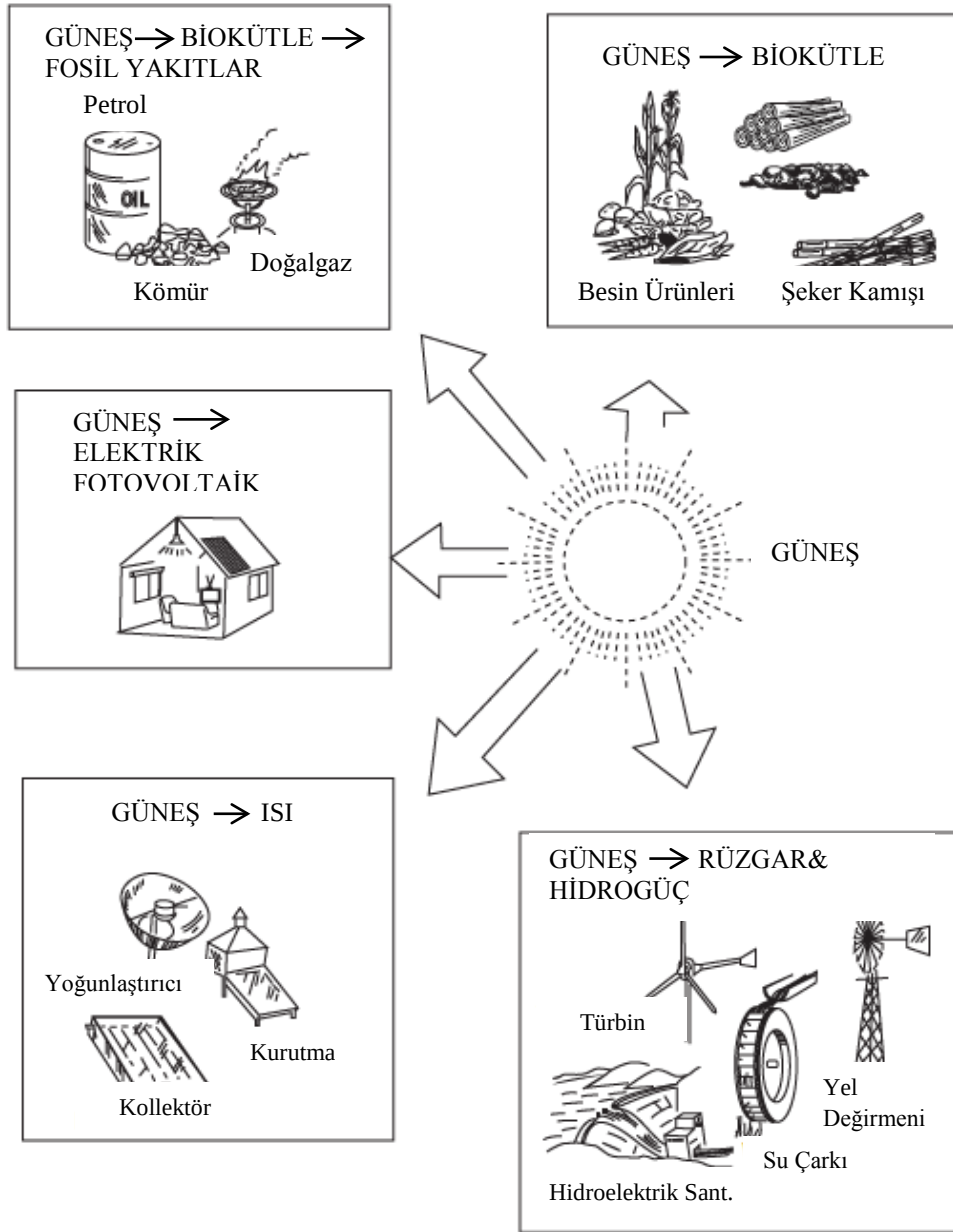
Şekil 2.4 2002-2015 Yılları Arası Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi [4]

2.3.3 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli

Dünyaya en yakın yıldız olan ve dünyadaki bütün enerjilerin esas kaynağı kabul edilen güneş 3.8×10^{23} kW değerinde enerji üretmektedir. Bu enerjinin çoğunluğu uzayda kaybolmaktadır. Fakat dünyaya ulaşan enerji miktarı (1.73×10^{16}) tüm insanlığın enerji ihtiyacını binlerce kez karşılamaya yeterdir [31]. Şekil 2.6' da tüm dünyanın enerji kaynağının dolaylı olarak temelini oluşturan güneşe ait bir görsel verilmiştir. Ülkemiz güneş kuşağı adı verilen ve ekvatora göre güney ile kuzey 40° enlemlerini kapsayan bölgede yer almaktadır. Bu konumu ile güneş enerjisinden ve diğer tükenmez enerjilerden yararlanma hususunda diğer birçok ülkeyle kıyaslandığında avantajlı durumdadır. Ancak bu avantajını güneş enerjisinden yararlanma noktasında kullanamamaktadır ve diğer ülkelere göre güneş enerjisinden faydalanmada gerilerde kalmaktadır.

Tropikal kuşakta birim alana düşen günlük güneş enerjisi miktarı 5 kWh dolaylarındadır. Havanın çok açık olduğu bölgelerde bu miktar 7 kWh değerine yükselebilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan,

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olarak belirlenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Dr. Berat Albayrak' ın 2016 yılı Bütçe sunuş metnindeki açıklamalarına göre 21.yy' da yatırımları hız kazanan güneş enerjisi santrallerinden yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması kapsamında azami seviyede yararlanılması planlanmaktadır [4, 32, 33].



Şekil 2.5 Güneşin dolaylı olarak etkilediği enerji kaynakları [31]

2.3.4 Türkiye’ de Enerji Yatırımları

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı enerji politikaları ve 2023 yılı hedefleri doğrultusunda ülkemizin yerli kömür ile hidrolik potansiyelinin tamamının elektrik üretiminde kullanılması hedeflenmektedir. Ayrıca, planlanan nükleer santrallerin faaliyete geçmesi ile doğal gaz endeksli elektrik üretiminde azalma sağlanmasının yanı sıra yılda 3,2 milyar Dolar maliyet doğuran 14,6 milyar m³ doğal gazın ürettiği elektrik enerjisi elde edilecektir. Bu düşüş ile enerji talebi güvenliğinin artırılması amaçlanmaktadır ve azalmanın cari açığa olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu hedefler kapsamında 2015 yılı içinde hidrolik enerji yatırımları 2.224 MW olarak gerçekleşmiştir. 2009 yılından itibaren elektrik üretim santralleri için yapılan yatırımlar oldukça artmıştır ve son yıllarda hidrolik ile rüzgâr başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklı santraller üzerine yatırımlar hız kazanmıştır. 2015 yılında devreye giren ülkemiz kurulu gücü, 2002 sonrası piyasa döneminin en çok yerli kaynaklara dayalı yatırımının devreye alındığı yıl olmuştur. Ülkemizde istikrar ve güven ortamının oluşması ve Bakanlığın enerji politikalarının başarıyla uygulanması sonucu enerji yatırımları kamuya yük oluşturmayacak şekilde özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz enerji sektörünün önümüzdeki 10 yılda toplam yatırım ihtiyacının 110 milyar Doları aşacağı tahmin edilmektedir [4].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2009 yılında kabul edilen Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi çerçevesinde, 2023 yılına kadar rüzgâr enerjisi kurulu gücümüzün 20.000 MW seviyesine ulaştırılması ve güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretimi amaçlı azami ölçüde değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef ile Bakanlığın 2015-2019 Stratejik Planında yer alan 2019 yılı sonuna kadar 10.000 MW rüzgâr kurulu gücüne ulaşma hedefi doğrultusunda, 2015 yılsonu itibarıyla rüzgâr enerjisi santrali için 9.893,6 Mwe kurulu gücünde lisans ve 209,9Mwe kurulu gücünde önlisans verilmiştir. 2015 yılı sonu itibarıyla işletme halinde bulunan rüzgâr santrali toplam kurulu gücü 4.503 MW’tır. Gerekli mevzuat ve bürokratik düzenlemelerin bir sonucu olarak rüzgâr enerjisi kurulu gücünde de ciddi bir artış sağlanmıştır. 24-30 Nisan 2015 tarihleri arasında ikinci defa rüzgâr enerjisine dayalı ön lisans başvuruları alınmış olup Bakanlık tarafından 40.954,5 MW kurulu güce sahip 1.040 adet başvurunun teknik değerlendirme süreci devam etmektedir [24].

Güneş enerjisi yatırımları için de yasal altyapı oluşturulmuş olup toplam kurulu gücü 9.000 MW'ı aşan 496 adet Güneş Enerjisi Santrali (GES) lisans başvurusunun değerlendirme çalışmaları devam etmektedir. Değerlendirme çalışmaları tamamlanan bölgeler için “Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği” çerçevesinde yarışmalar yapılmaya başlanmıştır. Yarışmalar sonucunda toplam 49 proje için 581,9 MW kapasite tahsis edilmiştir. Buna göre 5 adet projeye 40 MW kapasite için önlisans verilmiştir. Önlisans yükümlülüklerini yerine getiren 2 adet şirkete ise 13,3MW kurulu gücünde lisans verilmiştir. Ayrıca Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği kapsamında 1 MW' ın altında kurulu güce sahip RES ile GES' ler için ve üretimi ve tüketimi aynı noktada olup üretilen enerji sisteme verilmeyecek şekilde limitsiz güç ile tesis edilebilecek RES/GES' ler için lisans alma muafiyeti getirilmiş olup bu kapsamda TEİAŞ tarafından lisanssız RES/GES' lerin bağlantısı için bugüne kadar yaklaşık 6.801 MW kapasite tahsis edilmiştir. Tahsis edilen kapasitenin yaklaşık %95'ini GES'ler oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim santrallerinden özellikle güneş ve rüzgâr santrallerinin elektrik iletim sistemi üzerindeki olası olumsuz etkilerinin minimize edilerek sistem güvenliğinin artırılmasına katkı sağlaması amacıyla;

- Üretilen elektriksel gücün önceden tahmin edilmesine yönelik olarak güneş enerjisi izleme ve denetim faaliyeti ile güneş izleme ve tahmin merkezi projesi,
- Pompalı Hidrolik Enerji Santrali (HES) destekli Rüzgâr Enerji Santrali (RES) projesi
- Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) projesi yürütülmektedir.

RİTM projesi kapsamında, rüzgâr enerjisi santrallerinin merkeze bağlantılarının ne şekilde yapılacağı ve lisans sahibi tüzel kişinin bu konuda yükümlülüklerinin açıklığa kavuşturulabilmesi için Bakanlığımız tarafından hazırlanan “Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezine Bağlanması Hakkında Yönetmelik” 25.02.2015 tarih ve 29278 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 2015 yılı sonu itibarıyla 86 adet rüzgâr enerjisi santrali Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezine bağlanmıştır. Merkeze bağlı rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü 4100 MW'a ulaşmış olup bu kurulu güç değeri işletmedeki kurulu gücün yaklaşık % 90'ına karşılık gelmektedir. İşletmeye giren RES'lerin RİTM'e bağlantı çalışmalarına ve tahminlerin iyileştirilmesi çalışmalarına devam edilmektedir.

2.4 Yenilenebilir Enerji Tasarımı ile İlgili Yazılımlar

Yenilenebilir enerji tasarımı amacıyla dünyada kullanılan birçok program mevcuttur. Bu programların varlığı tasarımcıya istediği elemanları kullanarak yenilenebilir sistem modelleme imkanı ve detaylı bir simülasyon işlemi sonunda maliyet analizi, enerji verimliliği analizi, yenilenebilir enerji ve kojenerasyon projeleri analizi imkanı sunmaktadır. Programlarda tasarımı yapılan elemanlarla birlikte elektrik veya ısı yük miktarları belirlenerek, karşılanan enerjinin maliyeti yıllık, aylık veya saatlik olarak hesaplanmaktadır. Ne kadarlık bir elektrik veya ısı yük miktarı karşılanmak isteniyorsa bu yükler programa aktarılır, bu yükler saatlik veya yıllık ortalaması alınmış şekilde girilebilir ve simülasyon parametrelerine bağlı olarak optimum sistem tasarımı belirlenerek verimlilik ile maliyet analizleri gerçekleştirilir. Bu verilere ek olarak çevreye yayılan CO₂ miktarı da tasarım sonucunda elde edilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları tekil veya hibrid (birden fazla enerji kaynağı) enerji kaynağı olarak modellenebilir.

Temiz ve alternatif enerji kaynakları modellenerek farklı hibrid sistem tasarımlarına müsaade eden bu yazılımlar akademik alanda birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir ve literatürde bu konularla alakalı oldukça fazla çalışma mevcuttur. Akademik hayatın yanı sıra özel sektörde faaliyet gösteren firmalar da yazılımlardan yararlanabilmektedir.

2.4.1 HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)

HOMER Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen 193 ülkede 100.000' i aşkın kullanıcıya sahip, mini güçteki tasarımlara destek olan ve geniş bir aralıktaki tasarım uygulamalarına karşı enerji üretim teknolojilerinin kıyaslanmasını kolaylaştıran bir bilgisayar programıdır. Kullanıcısına şebeke destekli veya şebekeden bağımsız hibrid enerji sistem tasarımı olanağı tanıyan HOMER yazılımında, güç üretim uygulama alanı olarak uzak köyler, adalar, kampüsler, askeri üsler seçilebilir. Tasarım modeline göre belirli bir yükün optimum bir sonuç çerçevesinde ne kadarlık bir maliyette (birim elektrik enerji maliyeti, ilk yatırım maliyeti, total net maliyet, işletme ve bakım maliyeti vb) karşılanabileceğini analiz eden program üç güçlü araca sahiptir. Bunlar;

- Simülasyon: HOMER tüm yıl için hibrid mini güç işlemini dakikalar içinde binlerce simülasyon yaparak gerçekleştirir.
- Optimizasyon: HOMER tek bir kalemde sistem türlerinin tüm muhtemel kombinasyonunu inceler ve optimizasyon seçim değişkenlerine göre sistemleri çeşitlendirir
- Hassaslık Analizi: HOMER bu kısımda kullanıcıya “farzedelim” sorusunu sorar. Tasarımcı sistemin tüm parametrelerini kontrol edemez ve bu yüzden belirli değişkenlere ihtiyaç duyar. Dolayısıyla bu değişkenleri programda tanımlayarak varsayımlar altında gerçekleşen binlerce simülasyon arasından optimum sistem tasarımını gözlemleyebilir ve sonuçları karşılaştırabilir [34].

2.4.2 RETScreen (Renewable Energy and Energy Efficient Technologies)

RETScreen Temiz Enerji Proje Analiz Yazılımı, Kanada Hükümeti CANMET Enerji Araştırma Laboratuvarı tarafından sunulan, sanayi ve akademik çevreden sayısız uzmanın katkısıyla geliştirilen ücretsiz elde edilebilen çeşitli konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim miktarlarını, çevreye etkilerini, teknik ve ekonomik uygulanabilirliklerini inceleyen bir programdır. RETScreen genel itibarıyla rüzgâr enerjisi proje analizi, küçük hidroelektrik proje analizi, fotovoltaik proje analizi, kombine ısı ve güç proje analizi, güneş enerjisiyle su ısıtma proje analizi, pasif güneş enerjisiyle ısıtma proje analizi, toprak kaynaklı ısı pompası proje analizi ve soğutma proje analizi gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir [35]. Programda HOMER yazılımında olduğu gibi maliyet analizi, enerji üretimi ve sera gazı emisyon analizleri de yapılabilmektedir.

Kullanıcısına potansiyel enerji projelerini değerlendirme hususunda hem zaman açısından kazanç hem de finansal açıdan önemli ölçüde maliyeti azaltma imkânı tanıyan bu yazılım; 222 ülkede, 35 farklı dilde, 240.000’ den fazla insan tarafından kullanılmaktadır.

2.4.3 PVSyst

PVSyst; fotovoltaik sistemlerin tasarım, boyutlandırma, simülasyon, veri analizleri gibi işlemlerini gerçekleştiren bir bilgisayar paket programıdır. Program içeriğinde tanımlı elemanların, farklı fotovoltaik sistem konfigürasyonlarının, şebekeye bağlı – şebekeden bağımsız – DC şebeke – pompa ile su basma vb dâhil, doğru bir

şekilde analizlerini gerçekleştirmelerine olanak sağlar. Üstelik yazılım bünyesinde 7200 PV modül modeli ve 2000 inverter modeli için ayrı bir veritabanı bulundurur. Tasarımcı her belirli fotovoltaik proje için farklı teknolojik seçeneklerin performans kıyaslamasını yapmak ve en iyi teknik ile ekonomik çözümleri belirlemek amacıyla saatlik gerçekleşen simülasyon sonucunu detaylı bir şekilde değerlendirebilir. PVSyst güneş geometrisi, eğimli düzlemlerde ışık vb. gibi geniş bir genel güneş elemanı seçimi sunmakla birlikte simülasyon değerlerine yakın karşılaştırmalar yapmak için mevcut PV sistemlerdeki gerçek ölçüm verilerini indirme gibi güçlü bir yönteme sahiptir [36].

2.4.4 HOGA (Hybrid Optimization By Genetic Algorithms)

Hoga; Zaragoza Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü tarafından C++' da geliştirilen simülasyon ve optimizasyon programıdır. DC elektrik veya AC elektrik ve hidrojen üreten, su basma yüklerine uygulanan hibrid sistemler için kullanılır. Program rüzgar türbini, fotovoltaik panel ve hidrolik türbinden oluşan şebekeden bağımsız hibrid sistemlerin tasarımına müsaade etmektedir. Ayrıca destek ve depolama elemanları olarak batarya ve hidrojen (yakıt hücresi, elektrolizer, hidrojen tankı) kullanılmaktadır [37, 38].

3. ENERJİ SİSTEMLERİ

3.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri

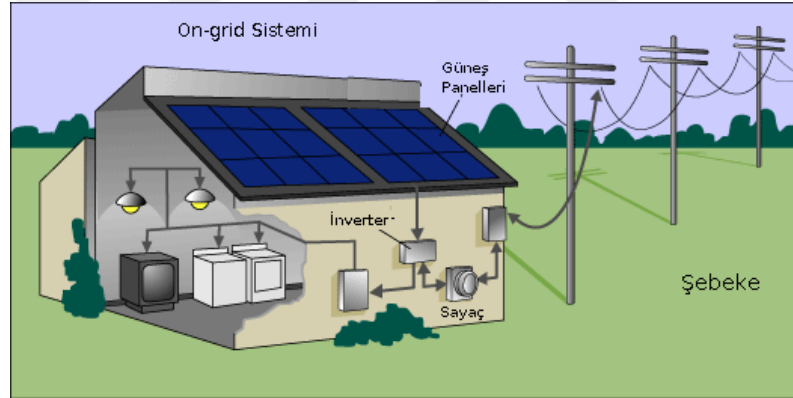
Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve karma şekilde tasarlanabilen, elektrik üretimi için fotovoltaik hücrelerden faydalanılan sistemlerdir. İlk kez 1839 yılında Alexander Edmond Becquerel tarafından platin tabakalar üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda fotovoltaik etki ortaya çıkmıştır. Fotovoltaik prensibinde hücrelerde üretilen DC elektrik akımı ile tüketicinin ihtiyacı olan enerji sisteme beslenmektedir.

Şebeke bağlantılı PV sistemler, hali hazırdaki elektrik şebekesinden yararlanan en yaygın sistem tipidir. Sadece gündüzleri güneşten yararlanılabilen fotovoltaik sistemlerde, üretilen enerji ya kullanılmaktadır ya da şebekeye satılmaktadır. Güneş ışığı yoksunluğunda elektrik kullanımı için gerekli güç şebekeden satın alınabilmektedir. Bu tarz bir sistemde enerji depolanmasına gerek yoktur lakin üretilen DC gerilimin AC gerilime çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması gerekmektedir. Eğer sistem şebekeden bağımsız ise sisteme ek olarak akü konulur ve gündüz üretilen elektrik akülerde depolanarak geceleri kullanılabilir.

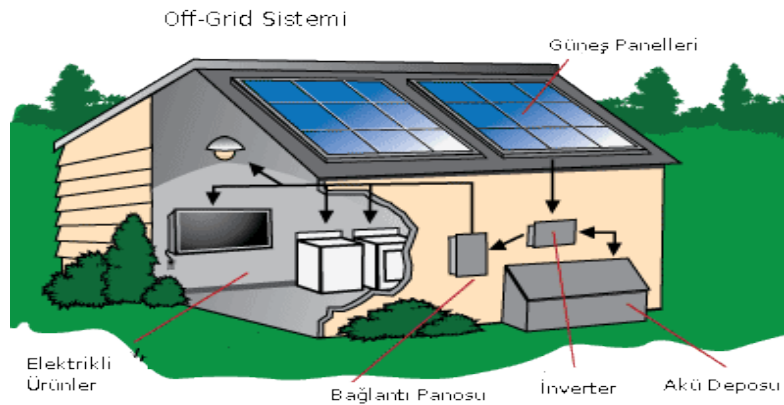
Fotovoltaik sistemler başta PV hücreler olmak üzere sistemin opsiyonel ve fonksiyonel ihtiyaçlarına bağlı olarak DC-AC inverter, akü, şarj kontrol ünitesi, yedek güç kaynağı ve sistem kontrolörü gibi ekipmanlardan oluşabilir. Güç gereksinimine bağlı olarak fotovoltaik hücreler seri veya paralel bağlanarak fotovoltaik modüller, yine aynı şekilde fotovoltaik modüller seri veya paralel bağlanarak fotovoltaik dizinler, dizinlerin birleştirilmesi ile de birkaç Watt' dan Mega Watt değerine kadar enerji üretim kapasitelerine sahip fotovoltaik sistemler oluşturulabilir.

Şekil 3.1 ve 3.2' de sırasıyla şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler gösterilmektedir. Son yıllarda yaygın olarak binalarda (duvar, pencere, çatı vb.) şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin kullanımına sıkça rastlanılmaktadır. Dünyanın en temiz ve tükenmeyecek enerji kaynaklarından biri olan güneş sayesinde, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin kullanım alanları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan korunması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağevleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma



Şekil 3.1 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem [39]



Şekil 3.2 Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem [39]

3.1.1 Fotovoltaik Hücreler ve Çalışma İlkesi

Fotovoltaik hücreler, fosil enerji kaynakları ile kıyaslandığında açıkça çevre dostu olarak gözüken, temiz ve güneş enerjisine bağlı elektrik üreten bir güç üreticidir. Güneş hücreleri olarak da adlandırılan fotovoltaik hücreler, üzerlerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektriğe dönüştürmek için tasarlanmış hareketli mekanik parçaları olmayan, bakımı kolay ve ömürleri uzun olan yarı iletken malzemelerdir. Bu malzemelerin yapısı basitçe p ve n eklemden oluşan diyotlara benzer. Yarı iletken malzemelerin güneş pilleri olarak değerlendirilmeleri için n veya p tipte katkılanmaları gerekmektedir. Katkılanma, saf yarı iletken eriyik içerisine istenen katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde eklenmesiyle gerçekleştirilir. Eklenen katkı maddesi yarı iletkenin n ya da p tipi olmasını belirlemektedir.

En yaygın güneş pili malzemesi olarak silisyum kullanılmaktadır ve silisyum dış yörüngesinde 4 elektron bulunan bir elementtir. Silisyumdan n tipi silisyum oluşturmak için periyodik cetvelin 5. grubundan bir element silisyum eriyiğine ilave edilir. 5. grupta yer alan elementin elektron sayısı silisyumdan bir fazladır ve fazla elektrona sahip olan element oluşan kristal yapıya bir elektron verir. Bu sebeple 5. grup elementleri (örneğin fosfor) “verici” ya da “n-tipi” katkı maddesi olarak adlandırılır. Silisyumdan p tipi silisyum elde etmek için ise silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 3. grubundan bir element (bor, indiyum, alüminyum vb.) eklenir. Bu gruptaki elementlerin son yörüngesinde 3 elektron bulunduğu için kristalde bir elektron eksikliği meydana gelir. Ortaya çıkan elektron yokluğu hol ya da boşluk olarak bilinir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. 3. grup elementlerine de “alıcı” veya “p-tipi” katkı maddesi denilmektedir [40]. Şekil 3.3’ de güneş paneli şematik resmi verilmiştir.

Yarı iletken eklemler oluşturulduktan sonra güneş ışınlarından gelen fotonlar, sayesinde n tipinden kopan elektronlar p tipine doğru hareket eder. Bu olay her iki tarafta yük dengesi oluşuncaya kadar devam eder. Bunların elektron azlığı (hol veya delik) ve diğerindeki (- yük sağlayan) fazlalığı, bu bölgenin her iki tarafında bir elektrik alanının oluşmasına yol açar. Yarı iletken tarafından emilen ışık akısının fotonları, yarı iletken parçanın iki tarafında ayrı ayrı toplanan elektron-hol çiftlerini oluşturur. Bunun sonucunda, eklemin aydınlanan yüzüyle ve buraya düşen ışığın yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı meydana gelir. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir [41].

Fotonlar; güneş ışığı spektrumunda bulunan farklı dalga boylarına göre, farklı miktarlarda enerji içerirler. Fotovoltaik hücreler üzerlerine düşen fotonların bir kısmını soğurur, bir kısmını yansıtır, kalan kısmını da hücre içerisinden geçirirler. Soğurulan enerji bu şekilde yarı iletkene aktarılmış olur. Bu enerji yapı içindeki gevşek elektronlarla etkileşir ve elektronların serbestçe hareket etmesine izin verir. Güneş hücreleri tarafından soğurulan enerji yüklü fotonlar elektrik üretirler. Fotonlar dalga boylarıyla, frekanslarıyla ve enerjileri ile karakterize edilebilirler. Bir fotonun enerjisi, dalga boyu ve ışık hızı parametrelerine bağlı olarak Planck kanunu ile hesaplanmaktadır [42].

Foton enerjisinin dalga boyu, frekansı, ışık hızı arasındaki bağıntılar şu şekildedir;

$$c = \lambda \cdot f \quad (3.1)$$

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3.2)$$

Burada;

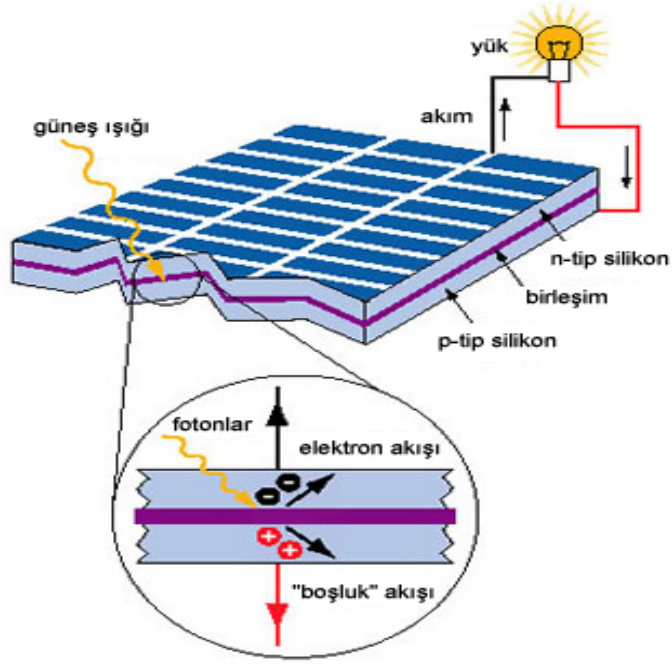
c : Işık hızı (3×10^8 m/s)

λ : Dalga boyu

f : Frekans

E : Foton enerjisi (J)

h : Planck Sabiti ($6,626 \cdot 10^{-34}$ j.s) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.3 Güneş Paneli Şematik Şekli [43]

Genellikle kare, dikdörtgen ya da daire formunda yüzeylere sahip olan güneş hücrelerinin alanı 100-156-243 cm² civarındadır ve kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasında değişmektedir. Kristal silisyum, amorf silisyum, kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum diselenid (CuInSe₂), galyum arsenik (GaAs, optik yoğunlaştırıcı hücreler gibi farklı malzeme seçeneği ile piyasada yer alan PV hücreler, üst tabakaları yansımayı önleyici kaplama ve korumalı şekilde imal edilirler. Son derece kırılkan olan güneş hücreleri için böyle bir koruma, çatlama ve kırılmaları engellemek açısından gereklidir. Yansıma önleyici anti reflektif kaplamanın eklenmesinin sebebi de güneşten hücre üzerine düşen ışığın yansıtmadan soğurulmasını sağlamaktır. Bu şekilde güneş ışınlarından elde edilen verimin daha da artması hedeflenmektedir.

Ticari olarak piyasada kendisini ispatlamış, geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini doldurabilecek verimleri Si hücreler gibi aynı ama üretim teknolojileri daha basit ve maliyeti daha uygun olan fotovoltaik hücreler üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu teknolojiler; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilecek enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir.

3.1.2 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Günümüzde uygulamalarda değişik verimlerde birçok fotovoltaik hücre kullanılmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte PV hücreler de farklı yapı ve verimlere sahip olarak geliştirilmektedir. Bu hücrelerin verimleri genellikle % 5 ile % 20 arasında değişmektedir. Yani bu demektir ki; hücre üzerine gelen güneş ışınımı %5-%20 verimlilikte elektriğe dönüştürülmektedir. % 10' un altında verimliliğe sahip güneş hücreleri, uygulamada ekonomik değildirler ve verimsizdirler [44]. Ancak bazı güneş hücrelerinin verimliliği laboratuvar koşullarında % 40' lara kadar çıkmıştır. Henüz uygulamada ise bu değerlere sahip PV hücreleri elde edilememiştir. Fotovoltaik hücreleri geliştirmedeki amaç sadece verimi olabildiğince artırmak değil, maliyeti de en aza indirmektedir. Şu an piyasada güncel 4 ana tip PV teknolojisi bulunmaktadır.

- Kristal yapı teknolojisi
- İnce film teknolojisi
- Birleşik teknoloji
- Nanoteknoloji

3.1.2.1 Kristal Silisyum Hücre

Kristal silisyum hücreler; güneş hücresi uygulamalarında kullanımına en sık rastlanan güneş hücreleridir. Oldukça uzun ömürlü olan kristal silisyum hücreler, dünyada yaklaşık % 90' lık bir kullanım oranına sahiptir. Silisyum ise PV teknolojisinde diğer malzemelere göre daha fazla tercih edilen bir malzemedir. Bunun başlıca nedenleri; silisyumun elektriksel, optik ve de yapısal özelliklerinin uzun müddet değişmemesi ve kullanılan her silisyumun üretimde kayda değer başarı sağlamasıdır. Silisyum, oksijenden sonra yeryüzünde en fazla bulunan ikinci elementtir ve kum ile kuvars şeklinde doğada yer almaktadır. Kum saflık derecesi düşük olan bir maddedir, dolayısıyla kullanımı uygun değildir. Kuvars ise % 90 oranında silisyum ihtiva eder. Kullanılma oranı ve işlenme kabiliyeti oldukça yüksektir.

Kristal silisyum tipli hücreler 2' ye ayrılır;

1. Tek kristalli silisyum hücre
2. Çok kristalli silisyum hücre

Tek kristalli silisyum hücre; fotovoltaik piyasasında en yaygın kullanılan ve piyasanın % 80' ini domine eden güneş hücreleridir. Ticari amaçlı kullanılmakta olan Silisyum güneş hücrelerinin birçoğu, bor katkılı tek kristal dilimler halinde (yaklaşık 400 µm kalınlığında) üretilmektedir. Kristal tasarımların temelinde, silisyum p-n birleşimi kullanılmaktadır. Tek kristalli silikon üretimi için, Czochralski yöntemi kullanılarak, kristal külçe üretimi yapılmaktadır. Tek kristal hücrelerin birçoğunda, elektrik kontağı için metal ızgara kullanılmaktadır. Tek kristalli panellerin üretimi polikristal olarakta bilinen çok kristalli silikon bazlı panellere göre daha zor ve daha pahalıdır, fakat tek kristalli panellerin verimleri daha yüksektir. Tek kristalli silisyum güneş hücresinin verimi en fazla % 23 dolaylarındadır. Bu paneller aynı güç çıkışı sağlayan polikristal panellere kıyasla %1-2 daha küçük alana sahiptirler. Ancak üretiminde kullanılan teknoloji nedeniyle üretim süreci uzun sürmektedir. Herşeye rağmen monokristal güneş hücreleri uzun süreli yatırım için en iyi seçenektir.

Çok kristalli silisyum hücre; tek kristalli silisyum hücrelere göre daha az enerji harcanarak ve daha kolay üretilen ve dolayısı ile maliyeti düşük değerde olan güneş hücresi tipidir. Verim değerleri tek kristalli silisyum hücrelere göre düşüktür. Dökme yöntemi çok kristalli silisyum üretiminde tercih edilen birinci yöntemdir. Ticari amaçlı üretilen pc-Si hücrelerin verimleri % 12-15 arasında değer almaktadır [45].

3.1.2.2 İnce Film Hücreler

İnce film fotovoltaik cihazlar; çok az materyal ile oluşturulabilen, üretimi kolay ve bu sayede ek üstünlüklere sahip olan, üst üste yerleştirilen ve fazla miktarda çok ince yarı iletken katmanlardan oluşan bir fotovoltaik hücre tipidir. Değişik malzemelerden üretilen ince film hücrelerin yapımında yaygın olarak, amorf silikon, çok kristalli bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür kullanılmaktadır. Amorf silikon haricinde diğer malzemeler düşük üretim giderlerinden dolayı tercih edilirler. İnce film hücrelerde elektrik kontağı için metal ızgaralar yerine ince şeffaf iletken oksit katmanı kullanılır.

İnce film fotovoltaik malzemeler, genel olarak çok kristalli malzemelerdir ve büyüklükleri bir mm' nin binde birinden milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşur. İnce film hücrelerde, hücre üzerine düşen ışınımın sadece % 8-12 kadarı elektriğe dönüştürülebilir. Bu değerler kristal silikon hücrelerin yarısı kadardır. Ancak tasarım maliyetleri göz önüne alındığında ince film hücreler daha ucuzdur. Çünkü ince film hücreleri tasarlanırken kristal silikon hücrede kullanılan pahalı yarı iletken bir

malzemenin, sadece % 1-2 oranında malzeme kullanılmaktadır. Bu hücrelerin kristal silikon hücrelere göre birçok üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler şöyledir;

- Çevreye olumsuz bir etkisi yoktur
- Hücre ömürleri riske atılmadan üretim yapılabilir
- Az malzeme ile fotovoltaik hücre maliyetleri azaltılabilir.

İnce film hücreler 4 tip olarak geliştirilmiştir. Bu hücreler;

1. Amorf silisyum hücre
2. Düşük maliyetli alt tabaka üzerine ince çok-kristal silikon
3. Bakır indiyum diselenid/kadmiyum sülfür farklı eklemli hücre
4. Kadmiyum tellür/kadmiyum sülfür farklı eklemli hücrelerdir [45].

3.1.2.3 Tek ve Çok Eklemli Hücreler

Güneş ışınım spektrumu daha etkin kullanılarak, daha yüksek verim değerlerine ulaşılabilen fotovoltaik hücrelerdir. Çok eklemli hücrelerde, farklı bant boşlukları bulunan iki veya daha fazla sayıda hücre bir araya getirilerek, her bir fotonun yaptığı iş miktarı arttırılabilir. Farklı bant boşlukları içerisinde çok sayıda materyal barındıran ardışık hücreler tasarlamak, verimi arttırmak için uygulanan en yaygın yöntemdir. Günümüzde çok eklemli olarak tasarlanan hücrelerin verimi % 41 seviyelerine ulaşmıştır. 2008’ de NREL tarafından üretilen üç eklemli hücrelerin verimi % 40.8 olarak ölçülmüştür. Spectrolab ise 2009 yılında % 41.6 verimliliğe sahip yine üç eklemli hücreleri geliştirmiştir [45, 46].

Üç eklemli hücreler, üç farklı katmana sahip oldukları için bu şekilde adlandırılmışlardır. Bu tip hücrelere örnek; İndiyum Galyum Fosfat (InGaP), Galyum Arsenit (GaAs) ve Germanyum (Ge) katmanlarından meydana gelen hücreler gösterilebilir. Geleneksel güneş hücrelerine göre bu tip güneş hücrelerinin ışınım bozunum davranışları daha karmaşıktır. Ayrıca maliyeti oldukça pahalı bir teknolojidir.

3.2 Rüzgâr Enerji Sistemleri

Rüzgâr enerji sistemleri; güç üretimi için değişik özelliklerde rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı şebekeden bağımlı ve bağımsız olarak tasarlanabilen, güneş enerjisi gibi temiz ve sonsuz bir enerji kaynağı olan rüzgârdan faydalanan enerji sistemleridir. 5000 yıl öncesinde ilk kez gemileri yüzdürmek için kullanılan rüzgâr enerjisi, uzun zamandır farklı alanlarda (yel değirmeni, tahıl öğütme, su pompalama, yelkenler vb.) faydalanan, yakın zamanda da yoğunlukla elektrik üretim amacıyla tercih edilen ve çevre kirliliğini önleyebilecek alternatif yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerji sistemleri bir veya daha fazla rüzgâr türbininden oluşan sistemlerdir. Fosil yakıtlı kaynaklara göre temiz bir enerji kaynağı olmasına rağmen, rüzgâr enerjisi ilk kurulum maliyeti, gürültü kirliliği, değişken rüzgâr hızları, göçmen kuşların göç yolları üzerinde kurulmaları gibi durumlar açısından dezavantajlıdır.

Doğanın en büyük güçlerinden biri olan rüzgârı oluşturan hava akımı kinetik yani hareket enerjisine sahiptir. Rüzgâr, türbin kanatlarına çarptığı zaman kendisinde var olan kinetik enerjinin yaklaşık % 50' sini türbin kanatlarına aktarır. Kanatlar dönmeye başladığında rotorda rüzgârdaki kinetik enerji mekanik enerjiye dönüşür. Bu sayede bir döndürme momenti sağlanır. Moment etkisi ile kanatların bağlı bulunduğu düşük hızlı mil dönmeye başlar. Rotor milinin hızı artırılır, yüksek hızlı mil tarafından çalıştırılan jeneratör dönmeye başlar ve elektrik üretimi gerçekleşir.

Kanatlardaki hareket jeneratöre 2 farklı sistemle iletilir. Türbinlerin çalışma mantığı aynı olmasına rağmen jeneratör sistemleri farklı olabilir. Dişli sistemle çalışan türbinlerde kanatlar, sabit olarak dakikada yaklaşık 30 devir dönmektedir. Dişli sistem devir sayısını 50 kat arttırarak jeneratöre 1500 devir olarak iletir. Dişli sistemi olmayan türbinlerde kanat milindeki dönme hareketi direk jeneratöre aktarılır. Arada bir dişli sistemi bulunmadığından, jeneratör kanatların devir sayısına göre değişken olarak dönmektedir. Rüzgâr hızına bağlı olarak değişen alternatif akım, elektronik dönüştürücüler aracılığı ile şebekeye uyumlu hale getirilir ve trafolar aracılığı ile en yakın trafo merkezine aktarılır.

Türbin kanatları döner platforma yaklaşık 90° hareket edebilecek bir sistemle bağlanır. Rüzgâr hızı az olduğu zaman rüzgârın doğrultusu ile kanat yüzeyi arasındaki açı rüzgârın kanatlara tam çarpabilmesi için en yüksek değerdedir. Rüzgâr hızı arttıkça bu açı küçülür. Rüzgâr hızı 25 m/s' ye ulaştığı zaman türbin kendini otomatik olarak

durdurur. Durma anında kanat yüzeyi ile rüzgâr doğrultusu arasındaki açı 0° ye yaklaşır. Böylece rüzgârın kanatlara çarpma şiddeti minimuma indirgenir. Rüzgâr hızı maksimum hız sınırının altına düşünce türbin tekrar çalışmaya başlar. Eğer rüzgâr hızı iki kat artarsa, rüzgârdaki enerji sekiz faktör artmaktadır. Herhangi bir arıza durumunda da kanatlar, rüzgâr doğrultusu ile arasındaki açıyı 0° ye yaklaştırır.

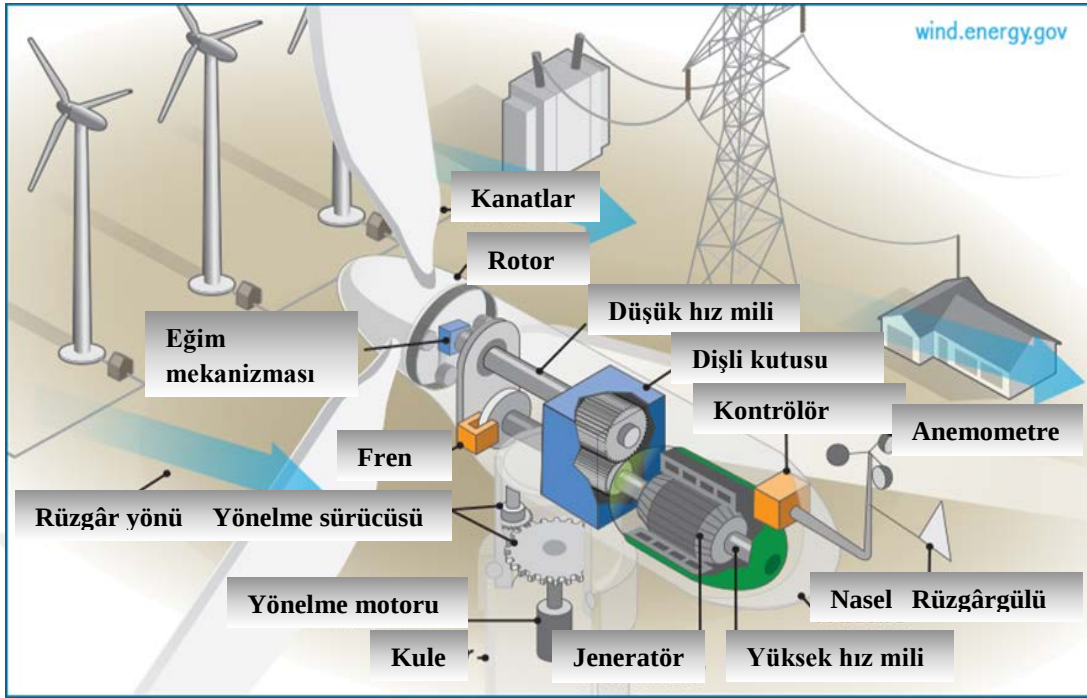
Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre yatay eksenli türbinler ve düşey eksenli türbinler olarak sınıflandırılır. Yatay eksenli türbinler dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel olacak şekilde tasarlanırlar. Kanatlar ise rüzgâr yönüyle dik açı yapmaktadırlar. Yatay eksenli türbinler genellikle piyasada yaygın olarak kullanılırlar. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak şekilde imal edilirler. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım alanı yoktur. Rüzgârı önden alan türbinlerin avantajı, kuleden kaynaklanan rüzgâr gölgelenmelerinden etkilenmemeleridir. Düşey eksenli türbinlerde, türbin mili düşeydir ve rüzgârın geliş yönüne dik konumdadır. Savonius, Darrius tipinde çeşitleri bulunmaktadır. Genel üretim amacı deneysel kullanım içindir.

3.2.1 Rüzgâr Türbinini Oluşturan Elemanlar

Her bir türbin birçok farklı görevi yerine getiren elemanlardan oluşmaktadır. Genel olarak türbini oluşturan elemanlar [47] ;

- Kule
- Nacelle (Nacelle)
- Kanat (Pervane)
- Göbeğe bağlanmış iki veya üç kanatlı rotor
- Dişli kutusu
- Mekanik dişli mili (Düşük ve Yüksek Hız Milleri)
- Elektrik jeneratörü
- Yön saptırma (Yönelme) sürücüsü
- Yön saptırma (Yönelme) Motoru
- Eğim mekanizması
- Anemometre ve yel bayrağı
- Frenler
- Hız kontrolörü ve kontrol sistemleri vb. elemanlardır.

Şekil 3.4’ de bir rüzgar türbini elemanları gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Rüzgar Türbini Elemanları [48]

3.2.1.1 Kule

Rüzgâr türbininin en önemli parçalarından biri olan kule; rotoru ve naseli destekleyerek pervaneleri taşımaktadır. Uygulamalarda genellikle çelik veya beton kuleler kullanılmaktadır. Yapımı dairesel veya kafes şeklindedir. Kuleler bina ve çevreden etkilenmemeleri için en az 25-30 m yüksekliğe kurulmalıdırlar. Uzun kuleler, türbinin daha fazla enerji alması ve daha fazla elektrik üretmesini sağlarlar. Dairesel kuleler türbinin tepesine rahat ulaşılması için içerisinde bir merdiven bulundurduğundan, arıza durumunda personelin türbinlere ulaşması için daha güvenlidir. Kafes kuleler ise dairesel kulelere göre daha ucuzdur [47].

3.2.1.2 Nasel (Nacelle)

Nasel, kulenin en üstüne oturtulmuş olan ve bünyesinde dişli kutusu, düşük ve yüksek hız milleri, jeneratör, kontrolcüler ve fren barındıran kısımdır.

3.2.1.3 Kanat (Pervane)

Kanatlar, rüzgârı maksimum yakalama kabiliyetinde tasarlanan ve rüzgâr enerjisini rotora aktaran, türbinin görünür olan bir elemanıdır. Türbinler genellikle iki veya üç kanatlı olarak kullanılırlar. Türbin kanatları alüminyum, titanyum, çelik, yüksek yoğunluklu ağaç lifi ile cam elyafı ve epoksi bileşiklerden imal edilirler. Modern rüzgâr türbin kanatları çoğunlukla cam elyafıyla güçlendirilmiş polyester veya epoksi plastikten üretilmektedir.

3.2.1.4 Rotor

Rotor rüzgârdaki kinetik enerjinin mekanik enerjiye çevrildiği ve bu enerjinin kullanılarak jeneratörün çalıştırıldığı kısımdır. Kanatlar ve gövde denen türbinin uç kısmı birlikte rotoru oluştururlar.

3.2.1.5 Dişli Kutusu

Dişli kutusu, düşük hız milini yüksek hız miline bağlayan, dönüş hızını 30-60 d/d' den 1000-1800 d/d' ye yükselten, rüzgâr türbininin en pahalı ve en ağır parçasıdır.

3.2.1.6 Mekanik Dişli Mili (Düşük ve Yüksek Hız Milleri)

Düşük hız mili rotordan tahrik edilen ve 30-60 d/d hızında dönderilen mildir. Rüzgâr türbininin düşük hız mili rotor göbeğini dişli kutusuna bağlar. Yüksek hız mili ise dişli kutusunu jeneratöre bağlayan ve yüksek hızlarda jeneratörü tahrik eden mildir.

3.2.1.7 Elektrik Jeneratörü

Elektrik jeneratörü, mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. Rüzgâr türbini jeneratörleri 60 devirlik AC elektrik üreten ve genellikle satışa hazır olan asenkron jeneratörlerdir. Jeneratörler türbin kullanım amacına göre DC elektrikte üretebilmektedirler.

3.2.1.8 Yön Saptırma (Yönelme) Sürücüsü

Rüzgâr yönü değişirken, yön saptırma sürücüsü rüzgâra karşı yerleştirilen (upwind) türbinleri rüzgârı yüz yüze karşılayacak şekilde tutmaya yarar. Rüzgâr rotor üzerine rüzgâr yönünde geldiği için, rüzgâr yönünde yerleştirilen (downwind) türbinler

yön saptırma sürücüsüne ihtiyaç duymazlar. Başka bir ifade ile yönelme sürücülerini rüzgârın esme yönüne bağlı olarak rotorun hareketini belirler.

3.2.1.9 Yön Saptırma (Yönelme) Motoru

Yön saptırma motoru, yön saptırma (yönelme) sürücüsünü çalıştıran elemandır.

3.2.1.10 Eğim mekanizması

Rüzgâr yönünün değiştiği anları yelkovan sayesinde farkedilen bir elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla çalıştırılan ve içerdikleri elektrik motorları aracılığıyla kanatlar ile beraber rüzgâr türbininin gövdesini rüzgâra karşı çeviren bir mekanizmadır.

3.2.1.11 Anemometre ve yel bayrağı

Anemometre rüzgâr hızını ölçüp kontrolör sistemine aktaran, yel bayrağı ise rüzgâr yönünü belirlemeye yarayan elemanlardır.

3.2.1.12 Frenler

Fren sistemi birincil ve ikincil olmak üzere iki tanedir. Aerodinamik kanat uçları birincil frenleme sistemi olarak çalışırlar. Yüksek hız miline yerleştirilen disk freni ise ikincil frendir. Her iki sistem birbirlerinden bağımsızdırlar ve gerektiğinde tehlikeli bir durumdan güvenli bir duruma ulaşabilmek için rüzgâr türbinini yavaşlatabilirler.

3.2.1.13 Hız kontrolörü ve kontrol sistemleri

Hız kontrolörü, rüzgâr türbininin elektrik enerjisi üretimine başlayacağı minimum rüzgâr hız değerini (cut-in speed) ve rüzgâr türbininin devre dışı kalacağı maksimum rüzgâr hız değerini (cut-out speed) kontrol etmeye yarar. Kontrol sistemi, türbinleri iletim ve kesim hızlarında maksimum güçte çalışmasını sağlayan ve kritik sınırı geçen aşırı rüzgârlarda durduran sistemlerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Ele alınan bu tez çalışmasında İnönü Üniversitesi' nin belirli bir elektrik yükünün HOMER programında modellenecek hibrid enerji sistemi ile karşılanması amaçlanmış ve bu hedef doğrultusunda sistemin maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Maliyet analizleri; toplam net maliyet, ilk yatırım maliyeti ve birim elektrik enerjisi maliyeti olmak üzere 3 şekilde hesaplanmıştır. Sistem modellenmesinde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları esas alınmıştır. Ancak sisteme jeneratör de eklenerek sistemin aynı elektrik yükünü karşılama noktasında nasıl cevap vereceği incelenmiştir. Birden fazla senaryo oluşturularak, farklı senaryolara ait en uygun optimum sonuç belirlenmeye çalışılmış ve yatırım maliyeti, birim elektrik enerjisi tüketim bedeli, atmosfere yayılan CO₂ gibi zehirli gazlar incelenmiştir.

4.1.1 Malatya İli

Malatya 38° 21' 19.31" kuzey enlemi ve 38° 20' 00.69" doğu boylamı arasında yer almaktadır ve Doğu Anadolu Bölgesi' nin Yukarı Fırat Havzasında ve Adıyaman, Elazığ, Bingöl, Muş, Van illerinin güneybatı ucunda yer alır ve. Çevresi doğuda Elazığ (98 km) ve Diyarbakır (251 km), güneyde Adıyaman (185 km), batıda Kahramanmaraş (219 km), kuzeyde Sivas (245 km) ve Erzincan (363 km) illeri ile çevrilidir.

Malatya, Doğu, Güneydoğu ve Orta Anadolu arasında yer alan bir ovadır. Ova, kuzeyden güneye doğru hafif bir eğimle uzanır. Arazi denizden uzak ve yüksektir. Bu nedenle de Malatyanın iklimi serittir. Yazlar sıcak ve kurak; kışlar ise, çoğu kez yağışlı ve soğuk olan sert iklimine karşın bölgede yer yer Doğu, Güneydoğu ve İç Anadolu iklim özelliklerini de görmek mümkündür. İklim, değişik özellikler gösteren üç ayrı bölgede incelenebilir. İldeki yüksek platolarda İç Anadolu'nun step iklimi gözlenir. Güney ovasında, Fırat-Dicle nehirleri arasının ılık iklimi ile Suriye Çölü'nün yakıcı sıcaklıklarından dolayı özel bir Akdeniz iklimi görülür. Dağlık bölgelerde ise, kışlar soğuk olup, her iki bölgenin de etkisinde bulunan bir iklim hüküm sürer. Denizden yüksekliği yaklaşık 960 metre olan Malatya'da yılın en yağışlı mevsimi ilkbahardır. En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubatır.

Dağlık bir bölgede yer alan Malatya il topraklarının % 54'ü çayır ve meralardan, % 31' i ekili ve dikili araziden oluşmaktadır. Ormanlık alan çok az olup % 10 kadardır. Akarsu çevreleri orman gibi uzayan kayısı bahçeleri ile kaplıdır ve akarsu kıyılarında bol sayıda söğüt, kavak ve ceviz ağacı yetişmiştir. Alüvyal topraklar ilde daha çok Fırat Nehri ile Tohma Çayı boyunca yer almaktadır. Toplam alanları 20236 hektar olup, bunun 19703 hektarı birinci sınıf, 442 hektarı ikinci sınıf ve 95 hektarı ise kötü olarak nitelendirilen üçüncü sınıf arazidir. Bazaltik topraklar ise genellikle Arapgir ve Arguvan arasında bulunmaktadır. 75080 hektarlık alana sahip olan ve % 6,1' lik yer kaplayan bu toprakların sadece % 26' sı toprak işlemeli tarıma uygundur [49, 50].

Güneş potansiyeli açısından iyi durumda olan bölgede yakın zamanda İnönü üniversitesi içinde 5 MW büyüklüğünde güneş santrali kurulmuştur. Rüzgâr potansiyeli açısından yapılan ölçümlere göre en verimli bölgenin Arapgir ilçesi olduğu söylenebilir.

4.1.2 İnönü Üniversitesi Yerleşkesi

İnönü Üniversitesi 38° 19' 50.19'' kuzey enlemi ve 38° 26' 28.60'' doğu boylamı koordinatlarında bulunmaktadır. İnönü Üniversitesi, 28 Ocak 1975 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisinde, 25 Mart 1975 tarihinde ise Cumhuriyet Senatosunda kabul edilen ve 3 Nisan 1975 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 1872 sayılı 'İnönü Üniversitesi Kanunu' ile kurulmuş olup, 7000 dekarlık merkez kampüsünün yanında, 620 dönümlük Battalgazi Kampüsünde ve 2' si şehir merkezinde 4' ü ilçelerde olmak üzere toplam 6 yerleşkesinde eğitim-öğretim, bilimsel araştırma ve uygulama faaliyetlerini sürdüren bir eğitim kurumudur. Görev yapmakta olan binlerce akademik ve idari personel, lojmanlarda yaşayan insanlar ile toplam yaklaşık 3.300 öğrenciye barınma imkânı sağlayan 2500 kişilik bir devlet kız yurdu ve 805 kişilik özel kız ve erkek öğrenci yurtları düşünüldüğünde tüketilen elektrik miktarları yüksek seviyelerdedir. Şekil 4.1' de İnönü Üniversitesi yerleşkesinin uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1 İnönü Üniversitesi yerleşkesi

4.1.3 HOMER Yazılımı

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), enerji optimizasyon modeli, geniş bir uygulama alanında enerji üretimine yardımcı olan teknolojilerin karşılaştırılmasını sağlamak ve mikro enerji sistemlerinin tasarımına yardımcı olmak için Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (U.S. National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımıdır. HOMER, güç sisteminin fiziksel davranışını modeller ve çalışma süresi boyunca ki maliyet analizlerini gerçekleştirir. Fiziksel davranış, toplam kurulum ve işletme maliyetleri anlamına gelir. Maliyet analizi ise sistem yatırım maliyeti, toplam net maliyet, birim enerji maliyeti ve işletme maliyetidir. HOMER modelleme yapan kişiye teknik ve ekonomik değerlere bağlı olan birçok farklı tasarım imkânı sunar. Ayrıca, giriş verilerindeki belirsizliklerin ve değişikliklerin giderilmesi ve sayısallaştırmaya yardımcı olur. Homer ile şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız hibrid ya da tekil enerji sistemler modellenebilir. Yazılım içeriğinde ilk olarak 4 farklı yük girdisine izin vermektedir. Bu yükler; elektrik yükü, ertelenebilir yük, ısı yük ve hidrojen yüküdür.

Homer ile fotovoltaik modüller, rüzgâr türbinleri, hidro türbinler, jeneratör, batarya, konvertör, kazan, elektrolizer, hidrojen tankı, hidrokinetik, yakıt dönüştürücü

gibi elemanlarla şebekeye bağlı veya bağımsız hibrit sistemler modellenebilir. Büyük sayıda tasarım opsiyonu ve ana parametrelerdeki belirsizlik durumundan (yükün büyüklüğü ve değişebilecek yakıt fiyatları gibi) dolayı mikrogüç sistemlerinin tasarımı ve analizi zorlaşmaktadır. Buna ek olarak yenilenebilir enerji kaynakları da sistem tasarımını zor hale getirmektedir. Çünkü güç çıkışı mevsimlere göre değişken olabilir ve yenilenebilir enerji kaynakların miktarları değişebilir. HOMER tüm bu zorluklarla başa çıkabilmek için tasarlanmıştır.

HOMER, sırasıyla simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve hassaslık (duyarlılık) analizi işlemlerini gerçekleştirmektedir. Simülasyon (benzetim) aşamasında HOMER sistemin teknik olarak mümkünliğini, yani kurulu sistemin gücünün yeterli olup olmadığını ve sistem ömrü boyunca maliyetini belirlemek amacı ile çeşitli parçalardan meydana gelen mikrogüç sistem konfigürasyonunun performansını yılın her bir saati için modellemektedir. Optimizasyon (iyileştirme) aşamasında, HOMER oluşturulmuş çok farklı sistemlerin en düşük ömür boyu maliyetli teknik sınırlarını karşılayabilecek şekilde benzetimini yapar. Optimizasyon, sistemi tasarlayan kişinin kontrolünde olan değişkenlere göre en uygun değerleri belirlemektedir. Bu değişkenler sistemi oluşturan elemanların âdeti ve büyüklükleri gibi değişkenlerdir.

Son aşama olan duyarlılık (hassaslık) analizinde ise, HOMER kullanıcı tarafından sisteme tanıtılan giriş verilerindeki değişikliklerin veya belirsizlik durumlarının etkilerini incelemek üzere giriş verilerinin belirli aralıklarda değer alacağını varsayarak bu geniş alan için çoklu optimizasyonlar uygulamaktadır. Hassaslık analizi ortalama rüzgâr hızları, güneş radyasyonu, sıcaklık veya ilerleyen yıllardaki yakıt fiyatları, sistem elemanları fiyatları gibi kullanıcının kontrolünde olmayan değişkenlerin işlemlerini gerçekleştirmektedir [16, 51, 52].

4.1.3.1 Simülasyon (Benzetim)

HOMER sistem benzetimini; saatlik olarak, yenilenebilir güç miktarlarını hesap ederek, elektrik yükü ile karşılaştırmasını gerçekleştirir ve yenilenebilir enerji miktarının fazlalığı durumunda ne yapılması gerektiğine veya enerji eksikliği olduğunda ise ek enerji üretiminin mi yoksa şebekeden satın alımının mı daha iyi olacağına karar verir. Tüm bir yıl için sonuçları hesapladıktan sonra, HOMER, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji miktarının toplam enerji miktarına oranı veya

belirli gazların emisyon miktarları vb. gibi kullanıcının oluşturduğu kısıtlamalara göre sistemin istenilen sınırlar içerisinde olup olmadığını belirler.

HOMER bir sistemin yaşam boyu maliyet hesabı için ihtiyaç duyulan birtakım değerleri de hesaplamaktadır. Bu değerler yıllık olarak yakıt tüketim miktarı, jeneratör çalışma saati, tahmini batarya ömrü, şebekeden satın alınan enerji miktarı gibi değerlerdir. HOMER, sistem ömür boyu maliyetini belirtmek için NPC (toplam net şimdiki maliyet) ifadesini kullanır. Bu tek değer, proje yaşam ömrü boyunca ortaya çıkan tüm gelir ve giderlerin, ilerleyen yıllarda oluşabilecek bütün para akışının şimdiki zamana indirgenmesi yöntemiyle dâhil edilen değerdir. Toplam net şimdiki maliyet, sistem parçalarının ilk yatırım maliyetlerini, proje yaşamı boyunca oluşan parça yenileme maliyetlerini, işletme ve bakım maliyetlerini, yakıt maliyetlerini, şebekeden satın alınan enerji maliyetlerini ve emisyon cezalarını içerir. Gelirlere ömrü tamamlanan parçalardan yani hurda elemanlardan elde edilen kazanç ve elektrik satışları dâhildir. Üretilen fazla enerjinin şebekeye satışı sonucu elde edilen gelirler NPC' yi azaltır.

HOMER, birbirine bağımlı olmayan yenilebilir enerji kaynaklarından meydana gelen birçok güç sistemi tipi için bir saatlik bir zaman dilimini modellemenin doğruluğu açısından yeterli görmektedir ve çok daha küçük zaman dilimine gereksinim duyan anlık elektriksel değişimleri de inceleyebilmektedir. Yükteki artış ve geçen zamanla birlikte batarya performansının kötüleşmesi gibi değişiklikler ise bu programda hesaplanmaz. Fakat modelleyici tarafından hassaslık analizi ile bu şartların etkileri analiz edilebilir [16, 51, 52].

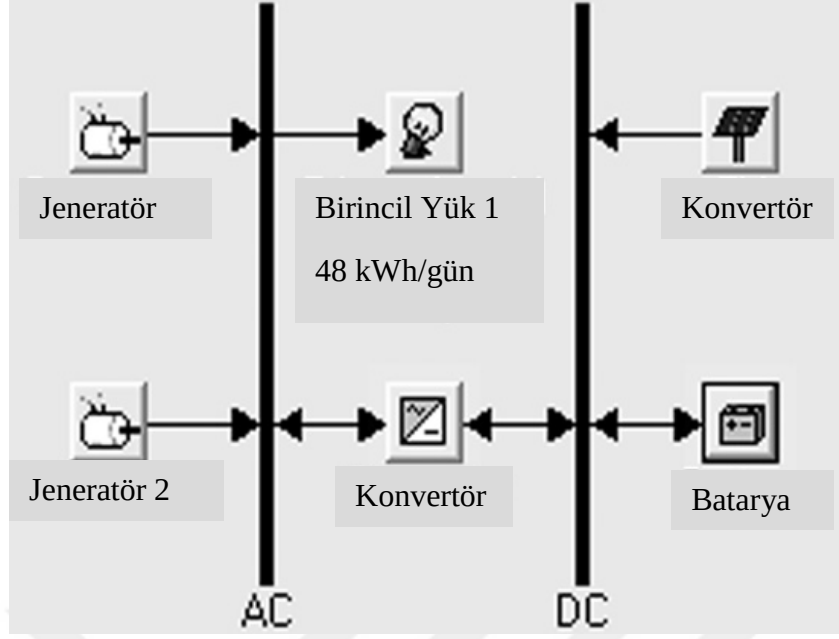
4.1.3.2 Optimizasyon (İyileştirme)

Simülasyon belirli bir sistem konfigürasyonunu modelleyebilirken, optimizasyon ise olabilecek en iyi sistem konfigürasyonunu belirler. HOMER' de en düşük toplam net bugünkü maliyeti sağlayabilecek, tasarımcının girdiği kısıtlama değerlerini karşılayabilecek en iyi veya optimum sistem konfigürasyonu bir tanedir. Optimum sistem konfigürasyonunu bulmak demek, başta sistemin mutlak sahip olması gereken elemanların konfigürasyonuna, her bir elemanın büyüklüğüne ya da niceliğine karar vermek demektir. Tüm bunların yanı sıra bu kısımda dispatch strategy denen bir kavram ortaya çıkmaktadır ve tasarımcı programın sistem kontrol bölümünde yer alan bu bölümden sistemin kullanması gereken dispatch stratejiye karar vermesi gerekir.

Optimizasyonda, HOMER, birçok farklı sistem konfigürasyonunun simülasyonunu gerçekleştirir, kullanıcı girdili kısıtlamaları karşılayamayanları dikkate almaz, gerçekleştirilebilir olan konfigürasyonları toplam net bugünkü maliyete göre sıralar ve en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip olanı optimum sistem konfigürasyonu olarak sunar. Optimizasyon işleminin esas amacı, kullanıcının belirlediği her bir karar değişkeninin en uygun değerini belirlemektir. Karar değişkenleri sistem tasarımcısının kontrolünde olan değişkenlerdir ve bu değişkenler için HOMER, optimizasyon işleminde çeşitli olabilecek değerler dikkate alabilir. HOMER’ deki karar değişkenleri şunlardır:

- Fotovoltaik dizinin büyüklüğü
- Rüzgâr türbinlerinin sayısı
- Hidro sistemin varlığı (HOMER yalnızca bir hidro sistemi dikkate alabilir ve bu nedenle verilecek karar enerji sisteminin hidro sistemi içerip içermeyeceği ile ilgilidir.)
- Her bir jeneratörün büyüklüğü
- Bataryaların sayısı
- AA-DA dönüştürücünün büyüklüğü
- Elektrolizerin büyüklüğü
- Hidrojen depolama tankının büyüklüğü
- Dispatch strateji (sistemin nasıl çalışacağını yöneten kurallar kümesi)

Optimizasyon, tasarımcıya birçok olasılık içinden optimum sistem konfigürasyonunu belirlemesi için yardımcı olabilir. Örneğin, fotovoltaik panel, jeneratör ve bataryalara sahip bir sistemin donanım iyileştirilmesi görevini inceleyelim. Sistemin yeniden tasarımı için seçenekleri analiz etme hususunda, kullanıcı Şekil 4.2’ de gösterilen ekipmanların düzenini dikkate almak isteyebilir fakat fotovoltaik panellerin büyüklüğünün, bataryaların adetinin ve dönüştürücünün büyüklüğünün yaşam döngüsü maliyetini ne kadar minimize edeceğini önceden kestiremeyecektir. Bu sebeple, bu üç değişken gerçekleştirilecek analizde karar değişkenleri olacaktır. Belirli bir kurallar kümesi de bir karar değişkeni olabilir. Bu kısım, fiziksel modelleme bölümünde daha detaylı bahsedilecektir [16, 51, 52].



Şekil 4.2 Fotovoltaik panel, jeneratör ve bataryalara sahip bir sistem

4.1.3.3 Hassaslık (Duyarlılık) Analizi

Sistem çıkışının giriş verilerindeki değişikliklere ne oranda duyarlı olduğu programda hassaslık analizi adı altında incelenmektedir. Kullanıcı analizde her bir giriş değişkeni için birden fazla değer girebilir. Tasarımcı tarafından birden fazla değer girilen bu değişkenler “duyarlılık değişkenleri” olarak bilinir. Karar değişkeni olmayan tüm değişkenler HOMER’ de duyarlılık değişkeni olarak girilebilir. Örneğin, yakıt fiyatı, şebeke enerjisi fiyatı, PV dizisinin ömrü ya da reel faiz oranı duyarlılık değişkeni olabilir. HOMER’ de her bir duyarlılık değişkeni ayrı bir duyarlılık durumunu göstermektedir. Kullanıcı belirli giriş verileri için sistem modeline çoklu değerler girebilir. Farzedelim ki, tasarımcı şebeke elektrik fiyatı için 4 farklı değer ve reel faiz oranı için 5 farklı değer programa tanıtsın. Bu durumda 20 farklı duyarlılık durumu oluşur. HOMER her bir duyarlılık durumu için ayrı birer optimizasyon süreci uygular ve sonuçları grafik ile tablo şeklinde gösterir. Hassaslık analizinin öncelikli esas görevi veri belirsizlikleriyle ilgilenmektir. Kullanıcı, incelemek istediği değişkenleri belirli aralıklarda değişecek şekilde programa aktarabilir ve sonuçların nasıl değiştiğini görebilir.

4.1.3.4 Fiziksel Modelleme

Fiziksel modelleme kısmı, HOMER programında bir sistemin fiziksel olarak çalışmasının nasıl modellendiğini açıklayan bölümdür. HOMER’ de, modellenecek enerji sistemi en azından bir elektrik ya da ısı enerji kaynağı (rüzgâr türbini, buhar kazanı, dizel jeneratör veya şebeke) ve bu enerji kaynağının üreteceği enerji için bir bitiş noktası (elektrik yükü, ısı yük veya şebekeye elektrik enerjisi satabilme vb. durumlar) bulundurmalıdır. Ayrıca enerji sistemleri, elektrolizer veya aa-da dönüştürücü gibi enerji dönüşüm araçlarını ve batarya ile hidrojen depolama tankı gibi enerji depolama araçlarını da içerecek şekilde tasarlanabilir. Sistemin beslemesi gereken yükler, sistem elemanları, bu elemanların kullanılan ilgili enerji kaynaklarını nasıl modellediği ve yükleri beslemek veya istenilen enerjiyi karşılamak için bu elemanların beraber nasıl çalıştıkları bu kısımda incelenecektir.

Bir enerji sisteminin modellenmesi, ilk olarak sistemin beslemesi gereken yük veya yüklerin modellenmesi ile başlamaktadır. HOMER, birincil yük, ertelenebilir yük ve termal yük olmak üzere üç adet değişik yük tipini modelleyebilir. Birincil yük (primary load), belirli bir program temel alınarak sağlanması gereken elektrik ihtiyacıdır. Ertelenebilir yük (deferrable load), belirli bir zaman içerisinde herhangi bir zaman anında sağlanabilir olan elektrik ihtiyacıdır. Termal yük (thermal load) ise adından da anlaşılacağı gibi ısı ihtiyacını belirtir.

HOMER kullanıcısı, bütün bir yıl için saatlik yük verisini içeren bir dosyayı matlab vb. yazılımlar aracılığı ile HOMER’ e aktararak ya da ortalama günlük yük profilinden HOMER’ in saatlik yük verisini doğal olmayan yol ile oluşturmaya izin vererek kilowatt birimini esas almak koşulu ile birincil yük değerini belirtmesi gerekir. Saatlik yük verisi doğal olmayan bir şekilde oluşturulur iken HOMER, kullanıcı tarafından girilen ortalama günlük yük profiline dayanarak bu saatlik yük değerlerini oluşturur. Tasarımcı, yıl boyunca uygulanacak olan 24 saatlik bir yük profili belirleyebilir, her bir ay için farklı yük profili seçebilir ya da her bir ayda ki hafta içi ve hafta sonu günleri için farklı yük profilleri oluşturabilir. HOMER, doğal olmayan yollardan elde edilen saatlik yük verisine her bir güne ait yük modelinin daha gerçekçi olması için tasarımcı tanımlı rastgelelikler ekler. HOMER, her biri da ya da aa olabilecek iki farklı birincil yük modelleyebilir [16, 51, 52].

Yük profili oluşturulduktan sonra, kullanıcı tarafından elektrik enerjisi ya da termal enerji üretmek için sisteme dışarıdan aktarılan anlamına gelen bir takım kaynak çeşitleri modele girilmelidir. Bu kaynaklar başta yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidro ve biyokütle) olmak üzere, dizel veya doğalgaz gibi yakıtlardır.

4.1.3.5 Ekonomik Modelleme

HOMER' in temel ekonomik çıktısı, Toplam Net Bugünkü Maliyet (NPC) olup tüm sistemler bu maliyet değerlendirilerek sıralanmaktadır. NPC, bir sisteme ait yaşam ömrü maliyetini temsil eden bir kavramdır. Bu değer sistemin proje ömrü boyunca ortaya çıkan maliyettir ve bu süre içerisindeki tüm gelir ve giderleri kapsamaktadır. Homer' de geçen zamanla birlikte nakit akışları bugüne iskonto edilmiş olup proje yaşamı boyunca ortaya çıkan tüm maliyetler belirlenen herhangi bir para birimi cinsinden toplu şekilde ödenen para miktarı olarak özetlenir. NPC, bütün bileşenlerin sermaye maliyetlerini, proje ömrü boyunca kullanılan ekipman değişim maliyetlerini, bakım-onarım maliyetini ve şebekeden alınan enerji maliyetlerini içermektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin işletme maliyetleri genelde düşüktür, ancak ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Geleneksel sistemlerde ise bu durum tam tersi olmaktadır. HOMER ekonomik hesaplamalar yaparken yenilenebilir ve geleneksel enerji sistem konfigürasyonlarının karşılaştırmasını gerçekleştirdiğinden sermaye ve işletme maliyetlerini hesaba katmaktadır. Bu nedenle sistemlerin karşılaştırılmasında toplam net bugünkü maliyeti temel almak daha doğru olacaktır. HOMER yazılımı hem en düşük NPC' ye sahip olan sistem konfigürasyonunu bulmaya çalışır hem de uygun sistemleri bu değere göre sıraya koyar ve proje yaşamı boyunca tüm fiyat artışlarının aynı oranda artacağını varsayar. Bu düşünce ile, gelecekteki nakit akışları bugüne indirgenmiş olurken, nominal faiz oranı yerine reel faiz oranı (enflasyona ayarlı) kullanılır. Bu hareketle enflasyon değeri analiz dışı bırakılmış olur [16, 51, 52].

Tasarlanan proje ömrünün sonuna gelindiğinde, kullanılan ekipmanlar hurda olarak değerlendirilmektedir. Ekipmanların hurda maliyetlerinin hesaplanmasında ise aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$S = C_{değişirme} \frac{R_{kalan}}{R_{ekipman}} \quad (4.1)$$

Bu denklemde S, C_{değişirme}, R_{kalan} ve R_{ekipman} sırası ile hurda değeri, ekipman değişim maliyeti, ekipman kalan ömrü ve ekipman ömrü anlamına gelmektedir.

HOMER, her bir elemanın yıllık maliyetini bulmak için bu elemanın sermaye, değişim, işletme, bakım, yakıt maliyeti buna ilaveten hurda değeri ve varsa diğer maliyet ve gelirleri birleştirmektedir. HOMER, sistemin toplam yıllık maliyetini bulabilmek için her bir eleman için elde edilen tekil maliyetleri ve kirletic maddelerin emisyonlarından kaynaklanan cezalar gibi çeşitli maliyetleri toplar. Bu yıllık değerler HOMER' in iki önemli parametreyi hesaplaması açısından önemlidir. Bu iki önemli ekonomik parametreden biri toplam net bugünkü maliyet iken, diğeri birim enerji maliyetidir (Levelized Cost of Energy- COE). Toplam net bugünkü maliyet aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$NPC = \frac{C_{yıl,top}}{CRF(i,R_{proje})} \quad (4.2)$$

Burada;

$C_{yıl,top}$: Toplam yıllık maliyet

i : Yıllık reel faiz oranı (iskonto)

R_{proje} : Proje yaşam süresi

$CRF()$: Amortisman faktörü (capital recovery factor) olarak tanımlanmakta olup aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte N proje ömür süresini ifade etmektedir.

Birim enerji maliyeti ise aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$COE = \frac{C_{yıl,top} - C_{kazan} H_y}{E_{AC} + E_{DC} + E_{şeb,satış}} \quad (4.4)$$

Burada;

$C_{yıl,top}$: Toplam yıllık maliyet [\$/yıl]

E_{AC} : Beslenen AC yük miktarı [kWh/yıl]

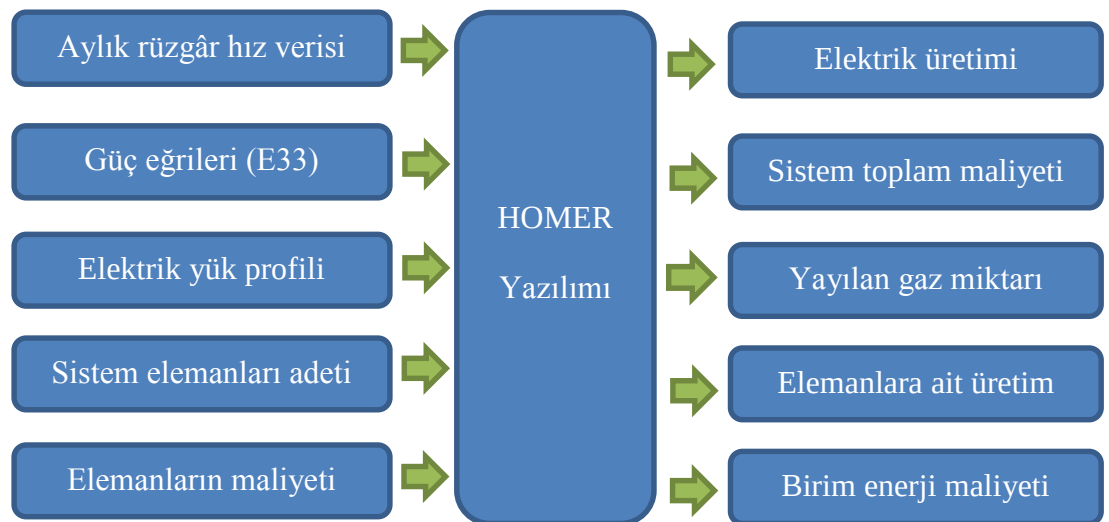
E_{DC}	: Beslenen DC yük miktarı [kWh/yıl]
$E_{şeb,satış}$	: Şebekeye satılan elektrik miktarı [kWh/yıl]
C_{kazan}	: Kazan sınır maliyeti [\$/kWh]
H_y	: Toplam ısı yük [kWh/yıl] anlamına gelmektedir.

Verilen eşitlikte paydada yer alan ifade, yıl boyunca sistemin ürettiği kullanışlı enerjinin toplam miktarının bir ifadesidir. Bu sebeple birim enerji maliyeti (COE), toplam harcanan elektrik enerjisinin kWh başına olan ortalama maliyeti olarak ifade edilmektedir. Eğer sistemde ısı yük modellenmemişse denklemdeki termal yük ($H_y=0$) sıfıra eşit olacaktır.

4.2 Yöntem

4.2.1 HOMER Veri Tanımlama Yöntemi

Yapılan tez çalışmasında HOMER veri tabanında bulunan enerji kaynaklarının ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi amacıyla kullanılan elemanların ve elektrik yükün modellenmesi bu bölümde ele alınmış ve yazılım algoritmasının nasıl işlediğinden bahsedilmiştir. Şekil 4.3 HOMER yazılımının bu çalışmada gerçekleştireceği adımları göstermektedir.



Şekil 4.3 HOMER metodoloji adımları

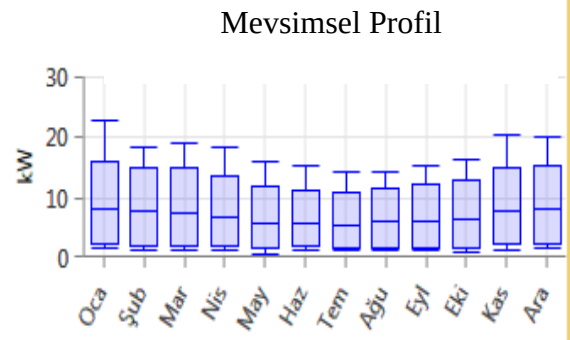
4.2.1.1 Yük Profili

Tasarımı yapılacak sisteme ait yük profili o sistemin enerji talebinden dolayı ortaya çıkan saat başına düşen enerji miktarı olarak ifade edilir. Üniversitenin tükettiği elektrik miktarı aylık ortalama 890.000 kWh’ dır. Bu miktarı tüketen yerler arasında Tıp lojmanları, Sağlık hizmetleri binası, Eczacılık, Turgut Özal Tıp Merkezi bulunmamaktadır. Üniversiteye ait elektrik yükü ve diğer bilgiler İnönü Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı’ ndan alınmıştır. Çalışmada karşılanması hedeflenen elektrik yük miktarı bu yükün %10’ u yani aylık 89.000 kWh kadardır. Bu durumda günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı 2966 kWh, saatlik ise 123,61 kW olmaktadır. Yük miktarı programa günlük ortalama 2966 kWh olarak girilmiştir. Yük profilini oluştururken saatlik yük verileri belirli olmadığından, girilen günlük ortalama yük profili HOMER tarafından 8760 saatin (bir yıl içerisinde bulunan saat sayısı) her birine karşılık gelen 8760 adet yük değerine dönüştürülür. HOMER tarafından oluşturulan bu saatlik yük verisini daha reel bir duruma getirebilmek için primary load inputs penceresinde random variability seçeneği altında yer alan günden güne (day-to-day) ve saatlik zaman (time step-to-time step) özellikleri kullanılarak var olan saatlik yük verisine rastgelelik katılabilir.

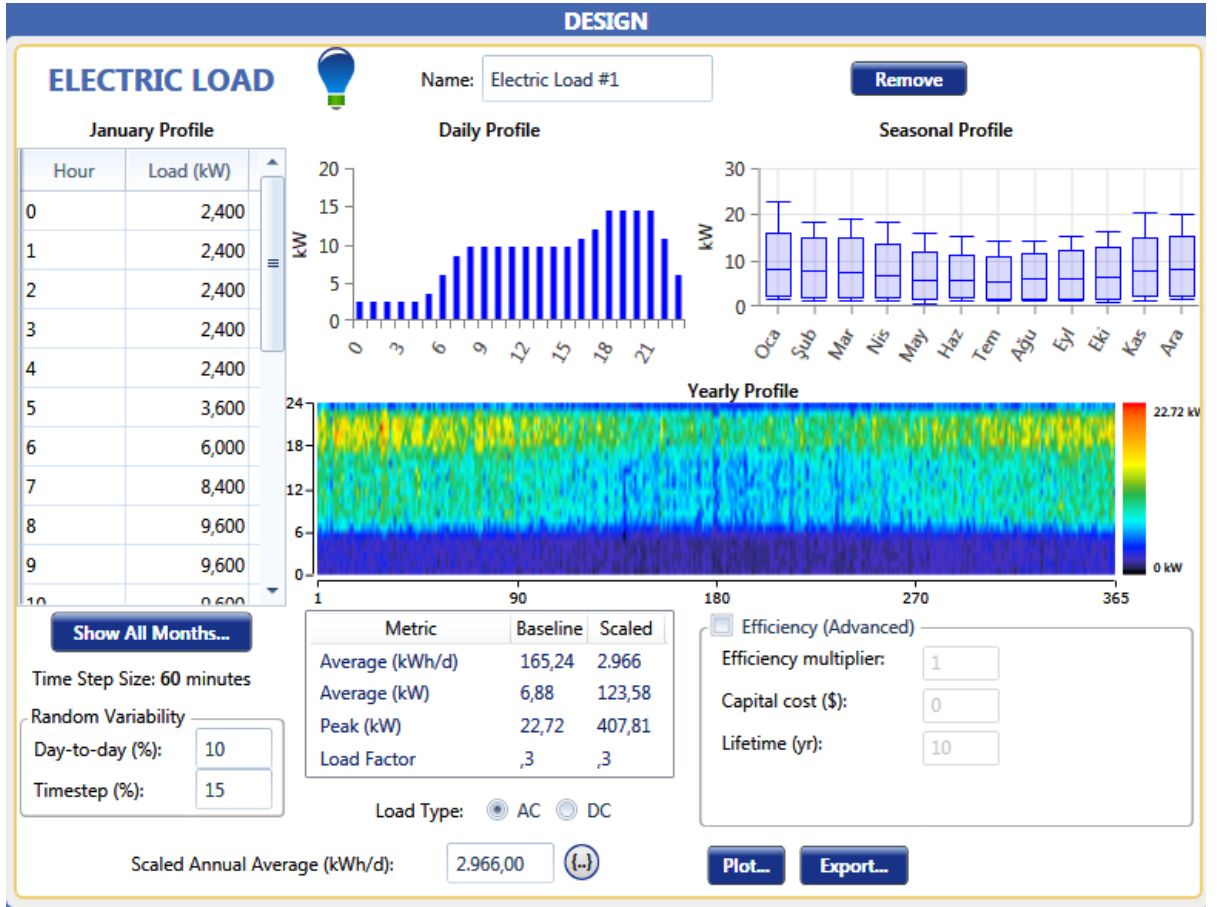
Bu rastgelelik seçeneklerinden ilki olan günden güne özelliği birbiri ardına gelen günlük yük ortalamalarındaki standart sapmayı ve saatlik zaman özelliği ise saatlik yük verisi ve ortalama günlük yük profili arasında bulunan farktaki standart sapmayı belirtmektedir. Bu iki rastgelelik değişkenleri için girilen değerler sırasıyla %10 ve %15’ tir. Şekil 4.4 ve 4.5 sırasıyla HOMER günlük yük profilini ve yıllık yük profilini göstermektedir. Gerekli veriler girildikten sonra HOMER yük profili şekil 4.6’ da ki gibi olmaktadır.



Şekil 4.4 HOMER günlük yük profili



Şekil 4.5 HOMER yıllık yük profili



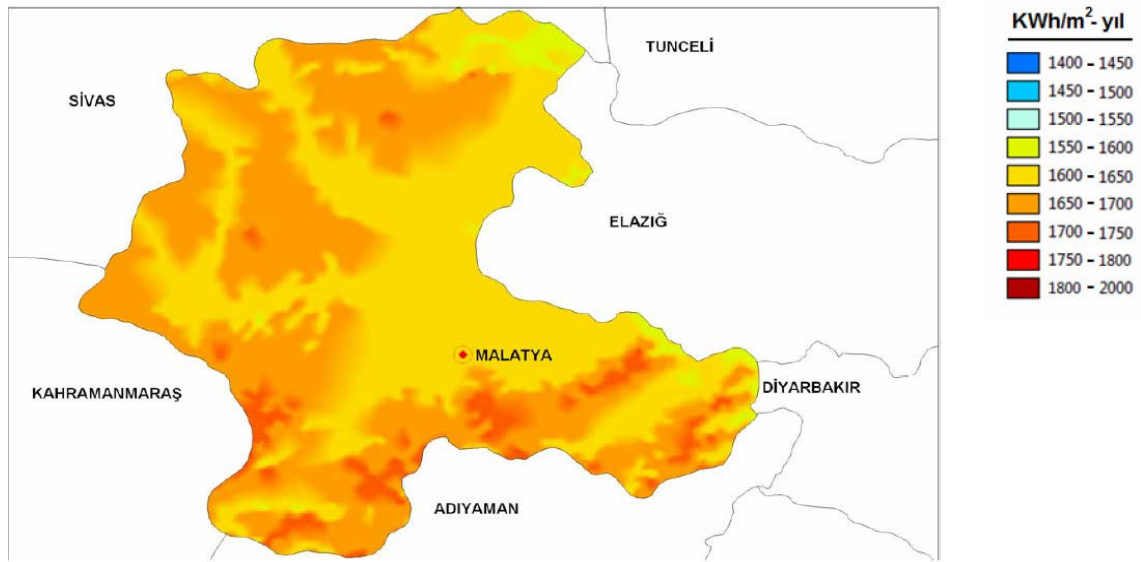
Şekil 4.6 HOMER yük profili

4.3 Modellenen Kaynaklar

Homer programda başta güneş, rüzgâr gibi enerji kaynakları olmak üzere sıcaklık, yakıt, biyokütle ve hidro kaynaklarının modellenmesine imkân tanımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bölgeye bağlı olarak çok fazla değişim gösterirler. Örneğin, güneş kaynağı enleme ve iklime, rüzgâr kaynağı büyük ölçekli atmosferik sirkülasyon durumlarına ve coğrafik etkilere, hidro kaynağı bölgesel yağmur miktarı değişimlerine ve biyokütle kaynağı ise bölgesel biyolojik üretkenliğe bağlı olarak değişmektedirler. Buna ilaveten herhangi bir bölgedeki yenilenebilir bir enerji kaynağı mevsimsel ve saatlik net değişiklikler sergileyebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının düzenli olup olmaması, yenilenebilir enerji sistemlerinin ekonomikliğini etkiler çünkü yenilenebilir bir enerji kaynağı, yenilenebilir enerji üretiminin zamanlamasını ve niceliğini belirler. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarının düzgün bir şekilde modellenmesi sistemin ana unsurunu oluşturur [16, 51, 52].

4.3.1 Güneş Enerjisi Kaynağı

Kaynakların modellenmesinde ilk olarak güneş kaynağı modellenmiştir. Güneş kaynağı modellenirken, yük profiline benzer şekilde ya matlab vb. programlar aracılığı ile ya da aylara göre manuel olarak programa veri girilmektedir. Eğer her aya ait ayrı ayrı değerler mevcut değilse üçüncü bir yol olarak ortalama yıllık güneş radyasyon değeri programa tanıtılmaktadır. Yapılan tez çalışmasında Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden talep edilen güneş radyasyon değerlerinde bazı aylara ait eksiklik olduğundan, üçüncü yol tercih edilmiş olup koordinatlara göre, HOMER' in kullanmış olduğu Uluslararası güneş radyasyonu veri tabanından güneş radyasyon değeri 4,83 kWh/m²/gün olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7' de Malatya ili global güneş radyasyon miktarları verilmiştir. Çizelge 4.1 ise koordinatlara göre HOMER' de oluşturulan ortalama güneş ışıınımı değerlerini göstermektedir. Bölgenin yıllık yaklaşık 1650-1800 kWh/m² aralığında yoğun radyasyon değeri aldığı görülmektedir. Günlük olarak radyasyon değeri hesaplandığında yazılımın veri tabanından çekilen 4,83 kWh/m²/gün değerine yakın bir sonuç alınabileceği söylenebilir.



Şekil 4.7 Malatya global güneş radyasyonu [53]

Çizelge 4.1 Ortalama güneş ışıınımı verileri

Aylar	Berraklık İndeksi	Günlük Işıınım (kWh/m ² /gün)
Ocak	0,455	2,060
Şubat	0,490	2,907
Mart	0,545	4,302
Nisan	0,542	5,307
Mayıs	0,580	6,433
Haziran	0,665	7,706
Temmuz	0,701	7,899
Ağustos	0,701	7,115
Eylül	0,712	5,980
Ekim	0,594	3,796
Kasım	0,530	2,534
Aralık	0,461	1,887

Eğer kullanıcı üçüncü yolu yani yıllık güneş kaynağı verisini belirtmeyi seçmiş ise HOMER, Graham ve Hollands tarafından geliştirilmiş bir algoritmayı kullanarak doğal olmayan saatlik küresel güneş ışıınımı verisini üretir. Bu algoritmanın girişleri aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri ve enlemdir. Bu algoritmanın çıkışı ise gerçekten ölçülmüş veri kümesi ile benzer istatistiksel karakteristikleri içeren 8760 saatlik bir veri kümesidir.

4.3.2 Rüzgâr Enerjisi Kaynağı

Rüzgâr türbinlerinin modellenmesinde, bir yıl süresince türbinlere etki edecek rüzgâr hızlarını içeren rüzgâr kaynağı verisininin programa girilmesi gerekmektedir. Kullanıcı, eğer elde mevcut ise ölçülmüş saatlik rüzgâr hızını belirtebilir. Aksi durumda, HOMER, aylık ortalama rüzgâr hızından doğal olmayan yollar ile oluşturulan saatlik rüzgâr hızı verisini ve ayrıca weibull biçim faktörü (weibull k), bağımlılık faktörü (autocorrelation factor), günlük değişim faktörü (diurnal pattern strength) ve maksimum rüzgârlı saat sayısı (hour of peak wind speed) olmak üzere dört adet ek istatistiksel parametreyi de üretebilir. Tez çalışmasında rüzgâr hızı verisi, Malatya

Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan rüzgâr hızı değerlerinde bazı aylara ait eksiklik olduğundan NASA surface meteorology and solar energy veritabanından çekilmiş olup değeri yıllık ortalama 3,89 m/s' dir.

Weibull k faktörü, yıl boyunca meydana gelen rüzgâr hızları dağılımının genişliğini tanımlayan bir ölçüdür. Programda gelişmiş parametreler seçeneğinin içerisinde bulunan weibull k faktörü 1,5 ile 2,5 arasında değer almaktadır. Çalışmada bu faktörün değeri 1,8 olarak belirlenmiştir. Otokorelasyon faktörü, herhangi bir saatteki rüzgâr hızının bir önceki saatteki rüzgâr hızına ortalama olarak ne kadar bağlı olma eğiliminde olduğunun bir ölçüsüdür ve değeri 0,80 ile 0,95 arasında değişmektedir. Ele alınan tez çalışmasında bu faktörün değeri 0,86 olarak girilmiştir.

Günlük değişim faktörü ve maksimum rüzgârlı saat sayısı ise sırasıyla gün içindeki rüzgâr hızının zamana bağımlılığının ölçüsü ve yıl boyunca ortalama olarak en rüzgârlı gün içerisindeki rüzgârlı saat sayısıdır. Günlük değişim faktörü 0 ile 0,4 arasında değişmektedir ve çalışmada 0,2 alınmıştır. Maksimum rüzgârlı saat sayısı ise 14 ile 15 arasında değer almaktadır ve çalışmada 15 olarak belirlenmiştir. Tasarımcı eğer isterse hava yoğunluğunu hesaplamak için ele aldığı bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğini (altitude above sea level) belirtebilir. Tez çalışmamızda Malatya ilinin deniz seviyesinden yüksekliği 960 m olarak belirlenmiştir.

Kullanıcı, yer seviyesinden rüzgâr hızı verisinin ölçüldüğü noktadaki mesafe olan anemometre yüksekliğini belirtebilir. Eğer rüzgâr türbininin rotor göbeği (hub) yüksekliği anemometre yüksekliğinden farklı ise, HOMER, türbinin rotor göbeği (hub) yüksekliğindeki rüzgâr hızını ya rüzgâr hızının yer seviyesinden yüksekliğin logaritması ile orantılı olduğunu farzeden logaritmik yasayı ya da rüzgâr hızının yükseklik ile üssel değiştiğini varsayan güç yasasını kullanmak suretiyle hesaplar. Logaritmik yasanın kullanılması için tasarımcı, çevredeki bölgenin engebeliğini belirten bir parametre olan yüzey pürüzlüğü uzunluğunu girmelidir. Güç yasasının kullanılması için ise tasarımcı tarafından güç yasası üssü belirlenmelidir [16].

Logaritmik yasa hesabı için kullanılan formül şu şekildedir;

$$\frac{U_{hub}}{U_{anem}} = \frac{\ln(Z_{hub}/Z_0)}{\ln(Z_{anem}/Z_0)} \quad (4.5)$$

U_{hub} : Türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı değeri [m/s]

U_{anem}	: Ölçüm yüksekliğindeki rüzgâr hızı değeri [m/s]
Z_{hub}	: Rüzgâr türbini yerden yüksekliği [m]
Z_{anem}	: Rüzgâr ölçme sisteminin yüksekliği [m]
Z_0	: Yüzey engebe yüksekliği [m]

Yüzey engebe yüksekliği, sistemi içine alan bölgenin engebe durumunu karakterize eden bir parametredir. Ele alınan yüksek lisans tez çalışmasında anemometre ve türbin yüksekliği 50 m olarak kabul edilmiştir. Dolayısı ile arada bir fark meydana gelmemiştir ve yukarıda bahsedilen yasaların bu modellemede hesabı söz konusu olmayacaktır. Çizelge 4.2 programın veri tabanından belirlenen ortalama rüzgar hızı ve diğer parametrelerin oluşturduğu ortalama rüzgâr hızlarını belirtmektedir. Tasarımlarında yüzey engebe yüksekliğine ihtiyaç duyacak modelciler için Çizelge 4.3’ de McGowan, Manwell and Rogers’ dan alınan temsili yüzey engebe yükseklikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Ortalama rüzgâr hızı verileri

Aylar	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Ocak	4,070
Şubat	4,110
Mart	3,620
Nisan	3,550
Mayıs	3,460
Haziran	3,740
Temmuz	4,220
Ağustos	4,320
Eylül	4,180
Ekim	3,620
Kasım	3,790
Aralık	3,960

Çizelge 4.3 Yüzey engebe değerleri [54]

Bölge Açıklaması	Z ₀
Çok düz, buzlu ya da bulanık	0,00001 m
Durgun açık deniz	0,0002 m
Kabarık deniz	0,0005 m
Kar yüzeyi	0,003 m
Çimenlik alan	0,008 m
Pürüzlü çayır	0,010 m
Nadaslık alan	0,03 m
Ekin alanı	0,05 m
Az sayıda ağaç	0,10 m
Çok sayıda ağaç, az sayıda bina	0,25 m
Orman ve ağaçlı arazi	0,5 m
Şehir dışı	1,5 m
Şehir merkezi, uzun binalar	3 m
Çok düz, buzlu ya da bulanık	0,00001 m

4.3.3 Sıcaklık Kaynağı

Sıcaklık kaynağı modellenirken de güneş ve rüzgâr kaynaklarında olduğu gibi benzer yol izlenir. Çalışmada diğer kaynakların modellenmesinden farklı olarak, Malatya Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan veriler tam olup sıcaklık kaynağı modellenmesinde veriler manuel olarak her ay için ayrı ayrı girilmiştir. Çizelge 4.4’ de Malatya ili aylık sıcaklık ortalamaları verilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 15,93 °C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.4 Malatya ili aylık sıcaklık ortalamaları

Aylar	Sıcaklık Değeri (°C)	Aylar	Sıcaklık Değeri (°C)
Ocak	4,1	Temmuz	30,3
Şubat	4,9	Ağustos	30,8
Mart	10,4	Eylül	22,7
Nisan	15,4	Ekim	15,3
Mayıs	19,6	Kasım	7,3
Haziran	23,9	Aralık	6,4

4.4 Modellenen Elemanlar

4.4.1 Fotovoltaik Dizi

Fotovoltaik dizi: Fotovoltaik dizi HOMER' de üzerine gelen güneş ışınlamı oranına bağılı olarak aa veya da elektrik üretebilecek şekilde modellenmektedir. Yazılımda fotovoltaik dizinin çıkış gücü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{I_T}{I_S} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte her bir terimin anlamı şu şekildedir;

f_{PV}	: Fotovoltaik dizi azalma faktörü (derating factor)
Y_{PV}	: Fotovoltaik dizinin nominal kapasitesi - STK altında çıkış gücü- (kW)
I_T	: Fotovoltaik dizinin dış yüzeyine gelen toplu güneş ışınlamı (kW/m ²)
I_S	: Standart test koşulları altında fotovoltaik dizi üzerine gelen toplu güneş ışınlamı (1 kW/m ²)
α_P	: Güç sıcaklık katsayısı -temperature coefficient of power- (%/°C)
T_c	: Fotovoltaik dizinin hücre sıcaklığı (°C)
$T_{c,STC}$	: Standart test koşulları altında fotovoltaik dizi hücre sıcaklığı (25 °C)

Fotovoltaik dizi üzerinde sıcaklık etkisinin modellenmediği durumlarda HOMER, güç sıcaklık katsayısını (temperature coefficient of power) (α_P) sıfır olarak kabul eder ve fotovoltaik dizinin çıkış gücünü aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplar.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{I_T}{I_S} \right) \quad (4.7)$$

Fotovoltaik dizi üzerinde ışınlam yükü hesabı: Fotovoltaik dizi güç çıkışı, fotovoltaik dizi yüzeyindeki ışınlam miktarına bağılıdır. Bu yüzden HOMER fotovoltaik dizi yüzeyine düşen toplam güneş ışınlam yükünü hesaplamalıdır. Güç çıkışlarını hesaplamak için fotovoltaik hücre sıcaklığının tanımlanması gerekmektedir. Fotovoltaik hücre sıcaklığı PV dizilerin yüzey sıcaklığıdır. Geceleri yüzey sıcaklığı çevre sıcaklığı kadardır, fakat tam güneşli zamanlarda hücre sıcaklığı, çevre sıcaklığını 30°C ya da daha fazla aşabilir. PV diziler için enerji dengesi şu şekilde yazılabilir.

$$\tau \alpha G_T = \eta_c G_T + U_L (T_c - T_a) \quad (4.8)$$

τ : PV dizi üzerindeki her bir örtünün güneş ışını geçirgenliği [%]

α : PV dizi güneş ışını soğurma özelliği [%]

G_T : PV diziye düşen güneş ışıını [kW/m²]

η_c : PV dizi elektrik dönüşüm verimliliği [%]

U_L : Çevreye yayılan ısı transfer katsayısı [kW/m²°C]

T_c : PV hücre sıcaklığı [°C]

T_a : Çevre sıcaklığı [°C]

Denklem 4.8' den T_c çekilirse;

$$T_c = T_a + G_T \left(\tau \alpha / U_L \right) (1 - \eta_c / \tau \alpha) \text{ elde edilir.} \quad (4.9)$$

$\tau \alpha / U_L$ değerini direk belirlemek zor olduğundan, nominal hücre çalışma sıcaklığı (NOCT) bunun yerine kullanılabilir. Sonuçta;

$$\frac{\tau \alpha}{U_L} = \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \text{ ve} \quad (4.10)$$

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) (1 - \eta_c / \tau \alpha) \text{ denklemleri elde edilir.} \quad (4.11)$$

HOMER yukarıdaki denklemde $\tau \alpha$ değerini 0.9 olarak varsayar ve fotovoltaiik dizinin daima kendi maksimum güç noktasında çalıştığını düşünerek hesap yapar. Dolayısıyla, fotovoltaiik hücre verimliliği maksimum güç noktası verimliliğine eşit olur ve aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\eta_c = \eta_{mp} \quad (4.12)$$

$$\eta_{mp} = \eta_{mp,STC} [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (4.13)$$

η_{mp} : PV dizinin kendi maksimum güç noktasındaki verimliliği [%]

$\eta_{mp,STC}$: Standart test koşulları altında maksimum güç noktası verimliliği [%]

α_p : Güç sıcaklık katsayısı [%/°C]

$T_{c,STC}$: Standart test koşulları altında hücre sıcaklığı [25°C]

Sıcaklık katsayısı (α_p) gücü negatif etkilemektedir. Hücre sıcaklığı arttıkça PV dizi verimliliği azalmaktadır. Denklemler düzenlenirse, hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_c = \frac{T_a + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left[1 - \frac{\eta_{mp,STC} (1 - \alpha_p T_{c,STC})}{\tau \alpha} \right]}{1 + (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left(\frac{\alpha_p \eta_{mp,STC}}{\tau \alpha} \right)} \quad (4.14)$$

Fotovoltaik dizinin yönünü tayin etmede ise iki parametre kullanılmaktadır ve bu parametreler ilerleyen sayfalarda açıklanmıştır. Konum ile ilgili olan diğer faktörler de enlem, yılın belli zamanı ve günün belli zamanıdır. Yılın belli zamanı deklinasyon açısını etkilemektedir. HOMER deklinasyon açısını aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplamaktadır.

$$\delta = 23.45^\circ \left(360^\circ \frac{284+n}{365} \right) \quad (4.8)$$

Saatlik açı ile tanımlanabilen günün belli zamanı ise güneşin konumunu etkileyen bir parametredir. HOMER saat açısı sıfır olduğu (güneş en tepe noktada iken) durumu hesaba almaktadır. Saat açısı hesabında kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\omega = (t_s - 12hr) \cdot 15^\circ/hr \quad (4.9)$$

Güneş kaynağının modellenmesinde yılın her bir ayı için ya ortalama güneş ışınlamı ya da ortalama berraklık indeksi tanımlanabilir. Herhangi bir parametre tanımlandığında HOMER diğer parametreyi hesaplayabilmektedir. Berraklık indeksi 0 ve 1 arasında değer alabilen boyutsuz bir sayıdır. Günlük berraklık indeksi (K_T), yatay düzeye gelen günlük güneş ışınlamının (H) atmosfer dışına düşen günlük toplam güneş ışınlamına (H_o) oranı şeklinde belirlenir.

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (4.10)$$

HOMER’de bir fotovoltaik dizinin büyüklüğü nominal kapasite esas alınarak belirtilir. Bir fotovoltaik dizinin nominal kapasitesi, 25 °C’ lik panel sıcaklığı ve 1 kW/m²’ lik güneş ışınlamını içeren standart test koşulları altında fotovoltaik dizinin üretebileceği enerji miktarıdır. Örneğin, amorf silikondan oluşturulmuş 40 W’ lık bir modül çok kristalli silikondan meydana gelmiş 40 W’ lık bir modülden daha farklı olacaktır, ancak bu fark HOMER için önemsizdir. Önemli olan modülün kapasitesidir.

Yılın her bir saat değeri için HOMER, fotovoltaik dizinin dış yüzeyine düşen global güneş ışınlamını HDKR modeli (the Hay, Davies, Klucher, Reindl modeli) ile hesaplar. Bu model, güneş kaynağının şimdiki değerini (yatay yüzey üzerine düşen global güneş ışınlamı), fotovoltaik dizinin yönünü, yeryüzündeki lokasyonunu, yılın zamanını ve günün her bir saatini dikkate alır.

Azalma faktörü (derating factor), fotovoltaik panel üzerine toplanan tozların etkilerinin, kablo kayıplarının, yağış, yaşlanma gibi durumların ve yüksek sıcaklık veya fotovoltaik dizi çıkışının umulan ideal koşullardan sapmasına neden olabilecek herhangi bir aksaklığın hesaba katılacağı anlamına gelen bir ölçekleme faktörüdür.

Fotovoltaik dizinin maliyetinin tanımlanması için tasarımcı tarafından, fotovoltaik dizinin başlangıç sermayesi maliyeti, yenileme maliyeti ile yılbaşına işletme ve bakım maliyeti herhangi bir para birimine göre belirtilmelidir. Yenileme maliyeti, kullanıcının yıl olarak belirleyebileceği fotovoltaik dizinin yaşam süresinin bitiminde tamamen değiştirilen fotovoltaik dizinin maliyetidir. Genellikle yenileme maliyeti ile sermaye maliyeti birbirine eşit varsayılır, ancak bu iki maliyet çeşitli nedenlerden dolayı farklılık gösterebilir.

Bu tez çalışmasında Powersolar' a ait 250 W_p gücündeki tek kristal silisyum teknolojisine sahip fotovoltaik modül kullanılmıştır. Çizelge 4.5' de fotovoltaik modülün teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Powersolar 250 W_p özellikleri [55]

Maksimum güç	250 W
Açık devre gerilimi (V _{oc})	59,8 V
Maksimum güç gerilimi (V _{pm})	48,6 V
Kısa devre akımı (I _{sc})	5,38 A
Maksimum elektrik akımı (I _{pm})	5,15 A
Modül verimi	14,7 %
Nominal hücre çalışma sıcaklığı	46 °C
Güç sıcaklık katsayısı	-0,45%/°C
Standart test koşulları	Birim alandaki radyasyon 1000 W/m ² Hücre sıcaklığı 25 °C
Nominal hücre çalışma sıcaklığı	Birim alandaki radyasyon 800 W/m ² Ortam sıcaklığı 20 °C Rüzgâr hızı 1 m/s

Şekil 4.8’ de HOMER PV modülünün veri giriş ekranı gösterilmektedir. Bir adet PV modülün sermaye ve yenileme maliyeti 6500 \$/kW, işletme ve bakım maliyeti ise 65 \$/yıl olarak belirlenmiştir [55]. Simulasyon hesabında kullanılmak üzere, farklı değerlerde PV modül gücü girdisine müsaade eden alana en düşük 100 kW en yüksek 2000 kW arasında modül gücü tanıtılmıştır. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız hibrid sistemlerde her bir senaryo bu en düşük ve en yüksek modül güçleri arasında farklı, en uygun modül güçlerine göre simule edilmiştir. PV modül yaşam ömrü 25 yıl ve azalma faktörü (derating factor) %80 olarak belirlenmiştir.

Tracking system (takip sistemi), fotovoltaik panelin güneşi takip edip etmeyeceğini, eğer takip edecek bir durum söz konusu ise ne tür bir takip sistemi kullanacağını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Çalışmada, tracking system kısmında no tracking (takip yok) seçeneği seçilmiştir. Slope (eğim), konuşturılmış bir fotovoltaik panelin yatay düzleme göre konumunu belirten bir açı değeridir. 0° eğim açısı yatay yönü belirtirken, 90° eğim açısı dikey yönü belirtmektedir. HOMER, eğim değerini çalışmada kullanılan fotovoltaik panelin incelenen bölgesinin enlem değeri olan 38,33° olarak belirlemiştir.

Azimuth (güney-güneş açısı) ise fotovoltaik panelin baktığı yönü (kuzey-güney-doğu-batı) belirten bir açı değeridir. Azimuth değeri, eğer fotovoltaik panel tam güneye doğru bakıyorsa 0°, tam doğuya doğru bakıyorsa -90°, tam batıya doğru bakıyorsa 90° ve tam kuzeye doğru bakıyorsa 180° olarak belirlenmektedir. Sabit bir yöne sahip olacak fotovoltaik panel hemen hemen her zaman ekvatora doğru yönlendirilmektedir. Fotovoltaik panelin incelenen bölgesi kuzey yarımkürede olduğundan dolayı güney açısı değeri 0° olarak belirlenmiştir.

Ground reflectance (albedo), yeryüzüne düşen güneş ışınımının yeryüzünden yansıtılan yüzde değerini tanımlamaktadır. Albedo, çimle kaplı bir bölge için yaklaşık olarak %20, kar ile kaplı bir bölge için ise yaklaşık olarak %70 değerini almaktadır. Çalışmamızda albedo değeri %20 olarak belirlenmiştir. Tüm bilgiler girildikten sonra elde edilen PV modül veri giriş ekranı şekil 4.9’ da ki gibi olmaktadır.

DESIGN

Add/Remove
Generic flat plate PV

PV

Name:

Abbreviation:

[Remove](#)

[Copy To Library](#)

Properties

Name: **Generic flat plate PV**

Abbreviation: **PV**

Panel Type: **Flat plate**

Rated Capacity (kW): **0**

Manufacturer: **Generic**

Weight (lbs): **160**

Footprint (in2): **9000**

Website: www.homerenergy.com

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$0.0	\$0.0	\$0.0

[Click here to add new item](#)

Multiplier:

Site Specific Input

Lifetime (years):

Derating Factor (%):

Search Space

Size (kW)

Electrical Bus

☐ AC ☒ DC

MPPT **Advanced Input** **Temperature**

Ground Reflectance (%):

Tracking System:

☒ Use default slope Panel Slope (degrees):

☒ Use default azimuth Panel Azimuth (degrees West of South):

Şekil 4.8 PV modül veri giriş ekranı

DESIGN

Add/Remove
Powersolar 250 Wp

PV

Name:

Abbreviation:

[Remove](#)

[Copy To Library](#)

Properties

Name: **Powersolar 250 Wp**

Abbreviation: **PV-250 Wp**

Panel Type: **Flat plate**

Rated Capacity (kW): **0**

Temperature Coefficient: **-0.45**

Operating Temperature (°C): **46.00**

Efficiency (%): **14.7**

Manufacturer: **Sunmodule**

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$6,500.00	\$6,500.00	\$65.00

[Click here to add new item](#)

Multiplier:

Site Specific Input

Lifetime (years):

Derating Factor (%):

Upper:

Lower:

Base:

Electrical Bus

☐ AC ☒ DC

MPPT **Advanced Input** **Temperature**

Ground Reflectance (%):

Tracking System:

☒ Use default slope Panel Slope (degrees):

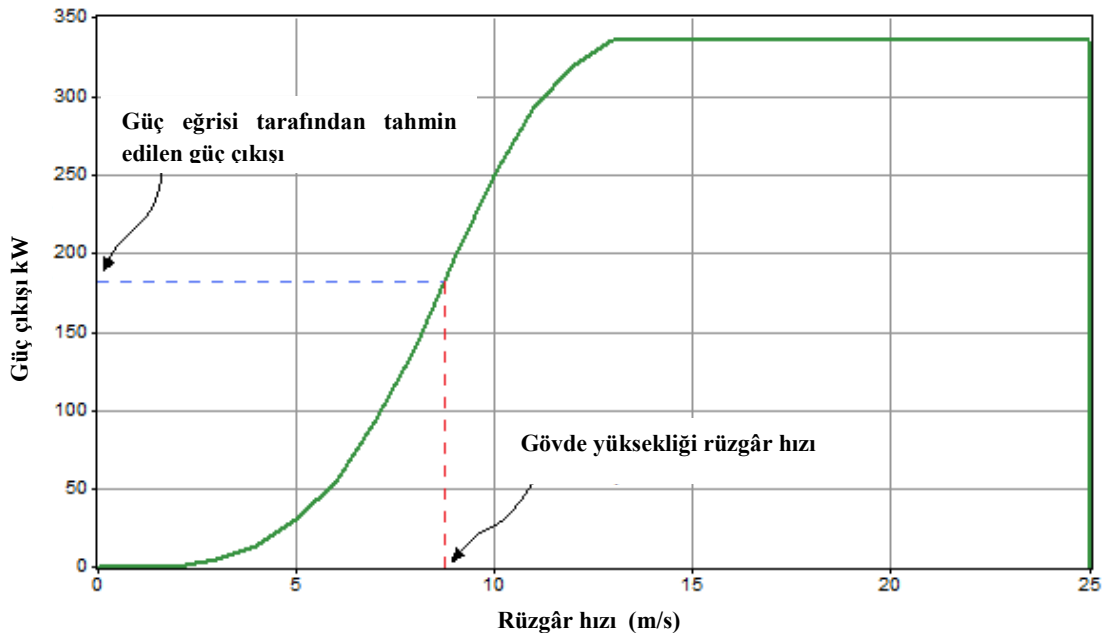
☒ Use default azimuth Panel Azimuth (degrees West of South):

Şekil 4.9 Elde edilen PV modül tasarımı

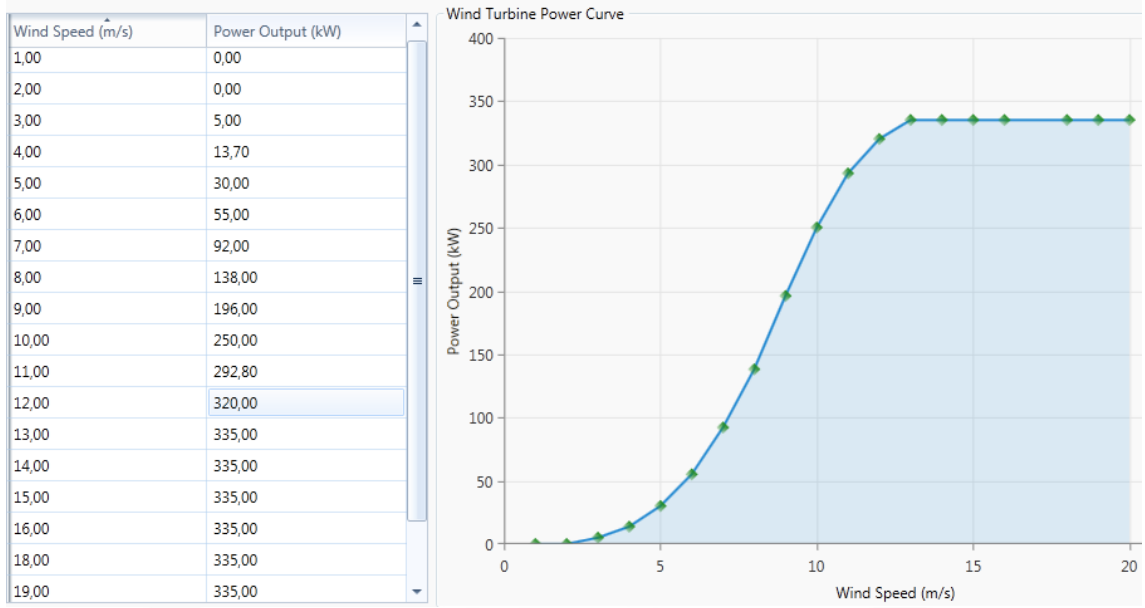
4.4.2 Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbini: HOMER’ de, rotor göbeği yüksekliğindeki rüzgâr hızına karşılık çıkış gücüne ait bir grafik olan belirli bir güç eğrisi baz alınarak oluşturulur ve rüzgârın kinetik enerjisini aa veya da elektriğe dönüştürebilen bir aygıt olarak modellenir. Şekil 4.10 örnek bir güç eğrisini göstermektedir. HOMER oluşan güç eğrisinin, standart sıcaklık ve basınç koşullarına karşılık gelen $1,225 \text{ kg/m}^3$ değerindeki standart hava yoğunluğunda uygulandığını varsayar. Ele alınan tez çalışmasında Alman Enercon firmasına ait E33 rüzgâr türbini model olarak seçilmiştir. Güç eğrisi, firma kataloğundan rüzgâr hızları ve güç çıkışları manuel olarak programa girilerek oluşturulmuştur. Gerekli veriler programa aktarıldıktan sonra veriler ve oluşan güç eğrisi profili şekil 4.11’ de gösterilmektedir.

Rüzgâr türbini veri giriş ekranı, fotovoltaik modül giriş ekranına oldukça benzerdir. Bu yüzden sadece rüzgâr türbini için tüm veriler girildikten sonra ekran görüntüsü verilecektir.



Şekil 4.10 HOMER örnek güç eğrisi

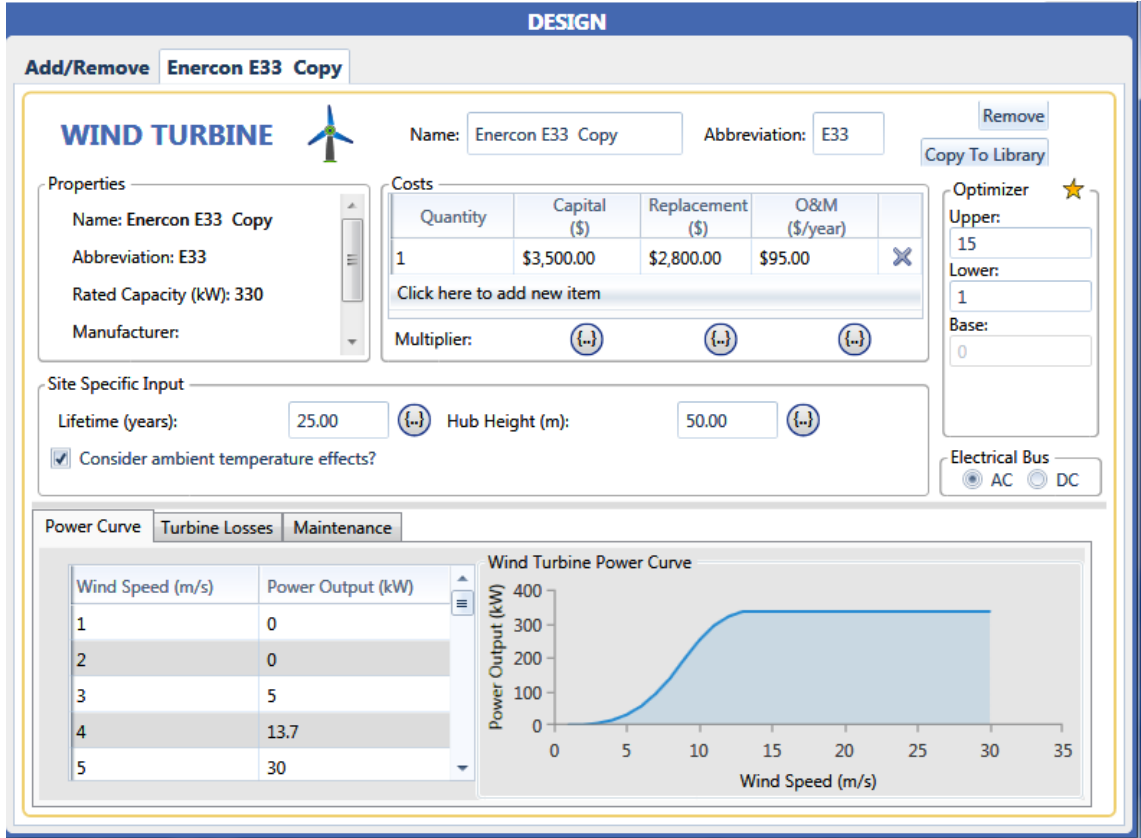


Şekil 4.11 Elde edilen rüzgâr türbini güç eğrisi profili

HOMER, tasarımcıya aynı sistem için modelleme işleminde en fazla iki farklı rüzgâr türbini modelleme imkânı sunmaktadır. Tez çalışması için Enercon E33 model rüzgâr türbini (tek bir türbin) belirlenmiş ve teknik özellikleri Çizelge 4.6’ da verilmiştir. Bir adet rüzgâr türbininin sermaye maliyeti 3500 \$/kW, yenileme maliyeti 2800 \$/kW, işletme ve bakım maliyeti ise 95 \$/yıl olarak belirlenmiştir [56]. Simulasyon hesabında kullanılmak üzere, farklı miktarda rüzgâr türbini âdetine izin veren miktar kısmına en düşük 1 en yüksek 15 arasında simülasyon yapılacak şekilde türbin sayısı girilmiştir. Şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız hibrid sistemlerde en düşük ve en yüksek türbin sayısı farklılık göstermektedir. Rüzgâr türbini yaşam ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir. Tüm veriler girildikten sonra elde edilen HOMER rüzgâr türbini tasarım görüntüsü şekil 4.12’ de ki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.6 Enercon E33 model türbin teknik özellikleri [56]

Nominal güç	330 kW
Rotor çapı	33,4 m
Gövde yüksekliği	50 m
Kanat sayısı	3
Kanat süpürme alan	876 m ²
Devreye girme hızı	3 m/s
Devreden çıkma hızı	25 m/s
Dönüş hızı	Değişken 18-45 d/d



Şekil 4.12 Elde edilen rüzgâr türbini tasarımı

4.4.3 Batarya

Bataryalar üretilen elektriği depolama görevini üstlenen ve ihtiyaç duyulan anlarda sistemi besleyen elemanlardır. Kapasiteleri, Amper-saat (Ah) veya kWh birimi olarak ifade edilir. HOMER, batarya özelliklerinin bataryanın yaşam süresince sabit kaldığını ve sıcaklık gibi dış etkilere etkilenmediğini kabul ederek işlem yapar. Programda batarya modellenirken veri girilebilecek birtakım seçenekler mevcuttur. Bunlardan ilki batarya ünitesinin ve jeneratörün çalışmasını yöneten bir kurallar dizisi oluşturma stratejisidir. HOMER çevrim şarjı (cycle charging) ve yük takibi (load following) olmak üzere iki farklı strateji belirleyebilir.

Yük takibi stratejisi seçeneği altında batarya grubu sadece üretim fazlası elektrik tarafından şarj edilmektedir, bu nedenle batarya grubunu şarj etmek ile ilgili maliyet daima sıfır olacaktır. Ancak çevrim şarjı stratejisi altında ise batarya grubunu şarj etmek için bir jeneratör ekstra elektrik üretecektir (ve bu nedenle fazladan yakıt tüketmek zorunda kalacaktır), bu sebeple batarya grubunu şarj etmek ile ilgili maliyet sıfır olmayacaktır. Tez çalışmada yük takibi seçeneği esas alınmıştır.

Hibrid enerji sistemi modellenmesinde kullanılan batarya Surrte 6CS25P modelidir. Bu model 6 V' luk 1186 Ah kapasiteye sahiptir. Bataryanın sermaye maliyeti, yenileme maliyeti ile işletme ve bakım maliyeti sırasıyla 1100 \$/kW, 1000 \$/kW, 10 \$/yıl olarak belirlenmiştir [12]. Veri giriş kısmına şebekeden bağımsız hibrid sistemler için batarya sayısı olarak 0, 640, 1280, 2560, 5120, 10240 ve en yüksek 20480 değerleri girilmiştir. Şebekeye bağımlı hibrid sistemler için ise batarya adetleri biraz düşürülerek 0, 80, 160, 320, 640, 1280, 2560 ve 5120 olarak değiştirilmiştir. Bu değerlerin her biri farklı sayıda bataryayı temsil etmektedir ve simülasyonlarda ayrı ayrı dikkate alınacaktır. Şebekeye bağımlı sistemlerde genellikle batarya kullanımı tercih edilmez. Ancak ani elektrik kesintileri için sistemde batarya da bulundurulabilir. Bu tez çalışmasında bu durum göz önüne alındığından şebekeye bağlı sistemlerde batarya da modellenmiştir.

Belirli bilgilerin girildiği alana, dizi başına batarya miktarı değiştirilmeyerek varsayılan değer olan bir kabul edilmiştir. Bataryanın yaşam ömrü ise 800 kWh' dir. Başlangıç şarj durumu doğal olarak %100, minimum şarj durumu ise %40 olarak girilmiştir. Şekil 4.13 tüm bilgilerin sisteme aktarıldıktan sonra ki oluşan son halini göstermektedir.

DESIGN

Add/Remove Srtte 6c-25

STORAGE  Name: Srtte 6c-25 Abbreviation: Srtte 6c Remove Copy To Library

Properties
Idealized Battery Model
 Nominal Voltage (V): 6
 Nominal Capacity (kWh): 7
 Nominal Capacity (Ah): 1,156.000
 Roundtrip efficiency (%): 80.00
 Maximum Charge Current (A): 41
 Maximum Discharge Current (A): 24.3
 Weight (lbs): 318



Batteries

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$1,100.00	\$1,000.00	\$10.00

Lifetime
 time (years): 20.00 {...}
 throughput (kWh): 800.00 {...} More...

Search Space ☆

#
0
640
1280
2560
5120
10240
20480

Site Specific Input

String Size: 1 Voltage: 6 V

Initial State of Charge (%): 100.00 {...}

Minimum State of Charge (%): 40.00 {...}

☐ Minimum storage life (yrs): 5.00 {...} Maintenance Schedule...

Generic
homerenergy.com
 Andy Kruse
sales@homerenergy.com
 + (1) 720-565-4046
 HOMER Energy
 1790 30th St, Suite 100
 Boulder, CO 80301 USA More Information

Şekil 4.13 Batarya tasarımı

4.4.4 İnverter (Eviriciler)

Eviriciler doğru akımı alternatif akıma dönüştüren ve elektrik şebekesine veren elemanlardır. Doğrultucularda alternatif akımı doğru akıma dönüştüren elemanlardır. HOMER’ de bu iki parametre konvertör başlığı altında modellenmektedir. Tez çalışmasında sistemde kullanılan konvertöre ait sermaye maliyeti, yenileme maliyeti ile işletme ve bakım maliyeti sırasıyla 900 \$/kW, 900 \$/kW, 0 \$/yıl’ dır [12]. Şebekeden bağımsız hibrid sistemler için veri giriş kısmına konvertör büyüklüğü olarak en düşük 0 kW ve en yüksek 6000 kW arasında olmak koşulu ile belirli değerler tanımlanmıştır. Şebekeye bağlı hibrid sistemler için ise yine en düşük 0 kW ve en yüksek 5000 kW arasında olmak koşulu ile belirli değerler girilmiştir. Her bir senaryo için kullanılan bu değerler farklılık gösterecektir. Bu şekilde bir yol izlenmesinin amacı en uygun birim enerji ve toplam net maliyetinin bulunmasıdır. Evirici yaşam ömrü HOMER’in sabit olarak varsaydığı 15 yıl, verimliliği ise %90 olarak belirlenmiştir. Doğrultucu verimi ise yine HOMER’in sabit olarak varsaydığı %85’ tir.

4.4.5 Elektrik şebekesi

HOMER, şebekeyi, bir sistemin bu şebekeden aa elektrik satın alabileceği ve bu şebekeye aa elektrik satabileceği bir eleman olarak tasarlayabilmektedir. HOMER, fiyat tarifi (rate definition) seçeneği altında bulunan şebeke fiyatı (power price) terimini şebekeden satın alınan enerji için elektrik şirketinin talep etmiş olduğu ücrete yönelik (kW/h başına dolar) kullanmaktadır. Geri satış (Sellback rate) terimi ise şebekeye satılan enerji için elektrik şirketinin ödeyeceği ücreti (kW/h başına dolar) belirtmektedir.

HOMER tasarımcısı, her biri farklı şebeke elektrik fiyatı, talep oranı ve şebekeye geri satış değerleri alabilecek maksimum 16 ayrı oran belirleyebilir ve programlayabilir. Ayrıca HOMER, faturalama döneminde net şebeke satın alımlarına dayalı olarak elektrik şirketinin müşteriden ücret talep edebildiği bir fatura anlaşması terimi de modelleyebilir. Bu anlaşma durumunda eğer faturalama dönemi boyunca satın alımlar satışları geçiyor ise tüketici, elektrik şirketine, net şebeke satın alımlarının (net grid purchases) şebeke enerji maliyeti (grid power cost) ile çarpılması sonucu oluşacak bir miktarda ücret ödemesi gerçekleştirir. Eğer faturalama dönemi boyunca satışlar satın

alımını geçiyor ise elektrik şirketi, tüketicie, net şebeke satışlarının (net grid sales) geri satış (sellback rate) değeri ile çarpılması sonucu oluşacak bir miktarda ücret ödemesi gerçekleştirir. Faturalama dönemi, bir ay veya bir sene olarak yapılabilir.

Bunların haricinde kullanıcı, şebekeden enerji alımının sonucu olarak ortaya çıkan altı adet kirletici maddenin (karbondioksit, karbonmonoksit, yanmamış hidrokarbonlar, parçacıklı madde, sülfürdioksit, azotoksitleri) emisyonlarının ve şebekeye enerji satışının sonucu olarak ortaya çıkan altı adet kirletici maddenin önüne geçilen emisyonlarının hesaplanması için şebeke emisyonu katsayılarını (grid emissions coefficients) belirtebilir. Her bir şebeke emisyonuna ait katsayı, harcanan şebeke elektriğinin kilowatt saati başına salınan kirletici maddenin gramı (g/kWh) birimine sahiptir.

Yapılan tez çalışmasında şebeke modellenirken, şebekeden satın alınan enerji maliyetinin ve şebekeye satılan enerji geliri ile ilgili değerlerin belirtildiği advanced grid penceresinde bulunan scheduled rates seçeneği seçilmiştir. Scheduled rates seçeneğinin seçildikten sonra rate definition başlığı altında bulunan şebeke elektriği fiyatının 0,17 \$/kWh, şebekeye tekrar satış fiyatı 0,089 \$/kWh ve talep oran fiyatı 0 \$/kW/ay olarak belirlenmiştir [57].

Gelişmiş şebeke (advanced grid) başlığı altında yer alan satış kapasitesi (sale capacity) değeri için bu değerin üzerinde hassaslık analizi gerçekleştirilmesi amacı ile 10.000 kW, satın alma kapasitesi (purchase capacity) değeri için ise 0 ve 1000 kW şebeke modellenmesinde kullanılmıştır. Satış kapasitesinin yüksek tutulması, üretilen fazla elektriğin tamamının şebekeye satılması içindir. Türkiye şartlarında üretilen şebeke elektriği miktarına karşılık gazların salınım miktarları için kaliteli veriler elde olmadığından bu çalışmada emisyon başlığı HOMER' in varsaydığı değerlerde bırakılmıştır ve emisyon başlığına ait görüntü şekil 4.14' de verilmiştir. Bu çalışmada fatura anlaşma seçeneği işlemlerde aktif değildir. şekil 4.15' de ise şebeke tasarım ana sayfası görülmektedir.

Carbon Dioxide (g/kWh):	632,00	{..}
Carbon Monoxide (g/kWh):	0,00	{..}
Unburned Hydrocarbons (g/kWh):	0,00	{..}
Particulate Matter (g/kWh):	0,00	{..}
Sulfur Dioxide (g/kWh):	2,74	{..}
Nitrogen Oxides (g/kWh):	1,34	{..}

Şekil 4.14 HOMER emisyon değerleri

Şekil 4.15 Şebeke tasarım sayfası

4.4.6 Jeneratör

HOMER yazılımında modellenmesi gerçekleştirilebilen elemanlardan biri olan jeneratör, elektrik ya da ısı enerjisi üretmek amacıyla yakıt kullanan bir enerji üreticidir. Hem şebekeye bağımlı hem de şebekeden bağımsız enerji sistemleri için seçilen jeneratör, HOMER bünyesinde tanımlı olan Generic firmasına ait 10 kW Genset modelidir. Jeneratör yakıt kaynağı olarak dizel yakıt kullanılmıştır. Seçilen jeneratör modelinin sermaye maliyeti, yenileme maliyeti ile işletme ve bakım maliyeti sırasıyla 500 \$/kW, 500 \$/kW, 0,030 \$/yıl' dır. Ele alınan tez çalışmasında jeneratör veri alanına şebekeden bağımsız sistemler için 0 ile 10.000 kW arası olmak koşulu ile belirli

değerler, şebekeye bağlı sistemler için ise 0 ile 1000 kW arası olmak koşulu ile belirli değerler tanımlanmıştır. Saat bazında jeneratör maksimum ömrü 15000 saattir. Jeneratörde kapasitesinin bir yüzdesi olarak ifade edilen izin verilebilir minimum yük oranı %25 olarak belirlenmiştir. Isı geri kazanım oranı ısı yüklerle ilgili bir seçenek olduğundan ve sistemimizde ısı yüküyle ilgili bir çalışma yapılmadığından, bu oran %0 olmaktadır. Dizel yakıt fiyatı 1,00 \$/L alınmıştır. Jeneratör yakıt özellikleri ve jeneratör tasarım ekranı şekil 4.16' da verilmiştir.

DESIGN

Add/Remove **10kW Genset** [Remove] [Copy To Library]

GENERATOR Name: 10kW Genset Abbreviation: Gen10

Properties
 Name: 10kW Genset
 Abbreviation: Gen10
 Manufacturer: Generic
 Website: www.homerenergy.com

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)
1	\$500.00	\$500.00	\$0.030

Click here to add new item

Multiplier: [..] [..] [..]

Site Specific Input
 Minimum Load Ratio (%): 25.00 [..] Heat Recovery Ratio (%): 0.00 [..]
 Lifetime (Hours): 15,000.00 [..] Minimum Runtime (Minutes): 0.00 [..]

Search Space
 Size (kW)
 100
 200
 300
 400
 500
 1000
 1500

Electrical Bus
☒ AC ☐ DC

Fuel Resource Fuel Curve Biogas Emissions Maintenance Schedule

SELECT FUEL: Diesel [Manage Fuels] **PROPERTIES**

Lower Heating Value (MJ/kg): 43.2
 Density (kg/m3): 820
 Carbon Content (%): 88
 Sulfur Content (%): 0.33

Diesel Fuel Price (\$/L): 1.000 [..] ☐ Limit Consumption (L): 5,000.00 [..]

Şekil 4.16 Jeneratör yakıt özellikleri ve tasarım ekranı

4.4.7 Kapasite Yetersizlik Oranı

Bir sistem her zaman gereken yükü karşılayamayabilir. Bu durumda ortaya çıkan eksiklik kapasite eksikliği olarak ele alınır. HOMER yazılımında kapasite eksikliği miktarı bir yıla göre hesaplanmaktadır. Toplam yıllık kapasite eksikliğinin, yıllık elektrik yüküne bölümü kapasite yetersizlik oranıdır. Kullanıcı, izin verilebilir maksimum yıllık kapasite eksikliği oranını belirleyebilir. Yükün bir kısmının karşılanamamasını kabul etmek, sistem bileşenlerinin ani yük durumları için boyutlandırılmalarına gerek kalmadığı anlamına gelmektedir ve bu durum sistemin ekonomik performansını arttırmaktadır. Optimum sistem tasarımlarında simülasyonlar

için izin verilen kapasite yetersizlik oranı genellikle % 0,5' ten küçüktür. Bunun sebebi, çok küçük enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla HOMER' in sistem bileşenlerinin sayısını artırmasını önlemektir. Bu tez çalışmasında KYO' nun sistem maliyetine olan etkisini araştırmak amacıyla sistemlere ek ayrıca simülasyonlar yapılmış ve bu simülasyonlarda izin verilebilir maksimum kapasite yetersizlik değeri %5 olarak alınmıştır. Havanın kapalı olduğu günlerde, yılın küçük bir bölümünde eğer sistemin daha düşük kapasite ile çalışması düşünülürse sistem maliyetinde kayda değer kazançlar sağlanacaktır [58].

4.4.8 Diğer Parametreler

Yıllık Reel Faiz Oranı: Bu oran HOMER yazılımında ilk maliyetle yıllık sermaye maliyeti arasında bir dönüşüm gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Sistem tasarımlarında bu oran tasarıma eklenebilir ve hesaplamalarda dikkate alınır. Ayrıca nominal faiz oranı yerine reel faiz oranının (enflasyon ayarlı) kullanımı ile enflasyon analiz dışında bırakılmaktadır. Yıllık reel faiz oranı ile nominal faiz oranı arasında ki bağıntı şu şekildedir:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (4.10)$$

Burada; i , i' , f sırasıyla reel faiz oranı, nominal faiz oranı ve yıllık enflasyon oranıdır.

Tez çalışmasında kullanılan nominal faiz oranı %15,52, yıllık enflasyon oranı ise %7,46' dır [59].

Dolayısı ile yıllık reel faiz oranı:

$$i = \frac{0.1552 - 0.0746}{1 + 0.0746} = 0.075 = \%7,5$$

olmaktadır.

Proje Ömrü: Proje ömrü, sistem çalışma süresi boyunca oluşan tüm maliyetleri kapsayan zaman aralığıdır. Ele alınan tez çalışmasında proje ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir.

Artık Elektrik: Artık elektrik, bir bataryanın yüklenmesinde ya da ihtiyaç olan yüke destek hususunda kullanılamadığından mümkün mertebe engellenmesi gereken fazla elektrik miktarıdır. Artık elektrik, üretilen fazla bir elektrik (ya yenilenebilir enerji ya da jeneratör tarafından) olduğunda ve bataryaların bu fazla elektriği absorbe edemediği durumlarda ortaya çıkar. Birim enerji maliyeti (COE) ve total net maliyet (NPC) hesaplanırken, artık elektrik miktarı dikkate alınmaz.

Formüsel olarak artık elektrik kesri (excess electricity fraction), total artık elektriğin toplam elektrik üretimine oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$f_{artık} = \frac{E_{artık}}{E_{top.üretim}} \quad (4.11)$$

$f_{artık}$: Artık elektrik kesri

$E_{artık}$: Total artık elektrik [kWh/yıl]

$E_{top.üretim}$: Toplam elektrik üretimi [kWh/yıl]

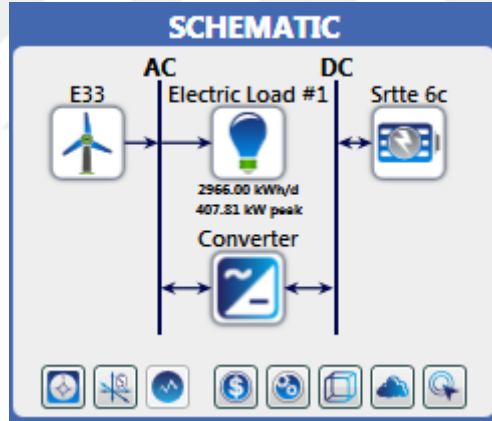
5. İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ İÇİN SENARYOLAR

5.1 Şebekeden Bağımsız Enerji Sistemleri

İnönü Üniversitesi elektrik ihtiyacının belirli bir kısmını elde etmek amacıyla yapılan bu tez çalışmasında simülasyon hesaplamaları için rüzgâr enerjisi sistemi, güneş enerjisi sistemi ve hibrit enerji sistemi (rüzgâr + güneş) bir önceki bölümde belirtilen verilere göre şebekeden bağımsız modellenmiştir. Simulasyonda hibrit sisteme ek olarak bir de dizel jeneratör kullanılmıştır.

5.1.1 Rüzgâr Enerjisi Sistemi

Rüzgâr enerjisi sistemi Enercon E33 model rüzgâr türbini, Surrette 6CS25P marka batarya, konvertör ve karşılanması istenen elektrik yükünden oluşmaktadır. Tüm sistemler için elektrik yükü 2966 kWh/gün, en büyük yük miktarı ise 407,81 kW olarak belirlenmiştir. Sistem tasarım elemanlarına ait şematik gösterim şekil 5.1’ de ki gibidir.



Şekil 5.1 Rüzgâr enerjisi sistem şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette rüzgâr enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

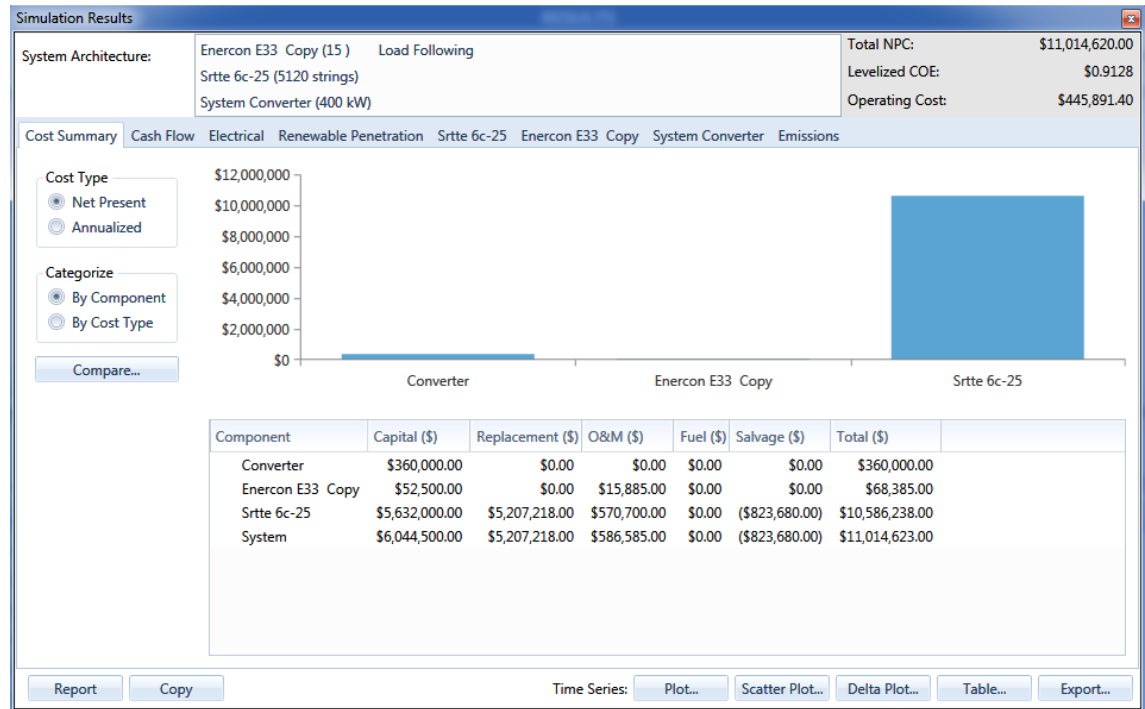
Rüzgâr Türbini	: 15
Batarya	: 5120
Evirici	: 400 kW
Doğrultucu	: 400 kW

Maliyet Özeti

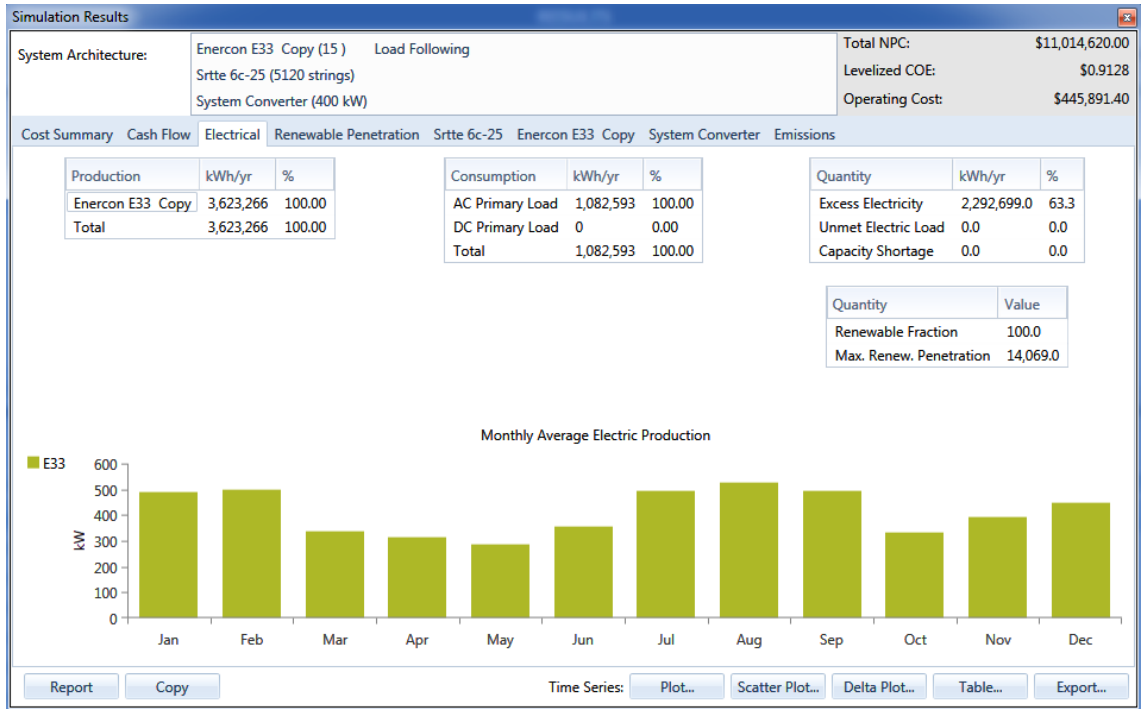
Total Net Maliyet : 11.014.620 \$

Birim Enerji Maliyeti : 0,913 \$/kWh

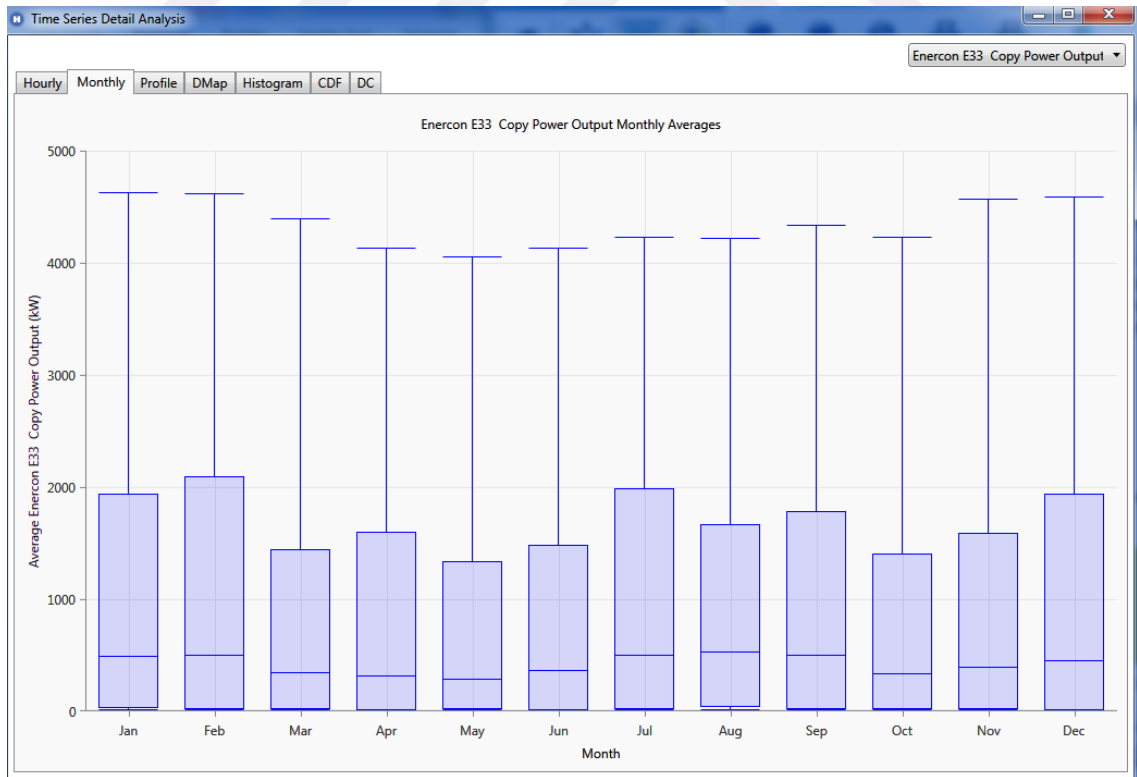
Şekil 5.2’ de sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyeti belirten toplu ekran çıktısı verilmiştir. Şekil 5.3 ve şekil 5.4 ise sırasıyla aylık ortalama elektrik üretimi ile rüzgâr türbini güç çıkışının aylık ortalamalarını göstermektedir. Şekil 5.5’ de ise batarya simülasyon sonuçları verilmektedir.



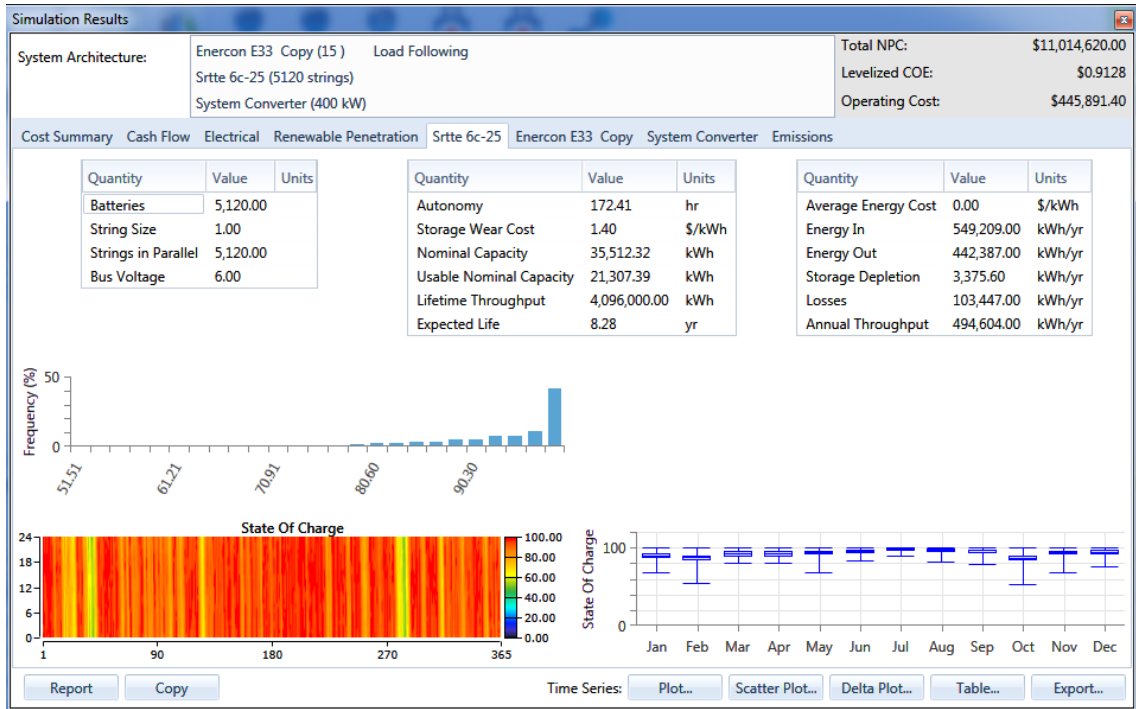
Şekil 5.2 Rüzgâr enerjisi sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet



Şekil 5.3 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.4 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.5 Batarya simülasyon sonuçları

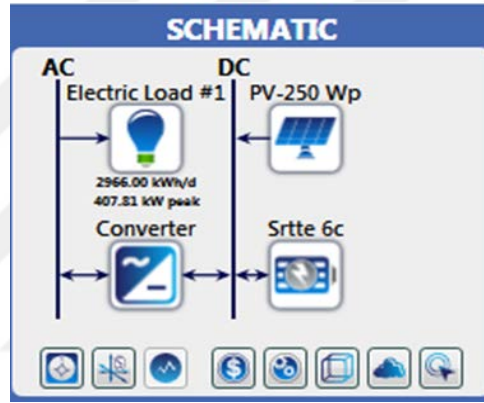
Simülasyon sonuçları incelendiğinde rüzgâr enerji sistemine ait yüzlerce farklı kombinasyonun mevcut olduğu görülmüştür. Ancak sistem 1280 ve 2560 adet batarya için sonuç vermemiştir. Optimum sistemin artık elektrik miktarı dikkate alındığında şekil 5.3’ de de görüldüğü gibi artık elektrik miktarı %63,3 olmaktadır. Bu demektir ki üretilen elektriğin büyük çoğunluğu fazlalık olarak kalacaktır. Artık elektrikten mümkün olduğunca kaçınılması gerekmektedir. Bu yüzden daha düşük veya hiç olmayan artık elektriğe sahip sistemlerin kurulumu, tasarımcının dikkate alması gereken bir durumdur. Rüzgâr türbini sayısının 7, batarya sayısının 20480 ve konvertör gücünün 2000 kW olduğu durumda artık elektrik miktarı %17,3’ e düşmüştür. Konvertör gücü daha da arttırıldığında artık elektriğin değişmediği gözlemlenmiştir. Batarya sayısı ve konvertör gücü arttığında artık elektrik önemli ölçüde azalmaktadır. Ancak toplam net maliyet (NPC) ve birim enerji maliyeti (COE) sırasıyla 28.900.000 \$ ve 2,40 \$/kWh gibi yüksek değerlere çıkmaktadır. Batarya sayısı ile konvertör gücünün artması maliyeti olumsuz etkilemektedir.

Rüzgâr hızının 8 m/s olarak alındığı rüzgar sistemi tasarımında, batarya ve konvertör değerleri aynı kalmış ve optimum rüzgâr sistemi tasarımı 8 adet rüzgâr türbininden oluşmuştur. Rüzgâr hızının yüksek olmasına bağlı olarak, NPC ve COE

önemli ölçüde azalarak sırasıyla 7.180.000 \$ ve 0,595 \$/kWh olmuştur. Kapasite yetersizlik oranı %5' e göre yapılan simülasyon sonucunda ise en uygun sistem için rüzgar türbin adeti 15, batarya adeti 2560 ve konvertör gücü 400 kW olmaktadır. Optimum sistemin toplam net maliyet (NPC) değeri ve birim enerji fiyatı (COE) biraz azalarak sırasıyla 9.010.000 \$ ve 0,756 \$/kWh olmaktadır.

5.1.2 Güneş Enerjisi Sistemi

Güneş enerjisi sistemi Powersolar firmasına ait 250 W_p gücünde fotovoltaiik model, Surrte 6CS25P batarya, konvertör ve karşılanması istenen elektrik yükünden oluşmaktadır. Elektrik yükü değeri 2966 kWh/gün, en büyük yük ise 407,81 kW olarak belirlenmiştir. Sistem tasarımına ait şematik gösterim şekil 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.6 Güneş enerjisi sistemi şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette güneş enerji sistemi verileri şu şekildedir:

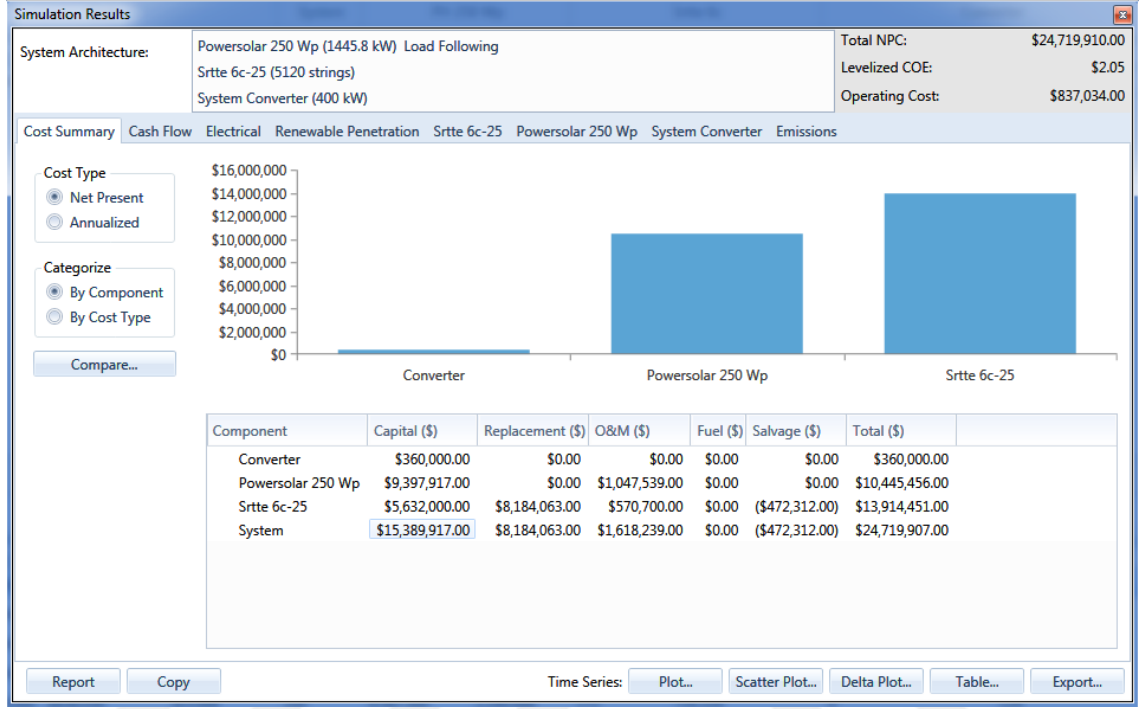
Sistem Yapısı

PV Dizi	: 1446 kW
Batarya	: 5120
Evirici	: 400 kW
Doğrultucu	: 400 kW

Maliyet Özeti

Total Net Maliyet	: 24.719.910 \$
Birim Enerji Maliyeti	: 2,05 \$/kWh

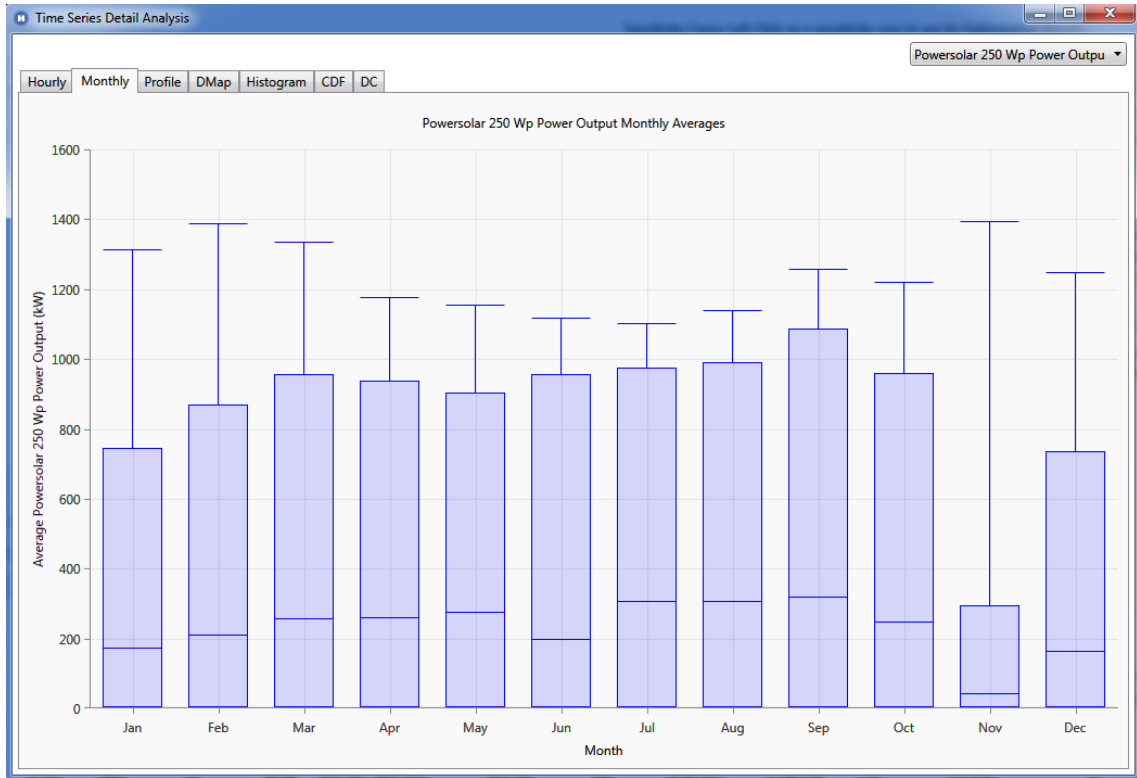
Şekil 5.7’ de sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyeti belirten toplu ekran çıktısı verilmiştir. Şekil 5.8, şekil 5.9 ve şekil 5.10 ise sırasıyla aylık ortalama elektrik üretimi, PV panel güç çıkışının aylık ortalamalarını ve batarya simülasyon sonuçlarını göstermektedir.



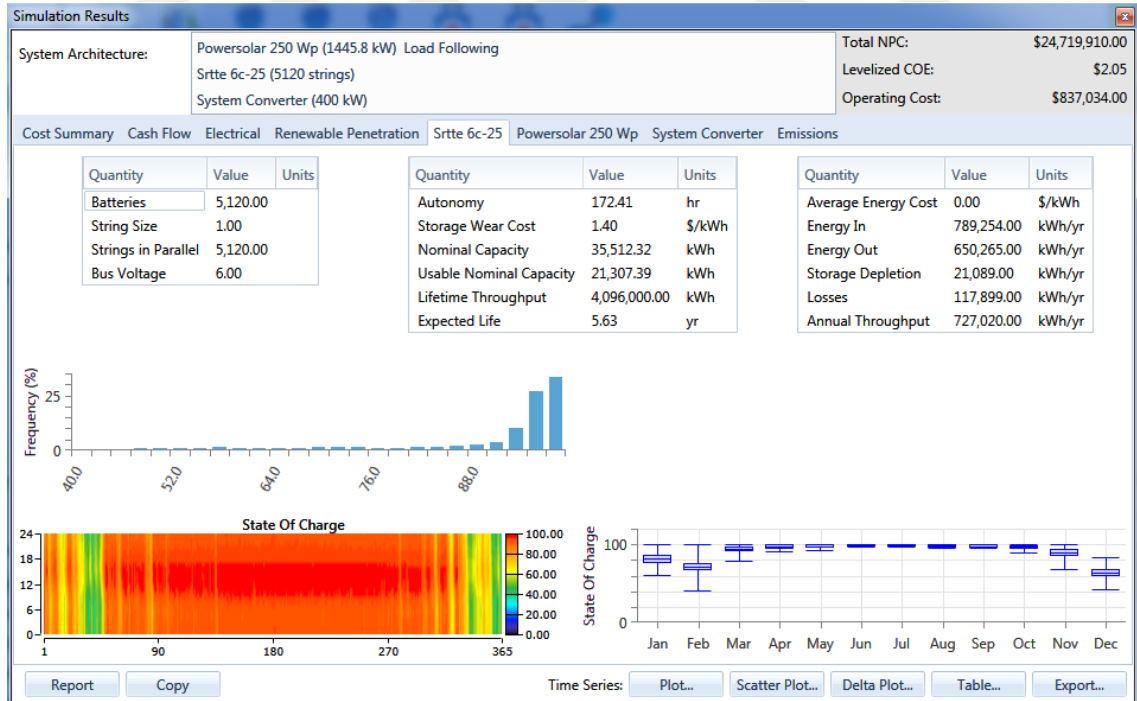
Şekil 5.7 Güneş enerjisi sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet



Şekil 5.8 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.9 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.10 Batarya simülasyon sonuçları

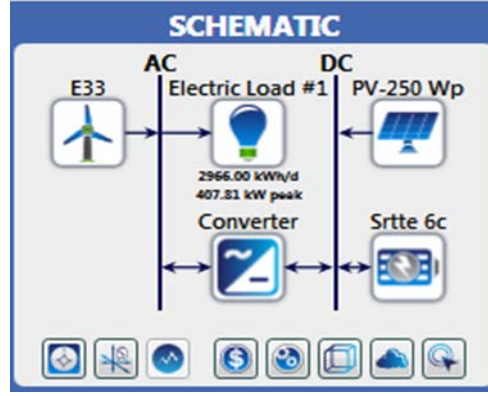
Simülasyon sonuçları incelendiğinde rüzgâr enerji sistemindeki gibi 1280 ve 2560 adetlik bataryalar için sonuç alınamamıştır. Optimum sistemin artık elektrik miktarı dikkate alındığında şekil 5.8’ den de okunduğu gibi artık elektrik miktarı %38,9 olduğu görülmektedir. Üretilen elektriğin yaklaşık %40 kadarı fazlalık olarak kalacaktır. PV dizinin 965 kW, batarya sayısının 20480 ve konvertör gücünün 400 kW olduğu durumda artık elektrik miktarı %12,8’ e kadar düşmüştür. Bu şartlarda toplam net maliyet (NPC) ve birim enerji maliyeti (COE) sırasıyla 34.800.000 \$ ve 2,86 \$/kWh değerlerine yükselmektedir. Diğer parametrelerin aynı olduğu sadece batarya sayısının ve konvertör gücünün biraz daha arttığı (600-800-1000-1200 kW) simülasyon sonucuna göre ise artık elektrik yüzdesinde bir değişiklik gerçekleşmemiş fakat sistem toplam net maliyeti ile birim enerji maliyetinin arttığı belirlenmiştir.

Güneş radyasyon miktarının 7,5 kWh/m²/gün olarak alındığı güneş sistemi tasarımında, batarya ve konvertör değerleri aynı kalmış ve optimum güneş sistemi tasarımı 1052 kW değerinde PV dizilerden oluşmuştur. Güneş radyasyonunun yüksek olmasına bağlı olarak, NPC ve COE kısmen azalarak sırasıyla 21.900.000 \$ ve 1,81 \$/kWh olmuştur.

Kapasite yetersizlik oranı %5’ e göre yapılan simülasyon sonucunda ise en uygun sistem için PV dizi büyüklüğü 1329 kW, batarya adeti 2560 ve konvertör gücü 300 kW olmaktadır. Değerlerin batarya sayısı hariç, normal güneş enerjisi sistem tasarım değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Optimum sistemin toplam net maliyet (NPC) değeri ve birim enerji fiyatı (COE) biraz düşerek sırasıyla 21.300.000 \$ ve 1,84 \$/kWh olduğu belirlenmiştir.

5.1.3 Hibrit Enerji Sistemi 1 (Rüzgâr+Güneş)

Rüzgâr+güneş enerjisi sisteminde kullanılan elemanlar yine E33 model rüzgâr türbini, 250W_p gücünde PV modül, Surrette 6CS25P marka batarya, konvertör ve 2966 kWh/gün değerinde elektrik yüküdür ve şematik gösterim şekil 5.11’ de verilmiştir.



Şekil 5.11 Hibrit enerji sistemi 1 şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette hibrit rüzgâr-güneş enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

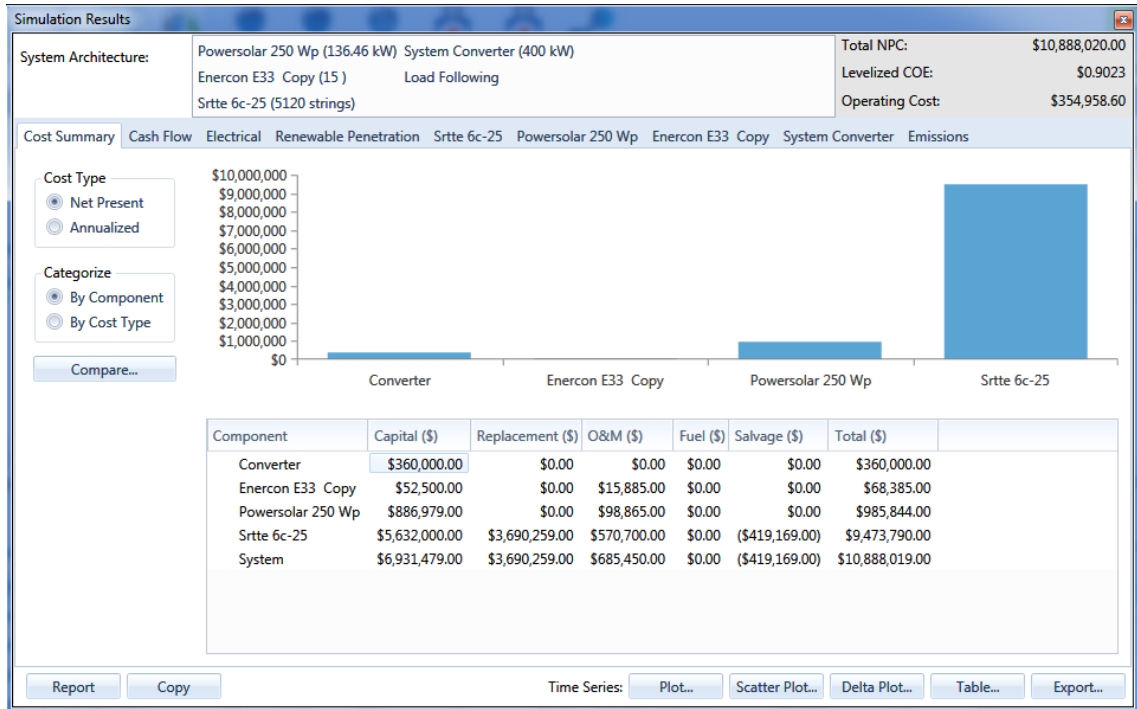
Rüzgâr Türbini	: 15
PV Dizi	: 136 kW
Batarya	: 5120
Evirici	: 400 kW
Doğrultucu	: 400 kW

Maliyet Özeti

Total Net Maliyet : 10.888.020 \$

Birim Enerji Maliyeti : 0,902 \$/kWh

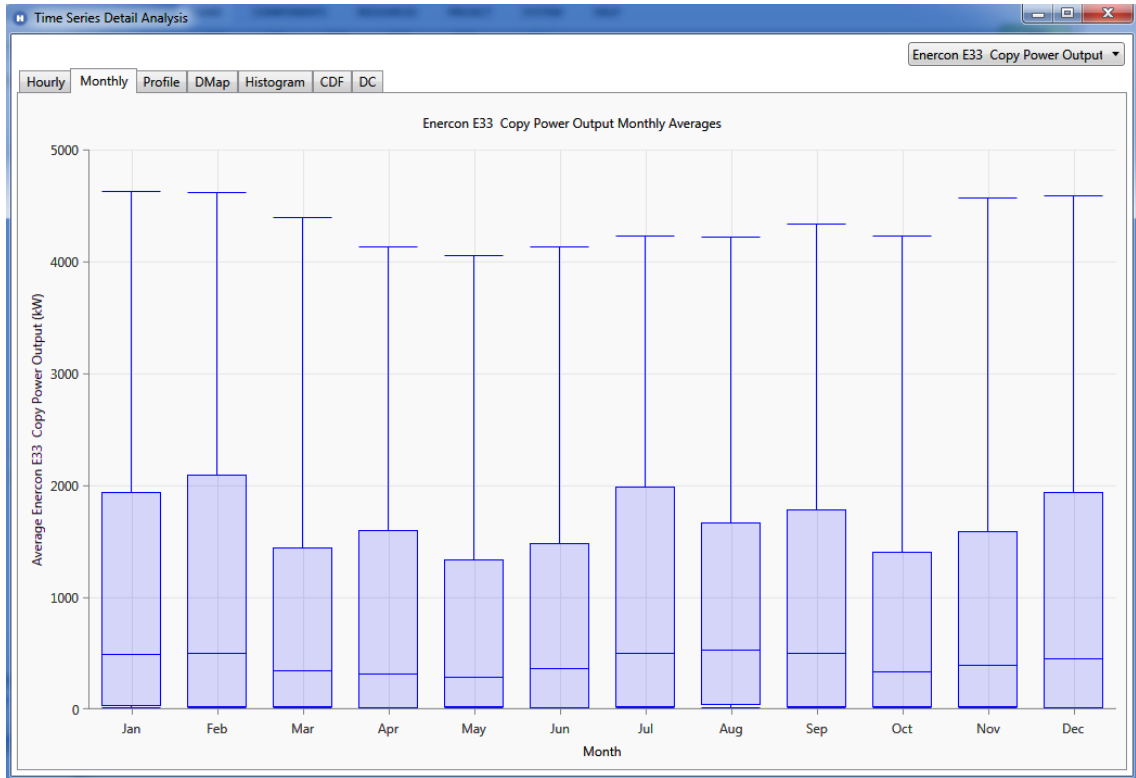
Şekil 5.12 sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizini, şekil 5.13 ise aylık ortalama elektrik üretimini belirtmektedir. Şekil 5.14 ile şekil 5.15 sırasıyla hibrit sisteme ait rüzgâr türbini güç çıkışının ve PV dizi güç çıkışının aylık ortalamalarını göstermektedir. Şekil 5.16’ da da batarya simülasyon sonuçları verilmektedir.



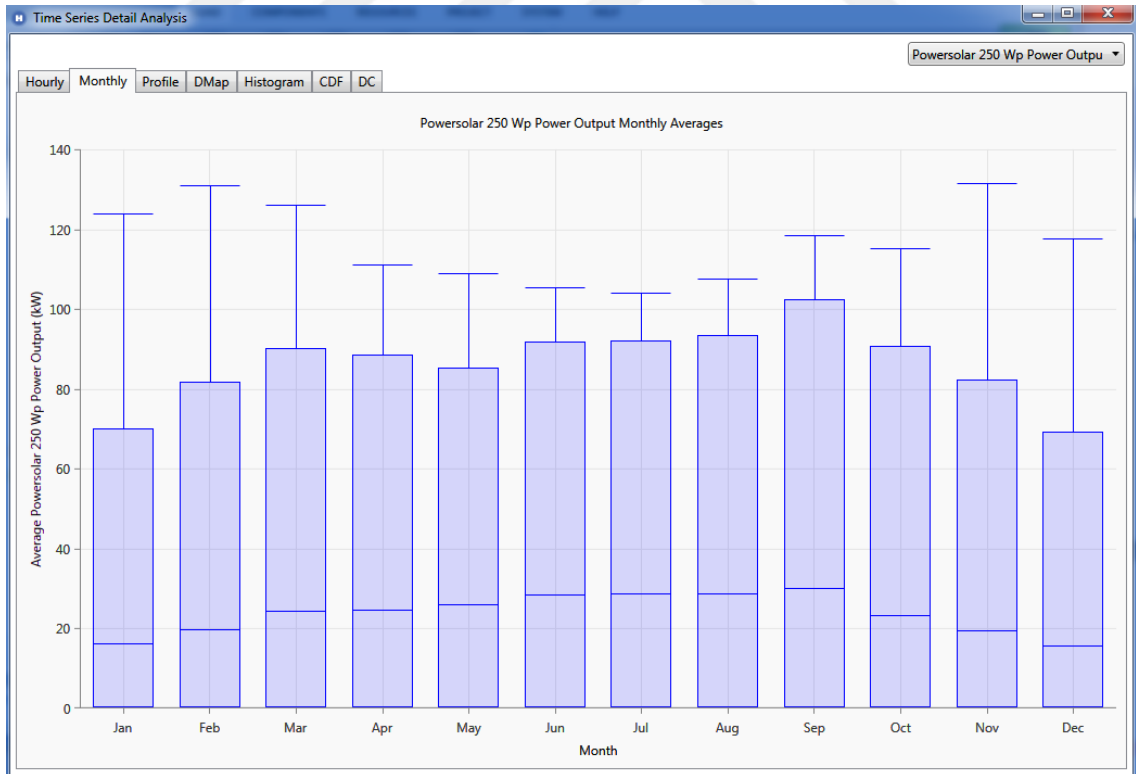
Şekil 5.12 Hibrit enerji sistem 1 elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet



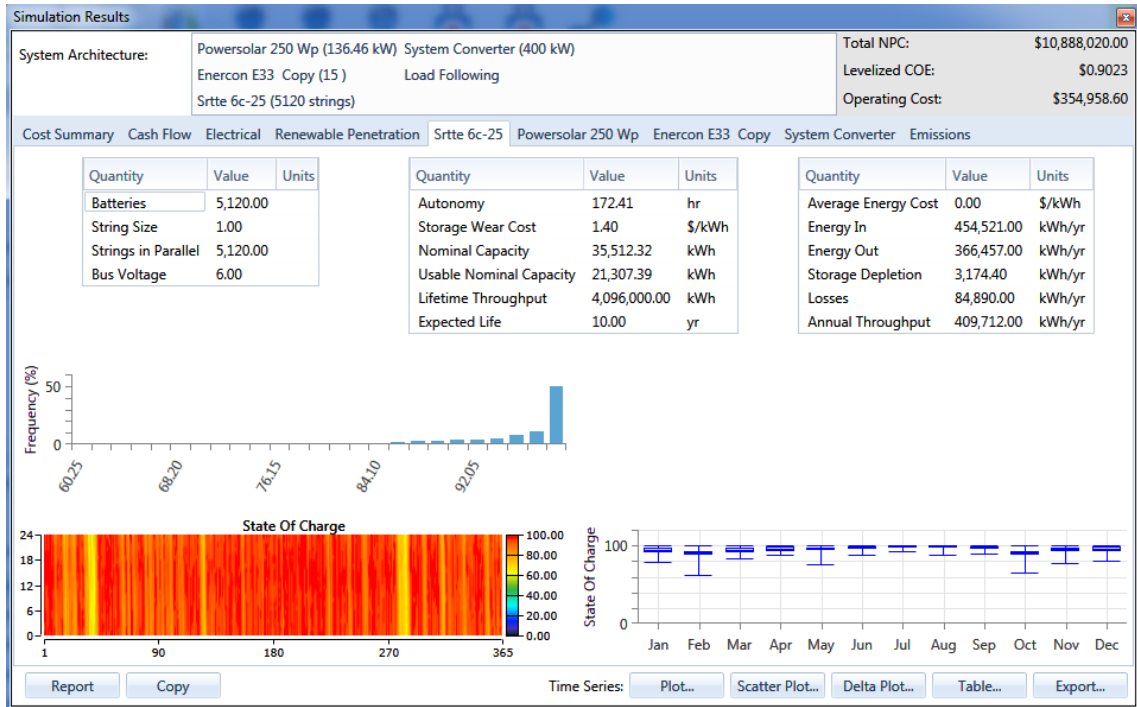
Şekil 5.13 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.14 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.15 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları

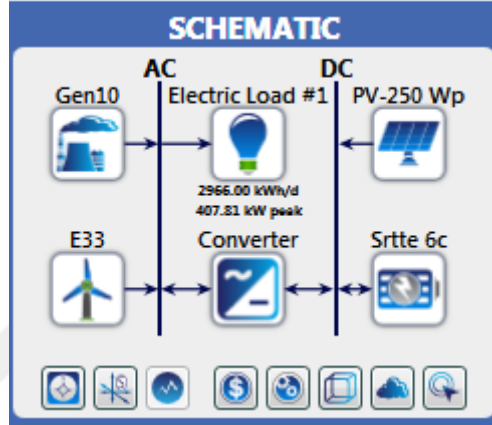


Şekil 5.16 Batarya simülasyon sonuçları

Simülasyon sonuçlarına göz atıldığında diğer sistemlerde olduğu gibi hibrit enerji sisteminde de 5120 adet bataryanın altındaki bataryalar sonuç vermemiştir. Elektrik üretiminin %94,59' u rüzgâr türbinleri, %5,41'i ise güneş panelleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Optimum sistemin artık elektrik miktarı dikkate alındığında şekil 5.13' den de gözüktüğü gibi artık elektrik miktarı %66,5 olarak ölçülmüştür. Üretilen elektriğin üçte iki kadarı sistem için artık elektriktir. 100 kW PV dizi, 6 adet rüzgâr türbini, 10240 adet batarya ve 1200 kW' lık konvertör gücüne sahip olan sistemin artık elektrik miktarı incelendiğinde oranın %66,5' ten %15,5' e kadar düştüğü belirlenmiştir. Artık elektrik miktarının bu seviyelerde ölçüldüğü şartlarda toplam net maliyet (NPC) ve birim enerji maliyeti (COE) sırasıyla 17.600.000 \$ ve 1,46 \$/kWh olmaktadır. Diğer parametrelerin aynı olduğu sadece konvertör gücünün yüksek olduğu (2000-4000-6000 kW) simülasyon sonucuna göre ise artık elektrik yüzdesinde önemli bir değişiklik gerçekleşmemiş fakat sistem toplam net maliyeti ile birim enerji maliyetinin arttığı belirlenmiştir. Kapasite yetersizlik oranı %5' e göre yapılan simülasyon sonucunda ise en uygun sistem için PV dizi büyüklüğü 152 kW, rüzgar türbini adeti 10, batarya sayısı 2560 ve konvertör gücü 200 kW olarak belirlenmiştir. Optimum sistemin toplam net maliyet (NPC) değeri ve birim enerji fiyatı (COE) biraz düşerek sırasıyla 8.530.000 \$ ve 0,713 \$/kWh olmuştur.

5.1.4 Hibrit Enerji Sistemi 2 (Rüzgâr+Güneş+Dizel jeneratör)

Üçüncü senaryodaki hibrit enerji sistemine dizel jeneratör eklenerek oluşturulan şebekeden bağımsız enerji sistemi şekil 5.17’ de belirtilmiştir. Simulasyonu gerçekleştirilen sistem elemanlarına ait değerler bir önceki hibrit enerji sistemi ile aynıdır. Diğer elemanlardan farklı olarak bu senaryoda yer alan dizel jeneratör ile sistemin üçüncü senaryoya kıyasla ne gibi değişiklikler gösterdiği incelenmiştir.



Şekil 5.17 Hibrit enerji sistemi 2 şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette rüzgâr-güneş-dizel enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

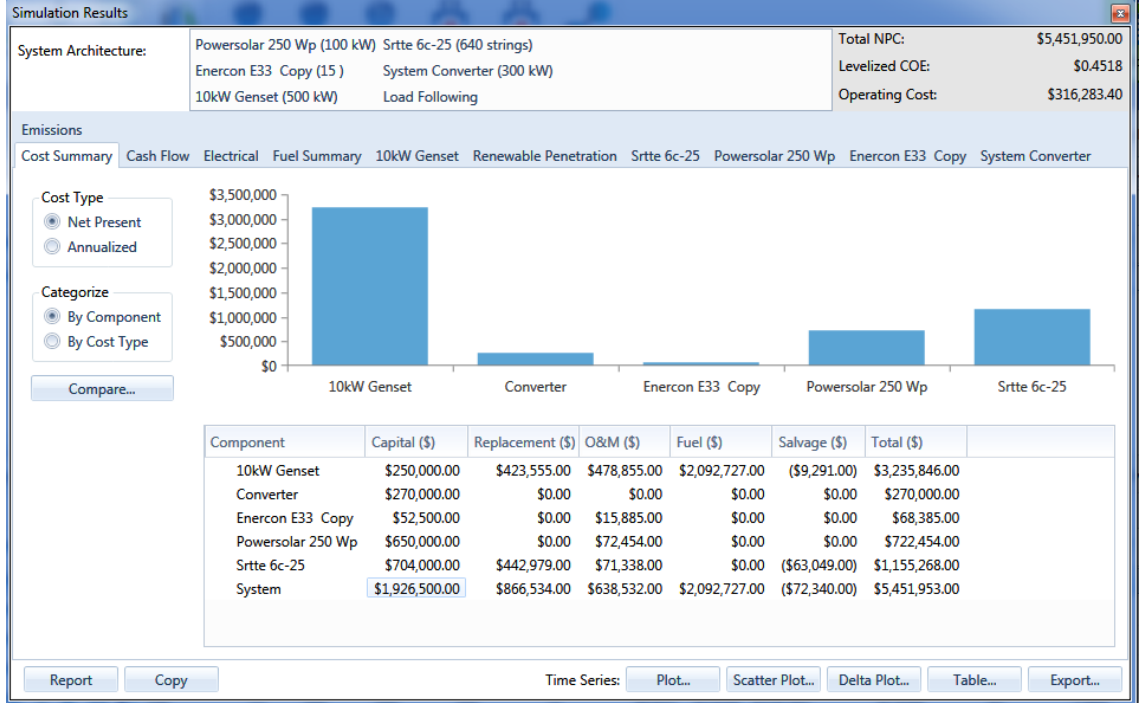
Rüzgâr Türbini	: 15
PV Dizi	: 100 kW
Dizel Jeneratör	: 500 kW
Batarya	: 640
Evirici	: 300 kW
Doğrultucu	: 300 kW

Maliyet Özeti

Total Net Maliyet	: 5.451.950 \$
Birim Enerji Maliyeti	: 0,452 \$/kWh

Şekil 5.18 sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizini, şekil 5.19 ise aylık ortalama elektrik üretimini belirtmektedir. Şekil 5.20, şekil 5.21 ve şekil

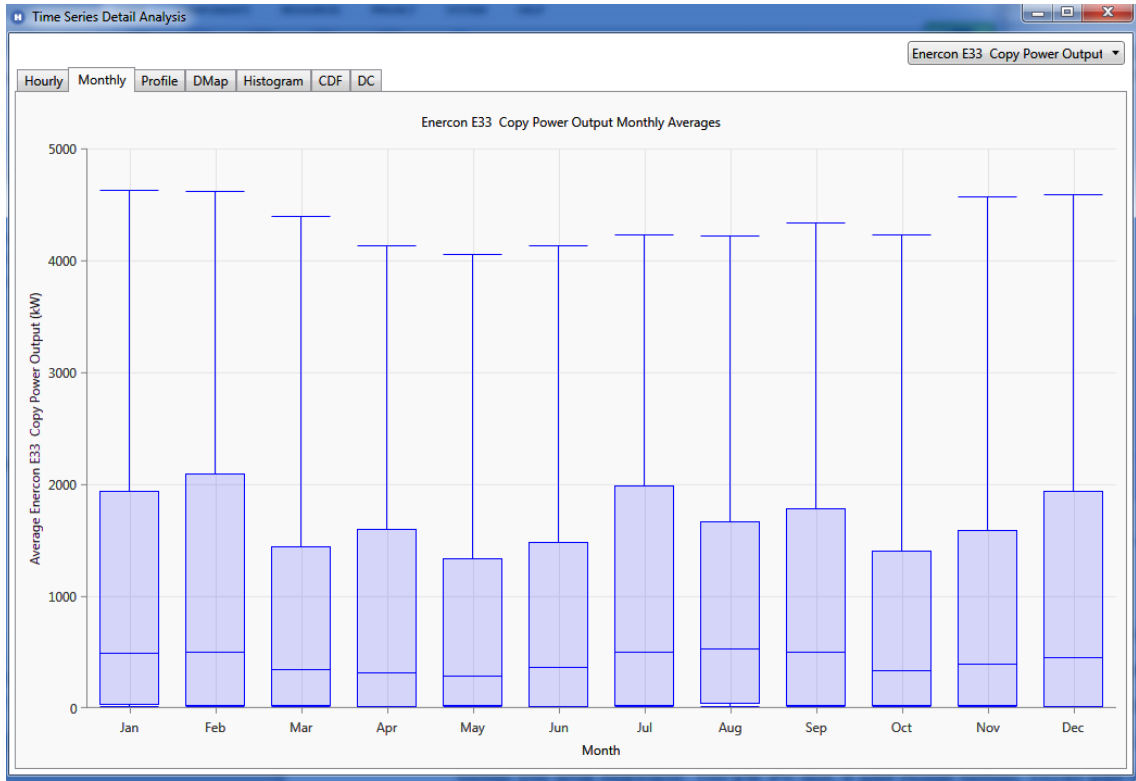
5.22 sırasıyla hibrit sisteme ait rüzgâr türbini güç çıkışının, PV dizi güç çıkışının ve dizel jeneratör güç çıkışının aylık ortalamalarını göstermektedir. Şekil 5.23’ de ise batarya simülasyon sonuçları gösterilmektedir.



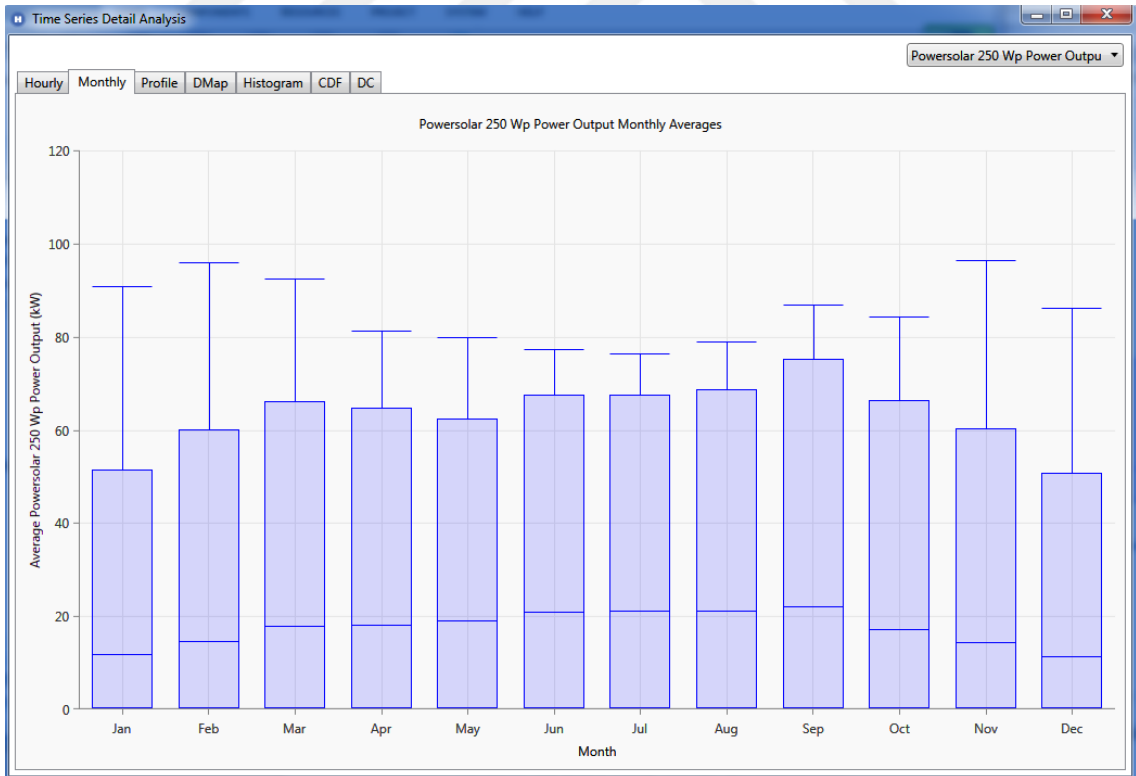
Şekil 5.18 Hibrit enerji sistem 2 elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet



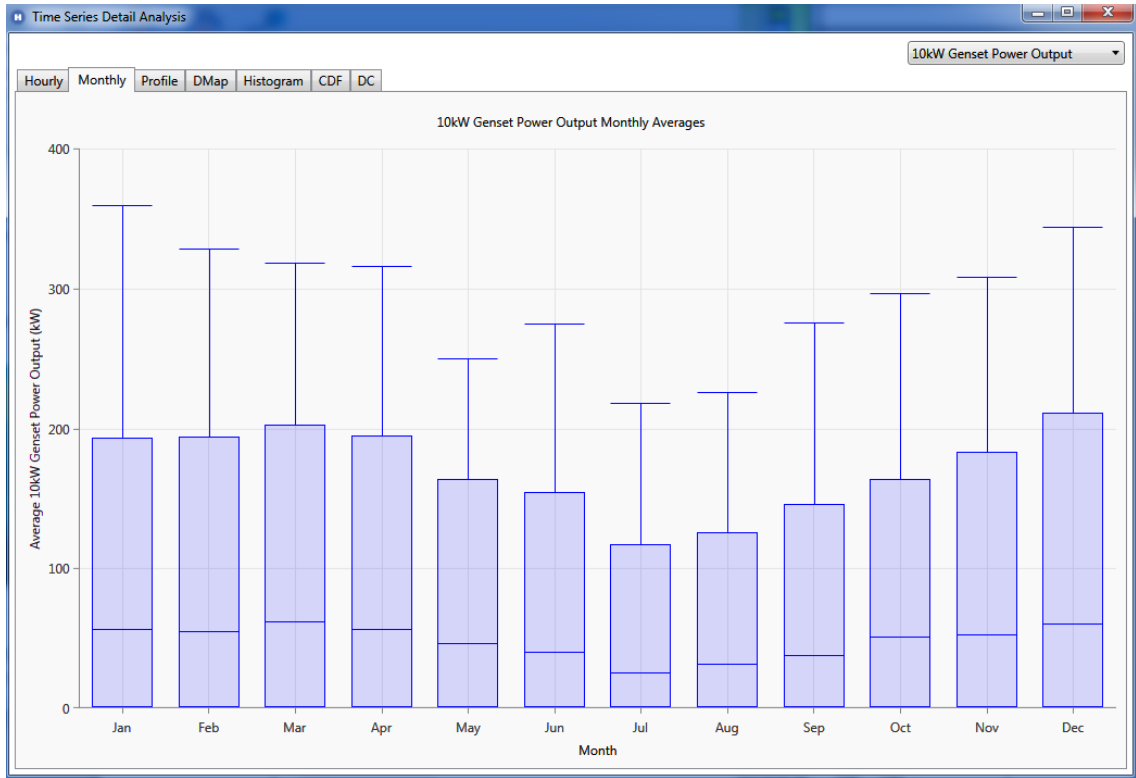
Şekil 5.19 Aylık ortalama elektrik üretimi



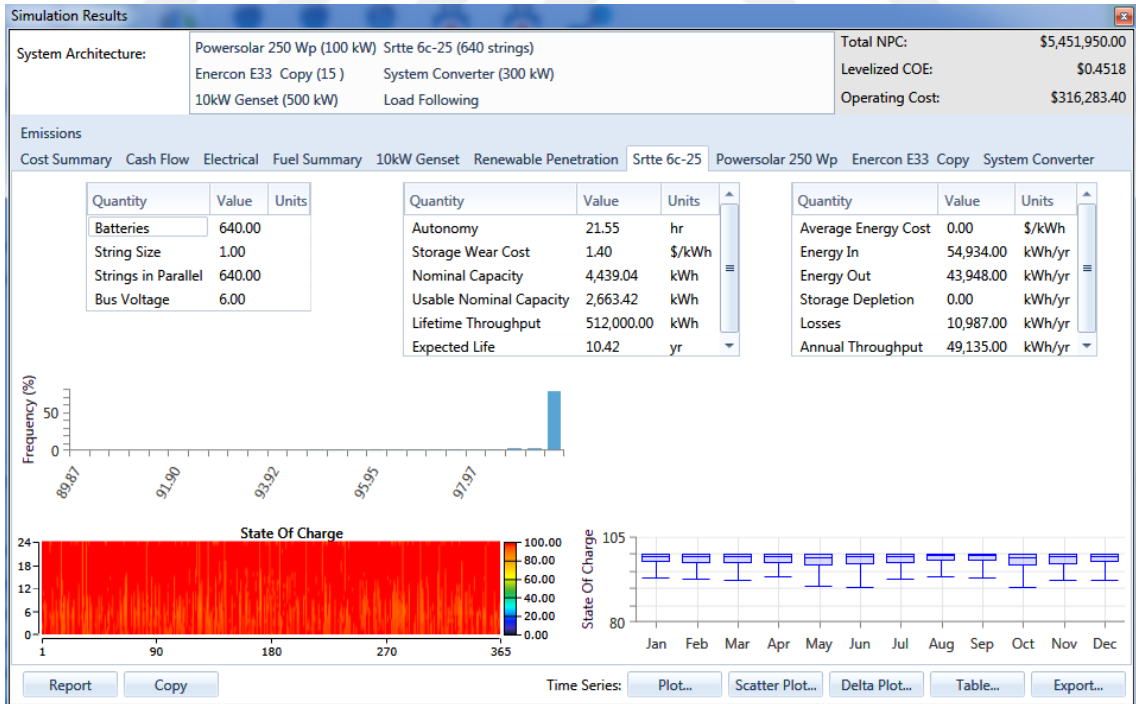
Şekil 5.20 Rüzgâr türbini güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.21 PV dizi güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.22 Dizel jeneratör güç çıkışı aylık ortalamaları



Şekil 5.23 Batarya simulasyon sonuçları

Sistem simülasyonu sonucunda oluşan gaz emisyon değerleri çizelge 5.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Gaz emisyon değerleri

Gazlar	Değer	Birim
Karbondioksit	494,402.00	kg/yıl
Karbonmonoksit	1,220.40	kg/yıl
Yanmamış hidrokarbon	135.18	kg/yıl
Parçacıklı madde	92.00	kg/yıl
Sülfürdioksit	992.85	kg/yıl
Azot oksitleri	10,889.00	kg/yıl

Sonuçlar ele alındığında diğer sistemlerden farklı olarak bu enerji sisteminde daha düşük sayıda bataryanın (640 adet) optimum enerji sisteminde yer aldığı görülmektedir. Sistemin elektrik üretiminde, rüzgâr türbinleri %86,45’ lik, güneş panelleri %3,62’ lik, dizel jeneratör ise %9,93’ lük paya sahiptir. Optimum sistemin artık elektrik miktarına bakıldığında şekil 5.19’ dan da incelenebileceği gibi artık elektrik miktarı %73,6 olarak ölçülmüştür. Üretilen elektriğin üçte birinden daha azı sistemin gereksinim duyduğu elektrik ihtiyacını karşılamış, üçte ikisinden fazlası da artık elektrik olarak açığa çıkmıştır. Simulasyon sonuç tablosundan daha düşük artık elektriğe sahip olan sistemlere bakıldığında, 100 kW PV dizi, 6 adet rüzgâr türbini, 500 kW jeneratör, 2560 adet batarya ve 200 kW konvertör’ den oluşan sistemin artık elektrik miktarının %45,2 oranında olduğu tespit edilmiştir. Artık elektrik miktarı normalden daha az olan bu sistemin toplam net maliyet (NPC) ve birim enerji maliyeti (COE) sırasıyla 7.790.000 \$ ve 0,645 \$/kWh olmaktadır. Diğer sistemlerden farklı olarak parametrelerdeki değişiklikler artık elektrik yüzdesinde kayda değer bir düşüş sağlamamış ancak sistem toplam net maliyeti ile birim enerji maliyetini az da olsa arttırmıştır. İlk üç sistemde olduğu gibi batarya sayısı ve konvertör gücünün yüksek seçildiği sistem tasarımlarında artık elektrik miktarı önemli ölçüde azalırken, sistem maliyetleri artmaktadır.

5.1.5 Hibrit Enerji Sistemi 3 (Rüzgâr+Güneş)

Bu sistemde bir önceki rüzgâr+güneş enerji sisteminden farklı olarak gerçek rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu verilerine ek hayali iki veri daha tanımlanarak, değişik verilere göre sistemin hassaslık analizi incelenmiştir. Rüzgâr hızı verileri için 3,89 m/s ve 8 m/s, güneş radyasyonu için de 4,83 kWh/m²/gün ve 7,5 kWh/m²/gün değerleri tanımlanmıştır. Diğer sistemlerde de kullanılan tüm veriler ve eleman boyutlandırılması aynıdır. Hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu şekil 5.24' de gösterilmiştir.

RESULTS													
Sensitivity Cases: Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.													
Sensitivity		Architecture											
Solar Scaled Average (kWh/m ² /day)	Wind Scaled Average (m/s)	PV-250 Wp (kW)	E33	Srtte 6c	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
4.8271666666666666666666666666667	3.8866666666666666666666666666667	136	15	5,120	400	LF	\$0.902	\$10.9M	\$354,95				
4.8271666666666666666666666666667	8		15	2,560	300	LF	\$0.363	\$4.39M	\$111,84				
7.5	3.8866666666666666666666666666667	173	15	5,120	400	LF	\$0.881	\$10.6M	\$310,65				
7.5	8		15	2,560	300	LF	\$0.363	\$4.39M	\$111,84				

Optimization Cases: Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.													
Architecture							Cost				System	PV-250 Wp	
PV-250 Wp (kW)	E33	Srtte 6c	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)		
100	15	2,560	300	LF	\$0.363	\$4.39M	\$111,842	\$3.14M	100				
1,500		5,120	400	LF	\$2.06	\$24.9M	\$820,088	\$15.7M	100	9,750,000	2,789,213		

Şekil 5.24 Hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu

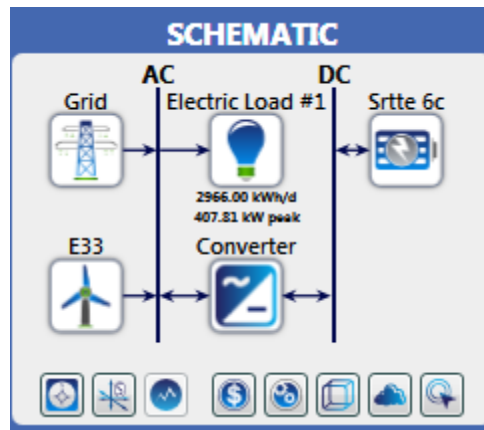
Hassaslık analizi sonuçlarına göre en uygun hibrit enerji sistemleri dört farklı kombinasyon halinde şekil 5.24' den okunmaktadır. Rüzgâr hızının 8 m/s kullanıldığı, güneş radyasyon miktarının aynı kaldığı tasarımda COE ve NPC değerinin yaklaşık 3 kat azaldığı ve diğer maliyetlerin de ciddi anlamda düştüğü gözükmektedir. Güneş radyasyon değerinin 7,5 kWh/m²/gün olduğu, rüzgâr hızının sabit kaldığı tasarımda sistem maliyetinde çok küçük değişiklikler gerçekleşmiştir. İki verinin birlikte yükseldiği tasarımda ise maliyet değerleri, sadece rüzgâr hızı verisinin yükseldiği tasarım ile aynı olmaktadır. Rüzgâr hızı ve güneş radyasyon oranının en yüksek olduğu hassaslık sonuçlarında diğer sistemlerle kıyaslandığında rüzgâr türbinlerinin elektrik üretimindeki payı yükselmektedir.

5.2 Şebekeye Bağımlı Enerji Sistemleri

İnönü Üniversitesi elektrik ihtiyacının belirli bir kısmını HOMER programı ile simüle ederek, optimum maliyette karşılamak amacıyla yapmış olduğumuz yüksek lisans tez çalışmasının ikinci kısmında simülasyon hesaplamaları için yine rüzgâr enerjisi sistemi, güneş enerjisi sistemi, hibrit enerji sistemi (rüzgâr + güneş), bir önceki bölümde belirtilen verilere göre bu kez şebekeye bağlı modellenmiştir. Simulasyonda hibrit sisteme ek olarak bir de dizel jeneratör kullanılmıştır. Şebekeye bağlı sistemler için kapasite yetersizlik oranı kullanılmamıştır.

5.2.1 Rüzgâr Enerjisi Sistemi

Sistem tasarımında kullanılan elemanlar şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminde kullanılan elemanların aynısıdır. Şebekeden bağımsız rüzgâr enerji sisteminden farklı olarak bu sistem şebekeye bağlı olarak modellenmiştir. Elektrik şebekesi satış kapasitesi 10.000 kW, satın alma kapasitesi ise 0 ve 1000 kW olarak sisteme aktarılmıştır. Satış kapasitesinin yüksek tutulmasındaki amaç ihtiyaç fazlası elektriğin şebekeye tekrardan satılmasıdır. Şekil 5.25’ de rüzgâr enerji sistemini oluşturan elemanların şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 5.26, şekil 5.27 ve şekil 5.28 ise sırasıyla sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizini, sistemin aylık ortalama elektrik üretimini ve şebeke elektrik alım-satım değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.25 Rüzgâr enerji sistemi şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette rüzgâr-şebeke enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

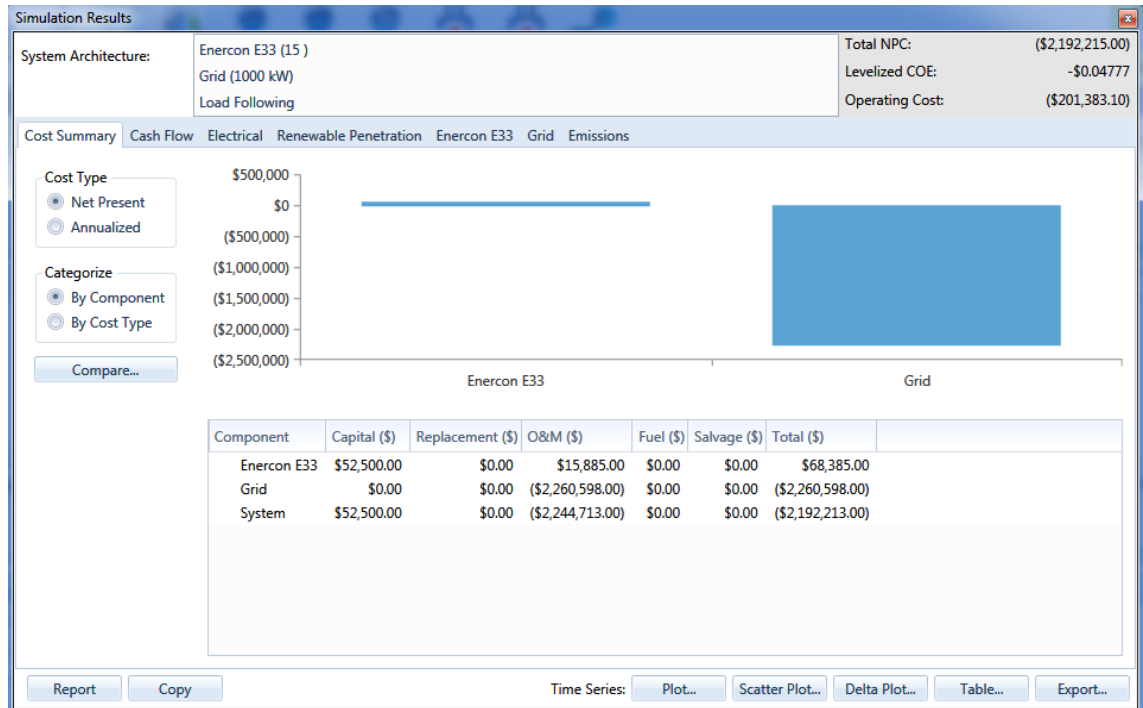
Rüzgâr Türbini : 15

Şebeke : 1000 kW

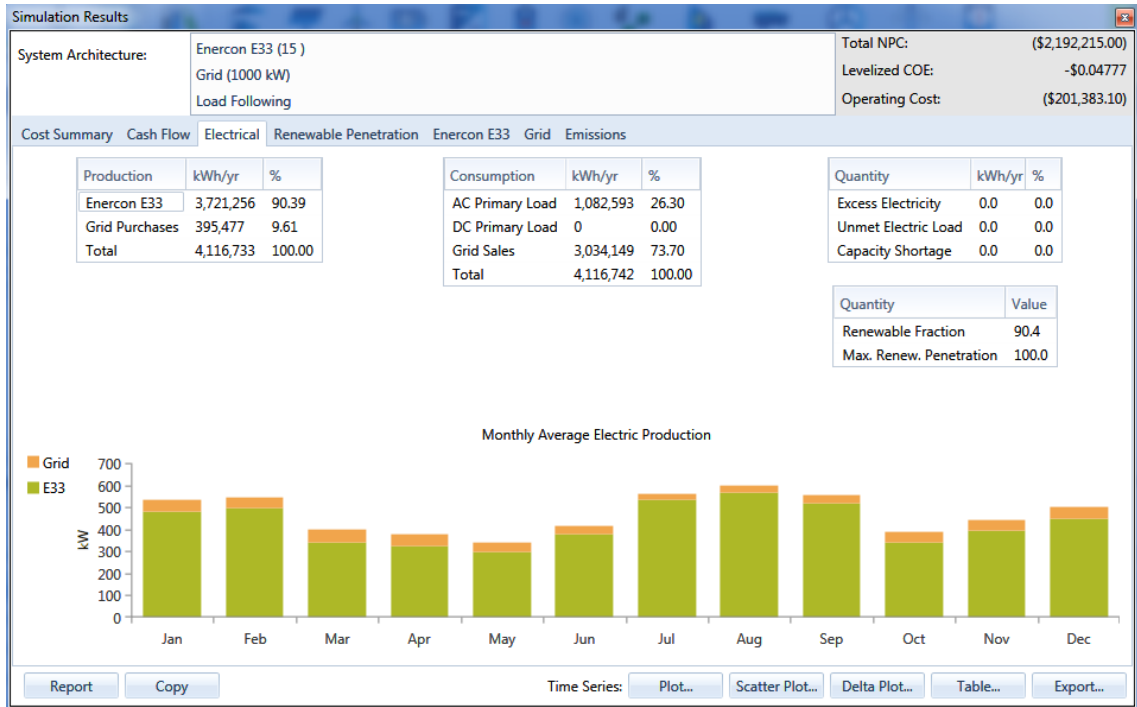
Maliyet Özeti

Total Net Maliyet : -2.192.215 \$

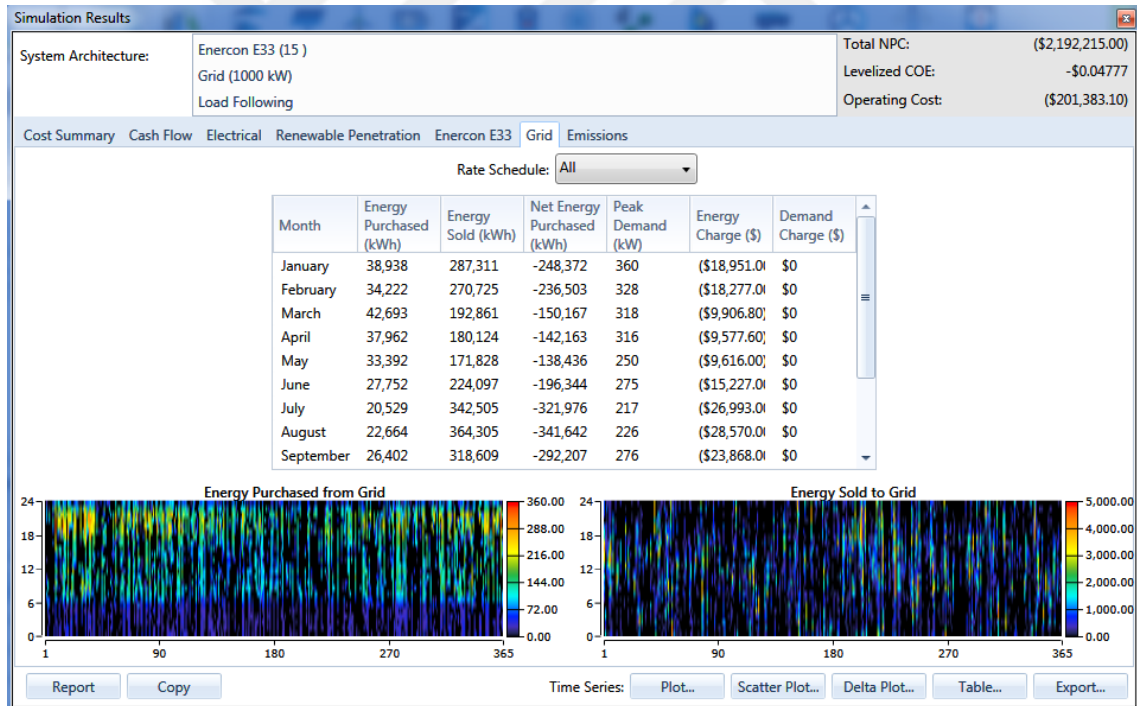
Birim Enerji Maliyeti : -0,0478 \$/kWh



Şekil 5.26 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi



Şekil 5.27 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.28 Şebeke elektrik alım-satım değerleri

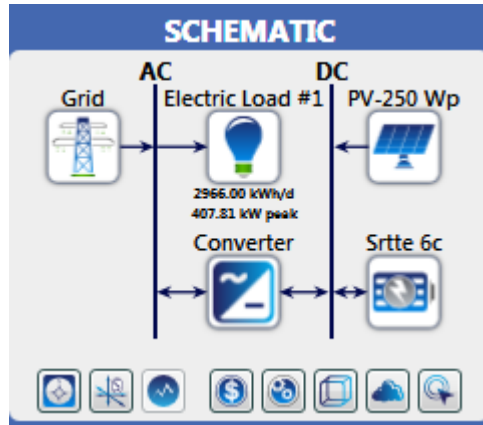
Simulasyon sonuçları incelendiğinde en uygun sistemin, batarya ve konvertörün mevcut olmadığı, sadece 15 adet rüzgâr türbini ve 1000 kW gücünde elektrik şebekesinden oluşan sistem olduğu görülmektedir. Simulasyon neticesinde sisteme ait birim enerji fiyatı (COE) ve toplam net maliyet (NPC) negatif değerler almıştır. Negatif

değerler gelirlerin, giderlerden daha fazla olduğu durumlarda oluşmaktadır. Optimum sisteme batarya ve konvertör dâhil edildiğinde maliyet değerlerinin arttığı görülmüştür. Rüzgâr hızının 8 m/s olarak alındığı rüzgâr sistemi tasarımında, optimum rüzgâr sistemi tasarımı 6 adet rüzgâr türbini, 80 adet batarya ve 700 kW değerinde konvertörden oluşmuştur. Rüzgâr hızının yüksek olmasına bağlı olarak, NPC ve COE değerleri azalarak sırasıyla -4.400.000 \$ ve -0,0575 \$/kWh olmuştur.

5.2.2 Güneş Enerjisi Sistemi

Sistem tasarımında kullanılan elemanlar şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminde kullanılan elemanların aynısıdır. Sistemde sadece PV dizi güç aralığı 100 ile 3500 kW arasında olacak şekilde modellenmiştir. Şebekeden bağımsız güneş enerji sisteminden farklı olarak bu sistem şebekeye bağlı olarak modellenmiştir. Elektrik şebekesi satış kapasitesi yine 10.000 kW, satın alma kapasitesi ise 0 ve 1000 kW olarak girilmiştir. Şekil 5.29 güneş enerji sistemini oluşturan elemanları belirtmektedir.

Şekil 5.30 ve şekil 5.31 sırasıyla sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi ile sistemin aylık ortalama elektrik üretimini göstermektedir. Şekil 5.32 ve şekil 5.33’ de ise sırasıyla şebeke elektrik alım-satım değerleri ile batarya simülasyon sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.29 Güneş enerjisi sistemi şematik gösterimi

Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette güneş-şebeke enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

PV Dizi : 3500 kW

Şebeke : 1000 kW

Batarya : 320

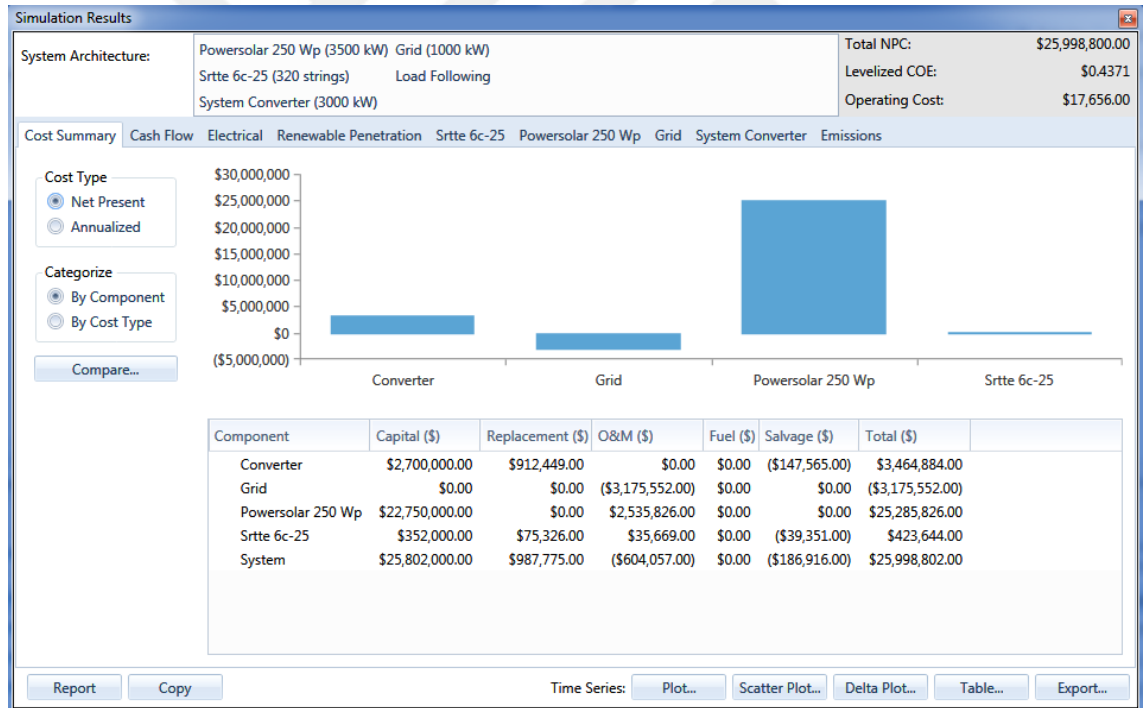
Evirici : 3000 kW

Doğrultucu : 3000 kW

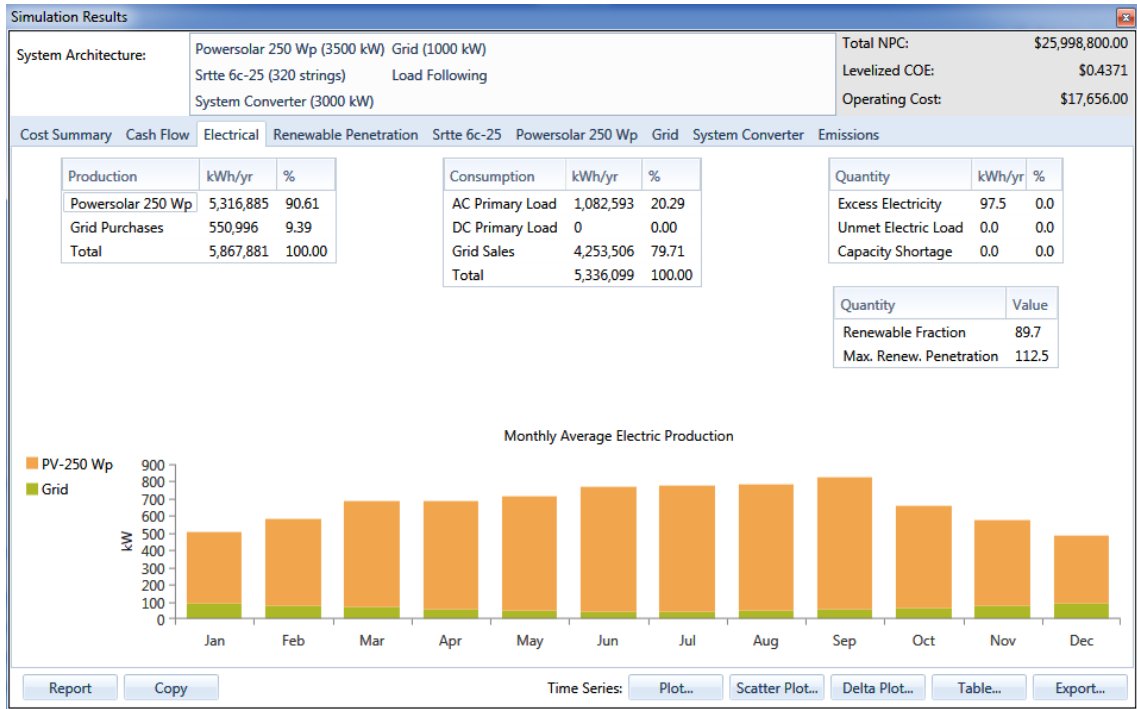
Maliyet Özeti

Total Net Maliyet : 25.998.800 \$

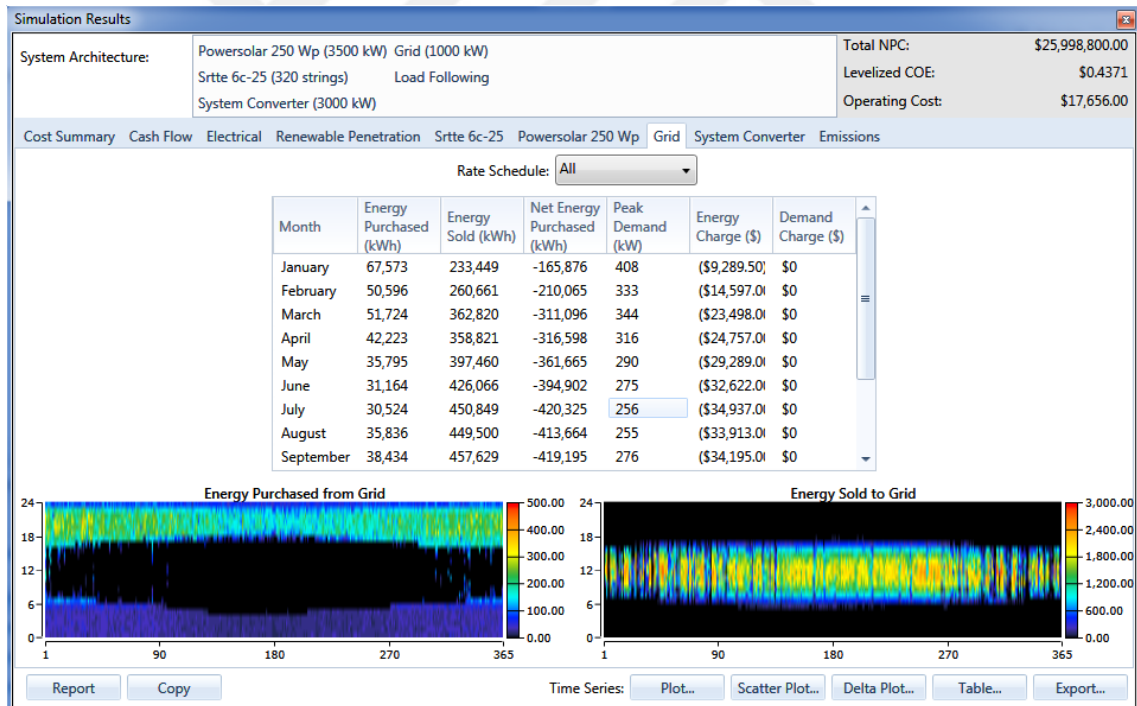
Birim Enerji Maliyeti : 0,437 \$/kWh



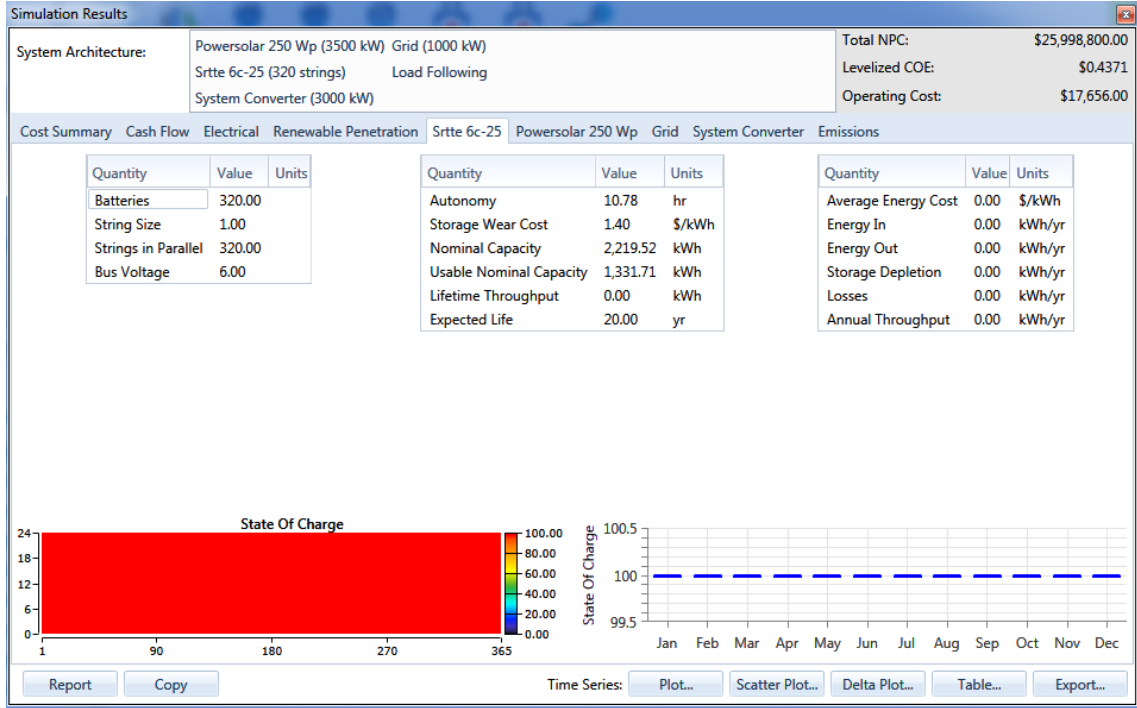
Şekil 5.30 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi



Şekil 5.31 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.32 Şebeke elektrik alım-satım değerleri



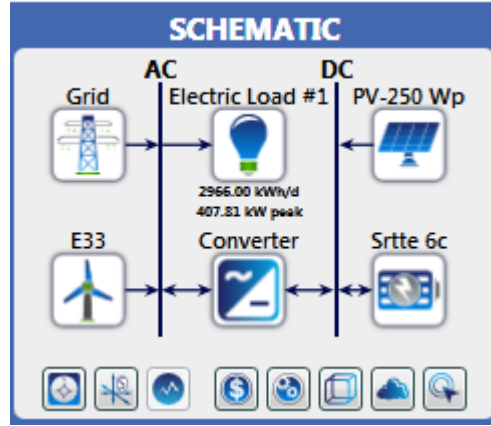
Şekil 5.33 Batarya simülasyon sonuçları

Sistem simülasyonu sonucunda en uygun sistemin, 3500 kW güneş paneli, 1000 kW gücünde elektrik şebekesi, 320 adet batarya ve 3000 kW değerinde konvertöre sahip sistemin olduğu anlaşılmıştır. Sistem birim enerji fiyatı (COE), şebekeden bağımsız güneş enerji sistemine göre oldukça düşük, toplam net maliyet (NPC) ise şebekeden bağımsız güneş enerji sistemine göre biraz yüksek çıkmıştır. Diğer sonuçlara bakıldığında daha yüksek konvertör gücünde sistem fazla elektriği şebekeye daha çok satabilmektedir. Güneş radyasyon miktarının 7,5 kWh/m²/gün olarak alındığı güneş sistemi tasarımı, optimum güneş sistemi tasarımı yine aynı değerdeki elemanlardan oluşmuştur. Güneş radyasyonunun yüksek olmasına bağlı olarak, NPC ve COE kısmen azalarak sırasıyla 24.900.000 \$ ve 0,349 \$/kWh olmuştur.

5.2.3 Hibrit Enerji Sistemi 1 (Rüzgâr + Güneş + Şebeke)

Sistem tasarımı kullanılan elemanlar şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemindeki gibi değiştirilmeden kullanılmıştır. Elektrik şebekesi satış kapasitesi diğer iki sistemde olduğu gibi 10.000 kW, satın alma kapasitesi ise 0 ve 1000 kW olarak program veri giriş kısmına girilmiştir. Şekil 5.34 hibrit enerji sistemini oluşturan elemanları belirtmektedir. Şekil 5.35 sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizini, şekil 5.36 ve şekil 5.37 ise sırasıyla, sistemin aylık ortalama elektrik

üretimini ve şebeke elektrik alım-satım değerlerini belirtmektedir. Şekil 5.38’de de batarya benzetim sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.34 Hibrit enerji sistemi 1 şematik gösterimi

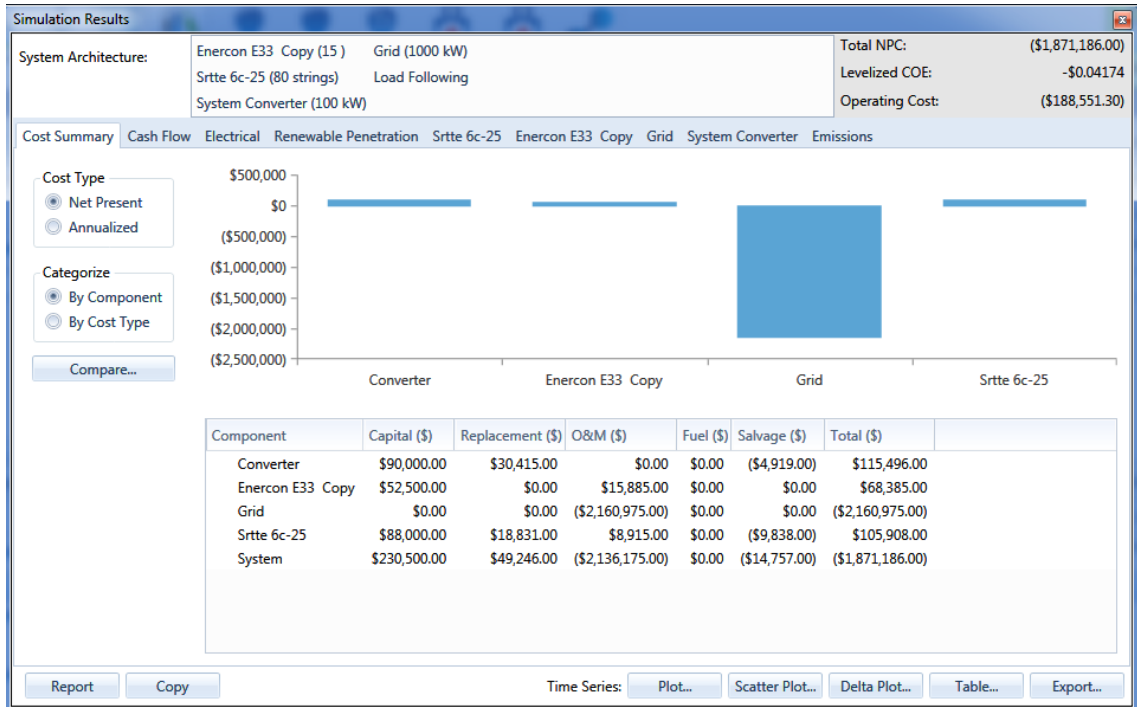
Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette rüzgâr-güneş-şebeke enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

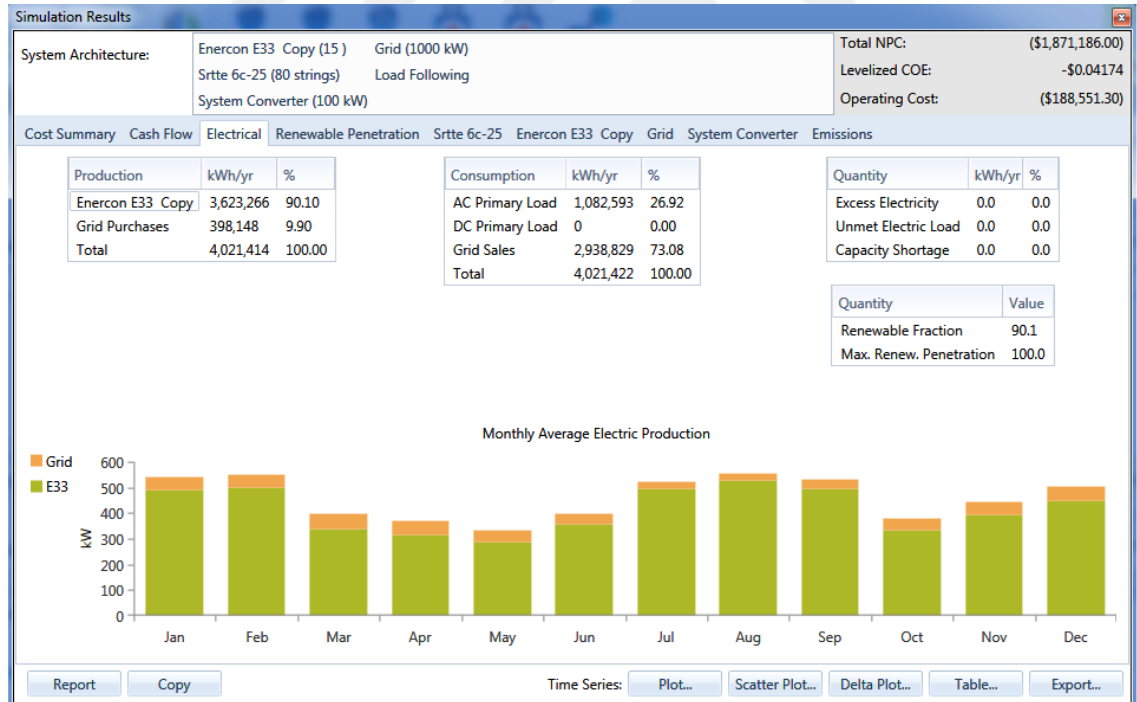
Rüzgâr Türbini	: 15
Şebeke	: 1000 kW
Batarya	: 80
Evirici	: 100 kW
Doğrultucu	: 100 kW

Maliyet Özeti

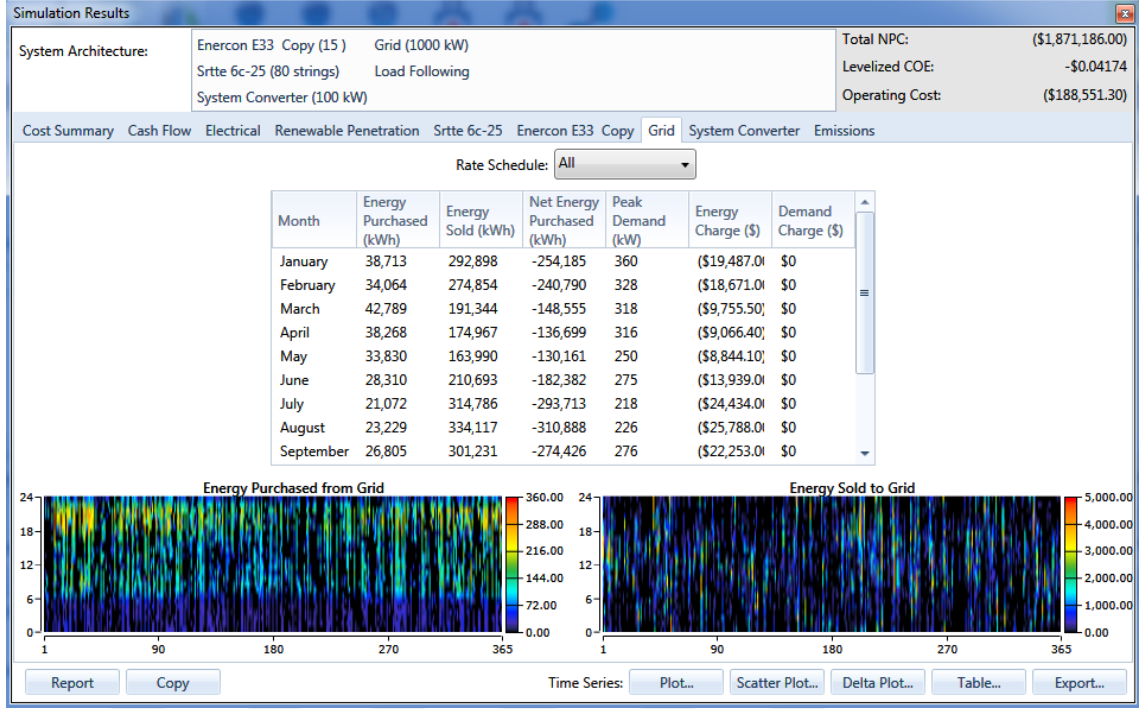
Total Net Maliyet	: -1.871.186 \$
Birim Enerji Maliyeti	: -0,0417 \$/kWh



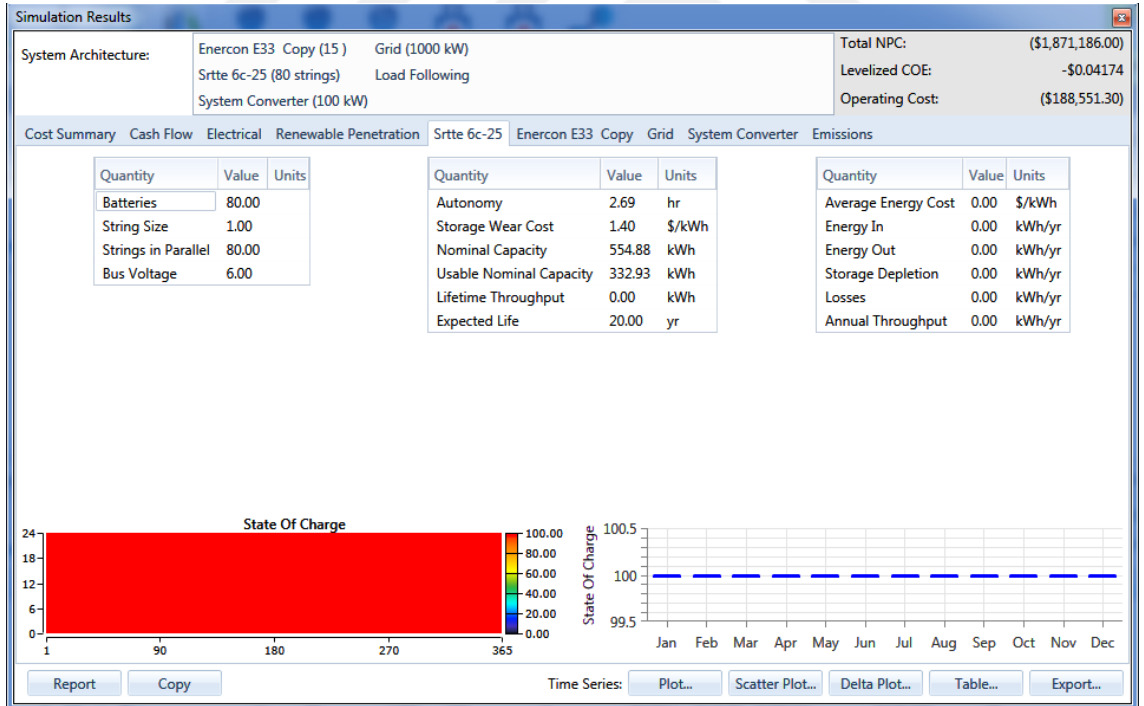
Şekil 5.35 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi



Şekil 5.36 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.37 Şebeke elektrik alım-satım değerleri

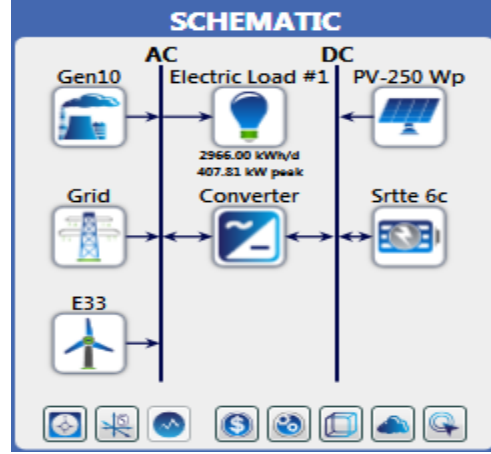


Şekil 5.38 Batarya benzetim sonuçları

Sistem simulasyonu sonucunda en uygun sistemin, PV panelin olmadığı, 15 adet rüzgâr türbini, 80 adet batarya, 1000 kW gücünde elektrik şebekesi ve 100 kW değerinde konvertöre sahip sistemin olduğu anlaşılmıştır. Sistem birim enerji fiyatı (COE) ve toplam net maliyet (NPC) negatif değerler almışlardır ve şebekeden bağımsız rüzgâr-güneş enerji sistemine göre oldukça düşük maliyetlerdir. Maliyetlerin negatif değerde olması, üretilen fazla elektriğin şebekeye yeniden satışı ve gelirlerin giderlerden fazla olmasındandır. Elektrik üretiminin %90,10' u rüzgâr türbinleri, %9,90' lık kısmı ise şebeke tarafından karşılanmıştır. Diğer sonuçlara bakıldığında PV panelin sisteme dâhil edildiği ve daha yüksek konvertör gücü ile daha fazla sayıda bataryanın mevcut olduğu sistemlerde maliyet değerleri, parametrelerin artışına bağlı olarak yükselmiştir. Bu sistemde PV panel maliyet değerlerini artıran en önemli eleman olmuştur. Şebekeye bağlı yenilenebilir hibrit enerji sisteminde bataryanın modellenip modellenmemesi isteğe bağlıdır. Eğer modellenirse üretilen fazla enerji bataryada depolanır ve herhangi bir elektrik kesintisi durumunda sistem bataryada depolanan enerjiyi kullanır. Modellenmediği durumlarda ise üretilen enerji direk şebekeye aktarılır.

5.2.4 Hibrit Enerji Sistemi 2 (Rüzgâr + Güneş + Jeneratör + Şebeke)

Sistem tasarımında kullanılan elemanlar yine şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemindeki gibi değiştirilmeden kullanılmıştır. Elektrik şebekesi satış kapasitesi diğer sistemlerde olduğu gibi 10.000 kW, satın alma kapasitesi ise 0 ve 1000 kW olarak belirlenmiştir. Şekil 5.39' da hibrit enerji sistemini oluşturan elemanların şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 5.40 sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizini, şekil 5.41, şekil 5.42 ve şekil 5.43 ise sırasıyla, sistemin aylık ortalama elektrik üretimini, şebeke elektrik alım-satım değerlerini ve batarya benzetim sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 5.39 Hibrit enerji sistemi 2 şematik gösterimi

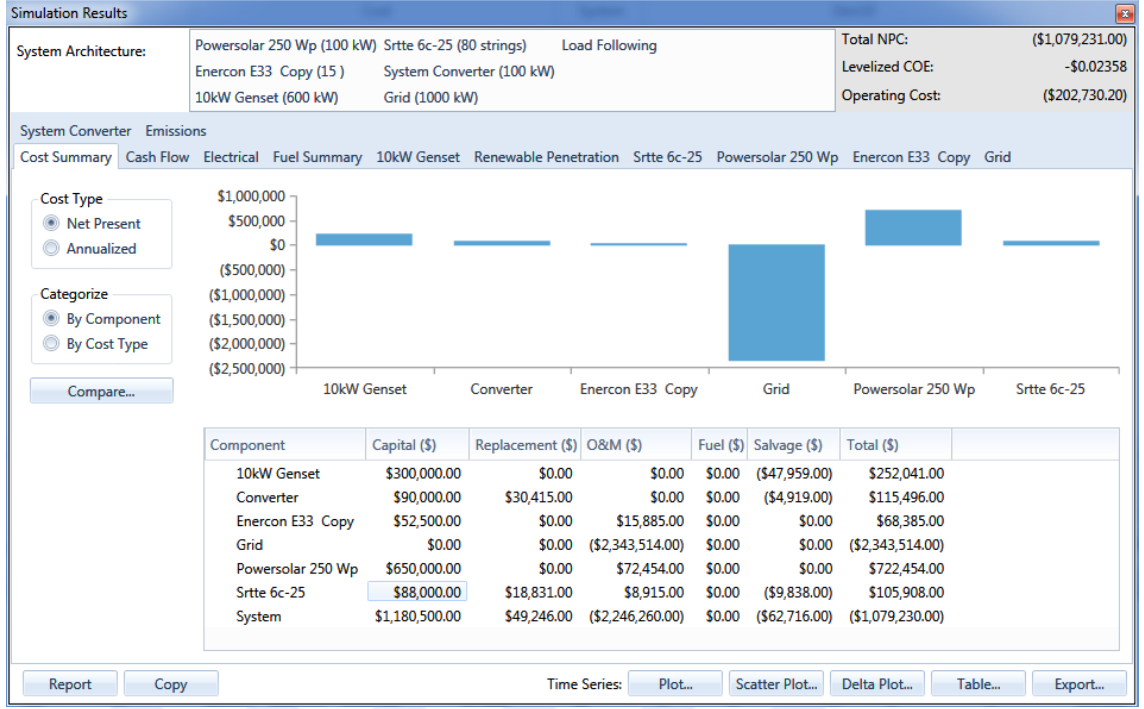
Simülasyon sonucuna göre en uygun maliyette rüzgâr-güneş-dizel-şebeke enerji sistemi verileri şu şekildedir:

Sistem Yapısı

PV Dizi	: 100 kW
Rüzgâr Türbini	: 15
Dizel Jeneratör	: 600 kW
Şebeke	: 1000 kW
Batarya	: 80
Evirici	: 100 kW
Doğrultucu	: 100 kW

Maliyet Özeti

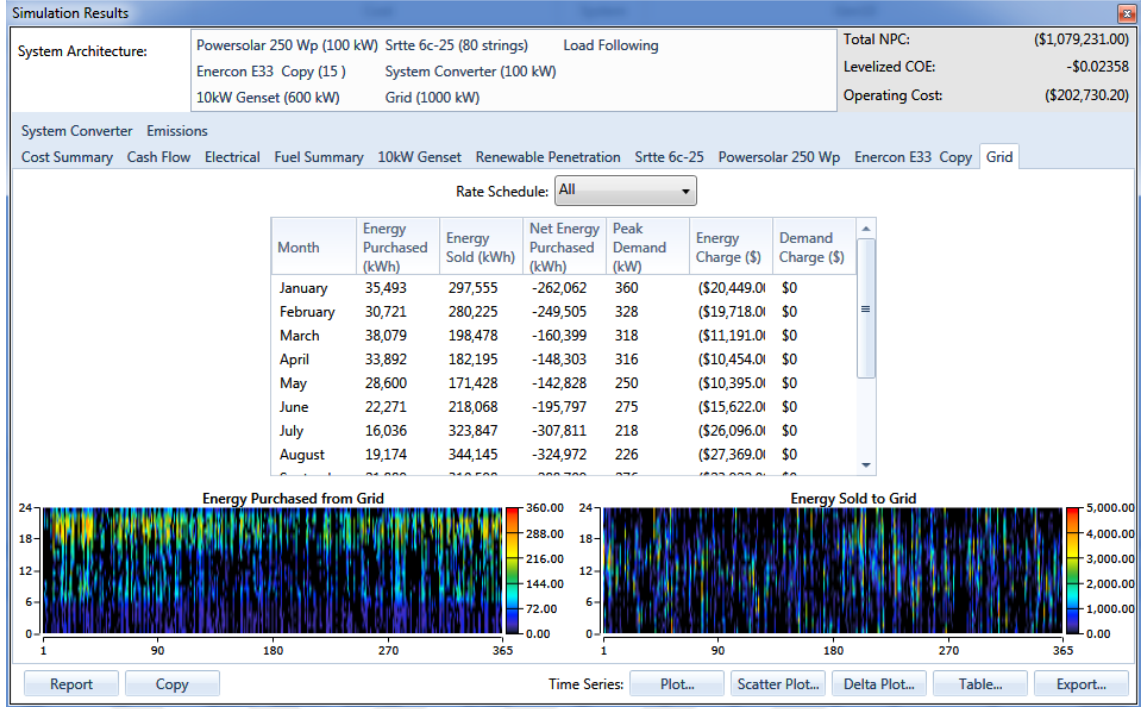
Total Net Maliyet	: -1.079.231 \$
Birim Enerji Maliyeti	: -0,0236 \$/kWh



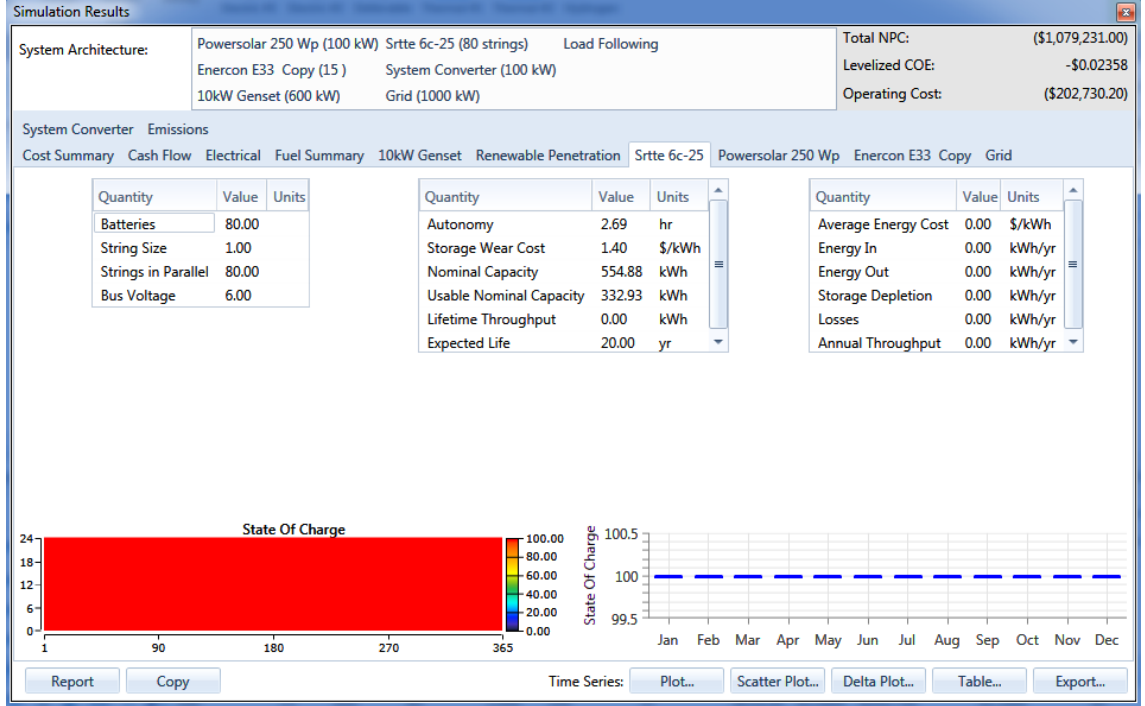
Şekil 5.40 Sistem elemanlarına ve sistemin tümüne ait maliyet analizi



Şekil 5.41 Aylık ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.42 Şebeke elektrik alım-satım değerleri



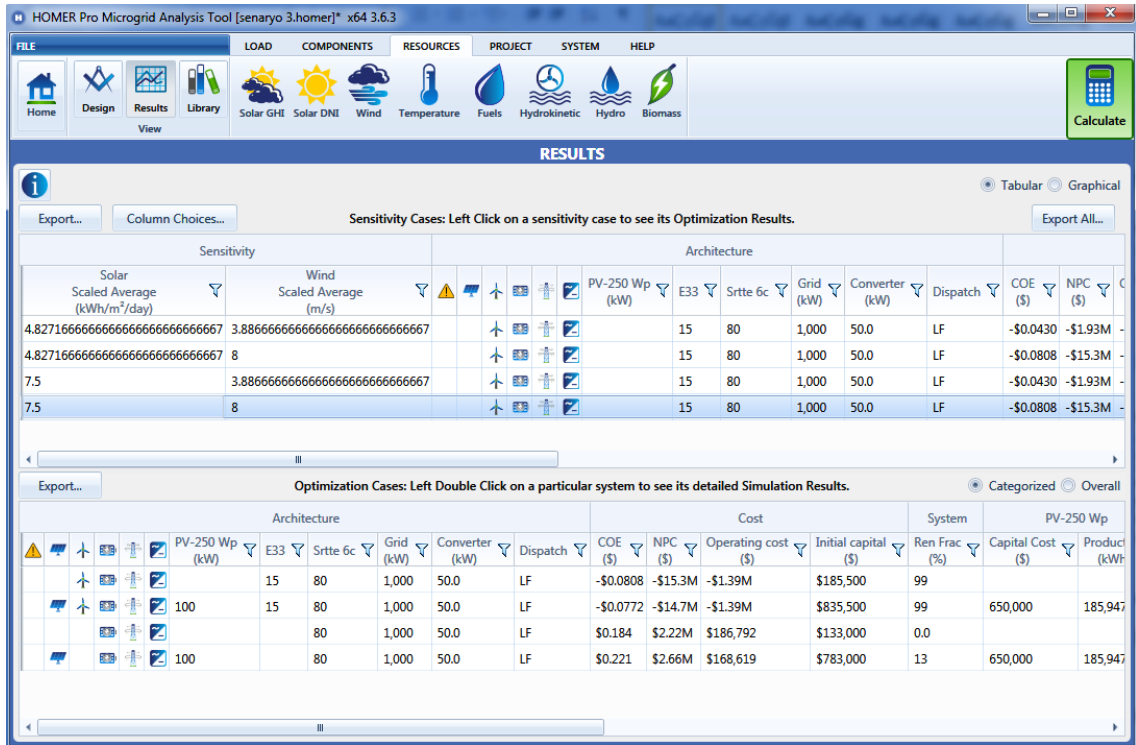
Şekil 5.43 Batarya benzetim sonuçları

Şebekeye bağlı rüzgâr-güneş-dizel enerji sisteminde optimum sistem, 100 kW PV panel, 15 adet rüzgâr türbini, 80 adet batarya, 600 kW dizel jeneratör, 1000 kW gücünde elektrik şebekesi ve 100 kW değerinde konvertörden oluşmaktadır. Sistem birim enerji fiyatı (COE) ve toplam net maliyet (NPC) diğer sistemlerde olduğu gibi yine negatif değerler almışlardır ve şebekeden bağımsız rüzgâr-güneş-dizel enerji sistemine göre oldukça düşük maliyetlerdir. Dizel jeneratörün sistemde elektrik üretimine hiçbir katkısı yoktur ve bu gereksiz yere kullanılan, birim enerji maliyeti (COE) ile toplam net maliyet (NPC) değerlerini yükselten bir eleman olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer elemanların elektrik üretim değerleri incelendiğinde rüzgâr türbinlerinin %87,91, güneş panellerinin %3,69 ve şebekenin %8,40 oranında üretime katkı sağladıkları görülmüştür. Çok yüksek güçlerde (5000, 10000, 20000, 30000) dahi dizel jeneratör elektrik üretimine katkı sağlayamamıştır. Yüksek kW değerine sahip güneş modüllerinin simülasyon sonuçları incelendiğinde, COE, NPC, işletme maliyeti ve yatırım maliyetinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Farklı senaryolarda gerçekleştirilen şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinde, benzetim sonucuna göre güneş modüllerinin elektrik üretimine katkısı yüzde olarak çok azdır. Bunun başlıca nedeni optimum maliyet çerçevesinde PV dizi gücü ve ortalama günlük güneş ışınlamının düşük değerde olmasıdır.

5.2.5 Hibrit Enerji Sistemi 3 (Rüzgâr + Güneş + Şebeke)

Bu sistemde şebekeden bağımsız rüzgâr-güneş hibrit enerji sisteminde olduğu gibi gerçek rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu verilerine ek hayali iki veri daha tanımlanarak, değişik verilere göre sistemin hassaslık analizi incelenmiştir. HOMER yazılımında rüzgâr hızı verileri için 3,89 m/s ve 8 m/s değerleri, güneş radyasyonu için de 4,83 kWh/m²/gün ve 7,5 kWh/m²/gün değerleri tanımlanmıştır. Diğer sistemler için kullanılan tüm veriler ve eleman boyutlandırılması aynıdır. Simülasyon sonucuna göre hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu şekil 5.44' de gösterilmiştir.



Şekil 5.44 Hassaslık analizi ve optimizasyon sonucu

Hassaslık analizi sonuçlarına göre en uygun hibrit enerji sistemleri dört farklı kombinasyon halinde şekil 5.44’ de belirtilmiştir. Rüzgâr hızının 8 m/s olarak kullanıldığı, güneş radyasyon miktarının aynı kaldığı tasarımda COE değerinin yaklaşık 2 kat azaldığı, NPC değerinin -1.930.000 \$’ dan -15.300.000 \$’ a düştüğü ve diğer maliyetlerin de ciddi anlamda azaldığı gözükmemektedir. Güneş radyasyon değerinin 7,5 kWh/m²/gün olduğu, rüzgâr hızının sabit kaldığı tasarımda sistem maliyetlerinin ilk duruma göre değişkenlik göstermediği anlaşılmıştır. İki verinin birlikte yükseldiği sistemde ise maliyet değerleri, sadece rüzgâr hızı verisinin yükseldiği sistemdeki maliyet değerleri ile aynı olmaktadır. Rüzgâr hızı ve güneş radyasyon oranının en yüksek olduğu hassaslık sonuçlarında diğer sistemlerle kıyaslandığında şebekeden bağımsız enerji sisteminde olduğu gibi rüzgâr türbinlerinin elektrik üretimindeki payı yükselmektedir.

5.3 Senaryolarla İlgili Sonuçlar

Bu çalışmada gerçekleştirilen bilgisayar benzetimlerinin sonuçları çizelge 5.2’ de toplu halde gösterilmiştir. Tablodaki negatif değerler, fazla enerjinin şebekeye satılmasıyla elde edilen gelirlerin toplam giderlerden fazla olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 5.2 Senaryo sonuçlarının toplu gösterimi

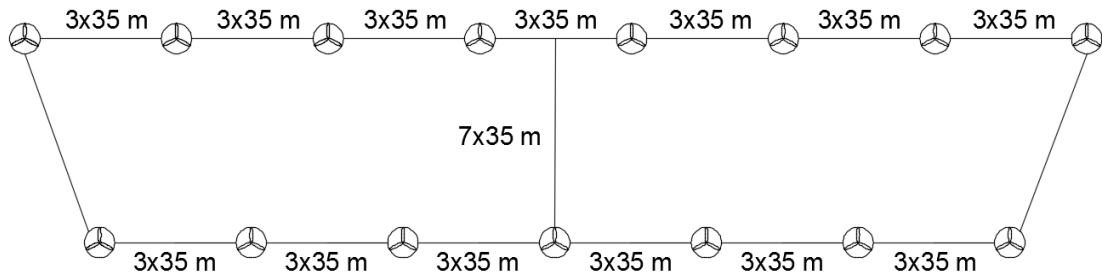
	Sen. No	Sistem Türü	RT (Adet)	PV (kW)	Dizel Jeneratör (kW)	Akü (Adet)	Konvertör (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Artık Elekt. (%)
1	5.1.1	RT	15	-	-	5120	400	11.014.620	0,913	63,3
2		RT	7	-	-	20480	2000	28.900.000	2,40	17,3
3		RT (KYO)	15	-	-	2560	400	9.010.000	0,756	63,9
4		RT – 8 m/s	8	-	-	5120	400	7.180.000	0,595	86,8
5	5.1.2	PV	-	1446	-	5120	400	24.719.900	2,05	38,9
6		PV	-	965	-	20480	400	34.800.000	2,86	12,8
7		PV (KYO)	-	1329	-	2560	300	21.300.000	1,84	36
8		PV – 7,5 kWh/m ² /gün	-	1052	-	5120	400	21.900.000	1,81	31
9	5.1.3	RT+PV	15	136	-	5120	400	10.880.020	0,902	66,5
10		RT+PV	6	100	-	10240	1200	17.600.000	1,46	15,5
11		RT+PV (KYO)	10	152	-	2560	200	8.530.000	0,713	61,8
12	5.1.4	RT+PV+Dizel	15	100	500	640	300	5.451.950	0,452	73,6
13		RT+PV+Dizel	6	100	500	2560	200	7.790.000	0,645	45,2
14	5.1.5	RT+PV	15	-	-	2560	300	4.390.000	0,363	93,1
15		RT+PV	15	100	-	2560	300	4.860.000	0,402	93,2
16		RT+PV	6	567	-	2560	1500	9.480.000	0,785	85,1
17	5.2.1	RT	15	-	-	-	-	-2.192.215	-0,0478	-
18		RT	6	-	-	80	700	1.030.000	0,0455	-
19		RT – 8 m/s	6	-	-	80	700	-4.400.000	-0,0575	-
20	5.2.2	PV	-	3500	-	320	3000	25.998.800	0,437	-
21		PV	-	1033	-	80	600	24.900.000	0,349	-
22	5.2.3	RT+PV	15	-	-	80	100	-1.871.186	-0,0417	-
23		RT+PV	5	-	-	80	2000	2.840.000	0,142	-
24	5.2.4	RT+PV+Dizel	15	100	600	80	100	-1.079.231	-0,0236	-
25	5.2.5	RT+PV	15	-	-	80	50	-15.300.000	-0,0808	-
26		RT+PV	15	100	-	80	50	-14.700.000	-0,0772	-

5.4 Alan Gereksinimi

Gerçekleştirilen simülasyonlara göre birden fazla tasarım sonuçları verildiği için alan hesabında PV paneller, rüzgâr türbinleri ve bataryalar için en büyük boyuta sahip değerler esas alınmıştır. Maksimum boyuta sahip bu üç elemanın aynı anda kurulumunun yapılmayacağı unutulmamalıdır.

5.4.1 Rüzgâr Türbinleri Alan Gereksinimi

Simülasyon değerleri incelendiğinde rüzgâr türbinleri en fazla 15 adet olarak sonuç vermektedir. Rüzgâr santrallerinde türbinler birbirlerinden en az 3 rotor uzaklığında kurulurlar. Bunun nedeni türbinlerin akıntı yönünde yaratacağı çok fazla türbülansın kaçınmaktır. Genel olarak bir rüzgâr türbini diziliminde sıralar arası mesafe 7 rotor çapı ($7 \cdot D$) ve türbinlerin birbirlerinden uzaklığı 3 rotor çapı ($3 \cdot D$) alınır [60]. Tasarımda rotor çapı yaklaşık 35 m' dir. Türbinlerin bir sırada 8, diğer sırada 7 adet olacak şekilde iki sıra dizilirse yaklaşık $[(7+6) \cdot (3 \cdot 35) \cdot (7 \cdot 35)] / 2 = 167213 \text{ m}^2$ lik bir alan ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Enerji sistemlerinin kurulumu düşünülürse İnönü Üniversitesi gerekli alanı karşılayabilecek 48 hektar (480000 m^2) ve daha fazla alana sahiptir. Şekil 5.45' de rüzgâr türbinlerine ait yerleşim gösterilmektedir.



Şekil 5.45 Rüzgâr türbinleri dizilimi

5.4.2 PV Panel Alan Gereksinimi

Simülasyon sonucuna göre güneş enerjili sistemde en yüksek Pv panel boyutu 3500 kW' dır. Çalışmada kullanılan powersolar 250 w_p fotovoltaiik panel 1596x1065x46 mm³ boyutuna sahiptir. 1 kW için gerekli alan yaklaşık $(1,596 \cdot 1,065) \cdot 1000 / 250 = 6,79896 \text{ m}^2$ olmaktadır. Paneller için gereken toplam alan ise $6,79896 \cdot 3500 = 23796 \text{ m}^2$ olarak hesaplanır.

5.4.3 Batarya Alan Gereksinimi

Benzetimler neticesinde ihtiyaç duyulan batarya sayısı en fazla 20480 adet olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan surrette 6CS25P model batarya 559x286x464 mm³ boyutundadır. Bataryalar için ihtiyaç duyulan toplam alan $0,559 \times 0,286 \times 20480 = 3275 \text{ m}^2$ olmaktadır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

HOMER yazılımı aracılığı ile şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı farklı birçok senaryo dâhilinde gerçekleştirilen simülasyonlarda, birim enerji maliyeti (COE), toplam net maliyet (NPC), işletme maliyeti bakımından optimum sonucu veren sistemler araştırılmıştır.

Sonuç olarak:

- Şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu değerlerine göre en uygun toplam net maliyet ve birim enerji maliyetine (5.451.950 \$ – 0,452 \$/kWh) sahip olan sistem rüzgâr-güneş-dizel jeneratör enerji sistemidir.
- Rüzgâr-güneş-dizel jeneratör enerji sisteminde düşük güneş radyasyonundan dolayı güneş panellerinin elektrik üretimine katkısı oldukça azdır. Elektrik üretimine en fazla katkıyı rüzgâr türbinleri sağlamıştır.
- En yüksek toplam net maliyet ve birim enerji maliyetine (24.719.910 \$ – 2,05 \$/kWh) sahip olan sistem ise şebekeden bağımsız güneş enerji sistemidir. Diğer enerji sistemlerine göre bu enerji sisteminin yüksek maliyette olmasının nedeni, düşük güneş radyasyon miktarı ve güneş panellerinin pahalılığıdır.
- Şebekeden bağımsız enerji sistemleri için gerçekleştirilen simülasyonlarda, optimum sistemlere göre artık elektrik miktarı %63,3 ile %93,1 arasında değer almıştır. Yalnız güneş enerji sistemi %38,9 olarak belirlenmiştir.
- Şebekeden bağımsız tüm enerji sistemleri için daha az sayıda rüzgâr türbini ve daha düşük kapasitede güneş panelleri ile bu iki parametreye ters olarak daha fazla batarya ve daha yüksek kapasitede konvertörden

oluşan sistemlerde toplam net maliyet ve birim enerji maliyeti oldukça artarken, üretilen elektrik miktarı optimum maliyetteki sistemlere göre daha az olduğundan artık elektrik miktarı %12' lere kadar düşmüştür.

- Yüksek rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu değerleri ile yapılan simülasyonlarda ise optimum sistem maliyeti, diğer sistemlere göre daha az sayıda türbin ve daha düşük güçte PV paneller kullanılarak daha düşük çıkmıştır. Rüzgâr türbinlerinin elektrik üretimindeki payı bu sistemde %98 civarındadır.
- Şebekeden bağımsız tüm enerji sistemleri için birim enerji fiyatları, belirlenen elektrik şebeke fiyatının (0,170 \$/kWh) üzerindedir.
- İlk yatırım maliyeti en düşük olan sistem rüzgâr-güneş-dizel jeneratör enerji sistemidir.
- Simülasyonu gerçekleştirilen enerji sistemlerinde genellikle elektrik üretiminin büyük bir kısmının rüzgâr türbinleri tarafından karşılandığı görülmüştür. Düşük kW kapasitesinden dolayı güneş modüllerinin hibrit enerji sistemleri içinde elektrik üretimindeki payı yüzde bazında oldukça azdır.
- Şebekeye bağlı enerji sistemlerinde rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu değerlerine göre en uygun toplam net maliyet ve birim enerji maliyetine ((-2.192.215 \$) – (-0,0478 \$/kWh)) sahip olan sistem rüzgâr-şebeke enerji sistemidir.
- En yüksek toplam net maliyet ve birim enerji maliyetine (25.998.800 \$ – 0,437 \$/kWh) sahip olan sistem ise şebekeye bağlı güneş enerji sistemidir.
- Şebekeye bağlı enerji sistemleri için gerçekleştirilen simülasyonlarda, kullanılan elemanların hedeflenen üretimi gerçekleştiremediğinde şebekeden elektrik temin edildiği veya üretim fazlası elektrik şebekeye satıldığı için hiçbir sistemde artık elektrik oluşmamıştır.
- Şebekeye bağlı güneş enerji sistemi hariç diğer tüm sistemlerde toplam net maliyet (NPC) ve birim enerji maliyeti (COE) negatif değerler almışlardır. Bu durum gelirlerin giderlerden fazla olduğunu göstermektedir ve kazançlı bir yatırım anlamına gelmektedir.

- Bataryanın şebekeye bağlı enerji sistemlerinde kullanılıp kullanılmaması tasarımcıya bağlıdır. Tasarımcı eğer isterse modelleyebilir. Batarya modellendiğinde sistemde eğer bir elektrik kesintisi oluşursa, elektrik bataryalardan temin edilerek sisteme süreklilik kazandırılabilir. Ancak hem batarya hem de yüksek kapasitede konvertörün mevcut olduğu sistemlerde enerji maliyetleri artmaktadır.
- Programda emisyon sonuçları incelendiğinde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız enerji sistemleri içinde sadece şebekeden bağımsız rüzgâr-güneş-jeneratör enerji sistemi için sonuç alınmıştır.

Şebekeden bağımsız enerji sistemlerinde belirlenen elektrik yükünü karşılamak için gerçekleştirilen simulasyonlarda, rüzgâr, güneş ve diğer elektrik üretim kaynakları optimum maliyette üretim yapamamıştır. İnönü üniversitesi için programda belirlenen koordinatın ortalama rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerlerinin oldukça düşük olması bu durumun en temel nedenidir. Ayrıca güneş panellerinin diğer elemanlara göre hala pahalı olmasından dolayı güneş panellerinden uygun maliyette elektrik üretimi gerçekleştirilememektedir. Mevcut elektrik şebekesi göz önüne alındığında, şebekeden bağımsız bir enerji sistemi kurulumu mali açıdan uygun gözükmemektedir. Çünkü hem sistemlerin yatırım maliyetleri yüksek olacaktır hem de kullanıcı birim enerji bazında daha fazla para ödemek zorunda kalacaktır. Enerji sistemlerinin kurulumunun düşünüldüğü bölgenin yüksek rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu alan bir yer olarak seçilmesi ile az sayıda rüzgâr türbini ve güneş panelleri kullanılarak optimum maliyette elektrik üretimi gerçekleştirilebilir.

Şebekeye bağlı enerji sistemlerinde güneş enerjisi hariç diğer enerji sistemlerinin kurulumu tasarımcı için karlı bir yatırım yapmak ve elektrik üretimi gerçekleştirmek olacaktır. Enerji kaynakları verilerinin daha da artması ile daha kullanışlı ve mali açıdan oldukça kar getirici enerji sistemlerinin kurulması mümkündür. Yapılan çalışma sonucuna göre tasarımcının şebekeye bağlı enerji sistemi tercih etmesi önerilmektedir.

Ülkemizin bireysel veya tüzel enerji üretimine olan desteği her geçen gün artmaktadır. Enerji verimlilik artırıcı projelere devlet önem vermektedir. Örneğin; yıllık toplam enerji tüketimleri 1000 TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmelerin toplam bedeli bir milyon Türk Lirasını aşmayan ve geri ödeme süresi 5 yıldan az olan Verimlilik Artırıcı Projeleri proje bedelinin yüzde 30' una varan oranlarda hibe olarak

desteklenmektedir. İlâveten enerji yoğunluğunu üç yılda ortalama olarak en az %10 azaltmayı taahhüt eden endüstriyel işletmelere de anlaşma yaptığı yıla ait enerji giderinin yüzde 20' sine varan oranlarda destek sağlanmaktadır [2]. Ayrıca; ülkemizde yenilenebilir enerjinin bireysel kullanımının artması için bazı Avrupa ülkelerinde kullanılan, üretilen fazla enerjinin şebeke tarafından satın alınması yöntemi etkin bir şekilde uygulanabilir. Bu uygulama için önerilen fiyatın son kullanıcı için teşvik edici ve makul bir fiyat olması gerekir. Örneğin, Portekiz' de 5 kW' dan büyük PV sistemleri için 28,4 €/kWh, 5 kW' dan küçük tesisler için ise 49,9 €/kWh fiyat verilmektedir [61].

Meteorolojiden alınan aylık rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerlerinin eksik olmasından dolayı bölge için modellenen bu kaynakların tam doğruluğu sağlanamamaktadır. Kaynakların ve elektrik yükünün aylık veya saatlik verileri elde edilerek daha gerçekçi bir model oluşturulursa sonuçların daha pozitif olacağı açıktır. Malatya ilinin rüzgâr hızları bölgeye bağlı olarak değişse de ortalama rüzgâr hız verileri düşük değerdedir. Bu durum da rüzgâr enerjili sistem kurulumu düşünüldüğünde en büyük problem olarak gözükmektedir. Detaylı bir fizibilite çalışması, rüzgâr ve güneş enerjisi kaynağını daha bol alan bir yerin seçilmesi, mevcut güneş modülleri, rüzgâr türbinleri, bataryalar, konvertörler vb. elemanların fiyatlarının azalması gibi etkenler ileride uygun ve kârlı sistemlere yatırım yapılmasının önünü açacaktır. Teknolojinin daha da gelişmesiyle birlikte; tüm enerji kaynaklarının elde edilmesinin ve depolanmasının ucuzlaması söz konusu olabilir. Ayrıca Yakıt hücreli sistemlerin kullanımlarının artmasıyla birlikte enerjinin depolanması için kurşun-asit, nikel-kadmiyum, vb. çevreye zararlı maddelerin kullanıldığı akülerin kullanımı azabilir. Böylece, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla azalacak olan sera gazı salınımlarıyla birlikte, ağır metallerin kullanımının da azalacağı düşünülebilir. Bu sebeplerden dolayı; yenilenebilir enerjili sistemleri, sadece bitmeyen enerjiye sahip sistemler gibi düşünülmeyp, bu kaynakların insan sağlığı ve çevre açısından önemine de dikkat edilmelidir [51].

7. KAYNAKLAR

- [1] Aktacir, M.A., Yeşilata, B., Işıker, Y. (2008). Fotovoltaik-Rüzgâr Hibrid Güç Sistemi Uygulaması. *Yeni Enerji*. **56-62**.
- [2] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri> (on-line access on 15 April, 2016).
- [3] Anonymous.(2016).http://www.atig.com.tr/arastirma/raporlar/tr/enerji_sektorune_bakis_201522012015111505.pdf (on-line access on 15 April, 2016).
- [4] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Butce-Konusmalari/Sn-Bakanin-Butce-Sunus-Konusmalari> (on-line access on 15 April, 2016).
- [5] Kalinci, Y. (2015). Alternative energy scenarios for Bozcaada island, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **45**, 468-480.
- [6] Engin, M. (2010). Bornova İçin Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı. *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*. cilt. 2, sayı.13.
- [7] Baek, S., Park, E., Kim, M., Kwon, S.J., Kim, K.J., Ohm, J.Y., Pobil, A.P. (2016). Optimal renewable power generation systems for Busan metropolitan city in South Korea. *Renewable Energy*. **88**, 517-525.
- [8] Prasetyaningsari, I., Setiawan, A., Setiawan, A.A. (2013). Design optimization of solar powered aeration system for fish pond in Sleman Regency, Yogyakarta by HOMER software. *Energy Procedia*. **32**, 90-98.
- [9] Park, E., Kwon, S.J. (2016). Solutions for optimizing renewable power generation systems at Kyung-Hee University's Global Campus, South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **58**, 439-449.
- [10] Akyüz, E., Bayraktar, M., Oktay, Z. (2009). Hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin endüstriyel tavukçuluk sektörü için ekonomik açıdan değerlendirilmesi: Bir uygulama. *BAÜ FBE Dergisi*. Cilt. 11. **2**, 44-54.
- [11] Engin, M., Çolak, M. (2015). Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sisteminin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. cilt. 11. **2**, 225-230.
- [12] Gokcol, C., Dursun, B. (2013). A comprehensive economical and environmental analysis of the renewable power generating systems for Kırklareli University, Turkey. *Energy and Buildings*. **64**, 249-257.
- [13] Ramos, J.S., Ramos, H.M. (2009). Sustainable application of renewable sources in water pumping systems: Optimized energy system configuration. *Energy Policy*. **37**, 633-643.
- [14] Sekuçoğlu, S.A. (2012). *Fotovoltaik (PV), Rüzgâr Ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı Ve Ekonomik Analizi*. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [15] Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Ohunakin, O.S. (2016). Hybrid renewable power supply for rural health clinics (RHC) in six geo-political zones of Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. **13**, 1-12.
- [16] Özcan, H. (2009). *Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [17] Demiroren, A., Yilmaz, U. (2010). Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökceada, Turkey: An island example. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **14**, 323-333.

- [18] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Temiz-Enerji> (on-line access on 15 April, 2016).
- [19] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **4**(2), 33-54.
- [20] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sektor-Raporlari> (on-line access on 17 April, 2016).
- [21] Erdoğan, A. (2012). *Malatyada Örnek Bir Binada Enerji Simülasyonu*. Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [22] Yazar Y. (2010). Türkiye'nin Enerjideki Durumu ve Geleceği. *Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırma Vakfı Dergisi*.
- [23] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Mavi-Kitaplar> (on-line access on 17 April, 2016).
- [24] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Faaliyet-Raporlari/Faaliyet-Raporlari> (on-line access on 17 April, 2016).
- [25] Anonymous. (2016). <http://www.teias.gov.tr> (on-line access on 10 May, 2016).
- [26] Anonymous. (2016). http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/wwftr_yenilenebilir_enerji_gelecegi_turkiye.pdf (on-line access on 10 May, 2016).
- [27] Öztürk H. K., Atalay O., Yılcı A. (2005). Yapılarda Kullanılan HVAC Sistemlerinde Kontrol ve Enerji Verimliliği. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. **90**, 69-76.
- [28] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> (on-line access on 17 April, 2016).
- [29] Anonymous. (2016). <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx> (on-line access on 17 April, 2016).
- [30] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (on-line access on 17 April, 2016).
- [31] Hankins, M. (2010). *Stand-alone solar electric systems*. Earthscan, Washington DC, 249 p.
- [32] Yiğit, A., Atmaca, İ. (2010). *Güneş Enerjisi*. Alfa Aktüel, Bursa, 189 s.
- [33] Anonymous. (2016). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (on-line access on 10 May, 2016).
- [34] Anonymous. (2016). <http://www.homerenergy.com/> (on-line access on 10 May, 2016).
- [35] Doğan, B.T., Çolakoğlu, A., Kıncay, O. (2012). RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgâr Enerji Santrali Fizibilite Analizi, *Tesisat Mühendisliği*. **131**, 22-27.
- [36] Agai, F., Caka, N., Komoni, V. (2011). Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in southeast Europe. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*. Vol 1. **5**, pp. 58-68.
- [37] Cano, A., Jurado, F., Sanchez, H. (2014). Fernandez, L.M., Castaneda, M., Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies. *Journal of the Energy Institute*. **87**, 330-340.
- [38] Kaldellis J. J. (2010). *Stand-alone and hybrid wind energy systems Technology, energy storage and applications*. CRC Press, Washington DC, 536 p.
- [39] Anonymous. (2016). <http://neoauraenergy.com/neo/bilgi%20kaynag/85fotovoltaik-teknolojileri> (on-line access on 23 April, 2016).
- [40] Anonymous. (2016). <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yen.html> (on-line access on 23 April, 2016).

- [41] Anonymous. (2016). <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-pilleri-nasil-calisir/10272#ad-image-0> (on-line access on 23 April, 2016).
- [42] Anonymous. (2016). <http://www.yildiz.edu.tr/~tanriov/RG6.pdf> (on-line access on 23 April, 2016).
- [43] Anonymous.(2016).http://www.actewagl.com.au/education/_lib/images/Energy/Energy07.jpg (on-line access on 23 April, 2016).
- [44] Köse, S., Zor, M., Atay, F., Bilgin, V., Akyüz, İ. (2006). Yarı iletken güneş pillerinin verimliliğine etki eden doğal ve teknolojik etmenler (s: 76-83). VI. *Ulusal Temiz enerji Sempozyumu-UTES*, Mayıs 25-27, Isparta
- [45] Öztürk, H.H., Kaya, D. (2013). *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 414 s.
- [46] Anonymous. (2016). <http://fotonik.gazi.edu.tr/posts/download?id=16955> (on-line access on 24 April, 2016).
- [47] Patel, M.R. (2006). *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation*. CRC Press, New York, U.S.A., 433 p.
- [48] Anonymous. (2016). <http://energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine-0> (on-line access on 24 April, 2016).
- [49] Anonymous. (2016). https://tr.wikipedia.org/wiki/Malatya#Co.C4.9Frafiki_konum (on-line access on 28 Dec, 2016).
- [50] Anonymous. (2016). <http://www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/MALATYA.pdf> (on-line access on 28 Dec, 2016).
- [51] Yılmaz, U. (2008). *Gökçeada’ da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [52] Anonymous.(2016).<http://www.homerenergy.com/HOMER-documentation.html> (on-line access on 10 May, 2016).
- [53] Anonymous.(2016).<http://www.eie.gov.tr/eieweb/duyurular/YEK/gepa/MALATYA-GEPA.pdf> (on-line access on 28 Dec, 2016).
- [54] Anonymous. (2016). <http://homerenergy.com/> (on-line access on 10 May, 2016).
- [55] Anonymous. (2014). www.solarpower.com (on-line access on 20 Feb, 2014).
- [56] Anonymous. (2014). www.enercon.de (on-line access on 25 Feb, 2014).
- [57] Anonymous. (2014). http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik_piyasasi/tarifeler?id=133 (on-line access on 05 March, 2014).
- [58] Lilienthal, P., Givler, T. (2006) *Using HOMER Software NREL’s Micropower Optimization Model to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems*. NREL Technical Report, Case Study: Sri Lanka, PowerGen Conf.
- [59] Anonymous.(2016).<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TCMB+TR/TCMB+TR/Main+Menu/Para+Politikasi> (on-line access on 15 May, 2016).
- [60] Anonymous.(2016).http://www.eie.gov.tr/eieweb/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html (on-line access on 28 Dec, 2016).
- [61] Temiz Dünya Ekoloji Derneği Güneş Enerjisi Teşvik Yasası Çağrısı. (2008). *Güneş Enerjisi Teknolojileri Fuarı*.

ÖZGEÇMİŞ

Engin Eren KORKMAZ; 1989 DÖRTYOL doğumlu olup, 2007 yılında Hatay Dört Yol YDA Lisesi'nden, 2012 yılında İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2013-2014 yılları arasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalıştıktan sonra 2014 yılı Eylül ayında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı Anabilim Dalı'nda 2014 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Ad Soyad: Engin Eren KORKMAZ

E-Posta: engin.korkmaz@inonu.edu.tr

Lisans: İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü