

**GÖKÇEADA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARIYLA ELEKTRİK ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Uğur YILMAZ
504041048**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN (Y.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Lale ZEYNELGİL**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması sırasında özverili yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN'e ve kendi tezini de tamamlamak için benimle birlikte gece gündüz uğraş veren sevgili amcaoğlum Malik Sina YILMAZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2008

Uğur YILMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2 Avrupa Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Verilen Teşvikler	5
1.2.1 Teşvik türleri	6
1.2.2 Çeşitli Avrupa Birliği ülkelerinde verilen teşvikler	7
1.3 Türkiye’de Yenilenebilir Enerjili Sistemlerin Durumu	9
2. GÖKÇEADA’NIN ÖZELLİKLERİ	11
2.1 Adanın Konumu	11
2.2 Adanın Nüfusu	12
2.3 Adanın Yük Profili Ve Elektrifikasyonu	12
2.4 Adanın Enerji Kaynakları Potansiyeli	15
2.4.1 Güneş Işınımı	15
2.4.2 Rüzgar Hızları	17
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	22
3.1 Rüzgar Enerjisi Sistemleri	22
3.1.1 Rüzgar Türbinlerini Oluşturan Parçalar	24
3.1.2 Rüzgar Türbinlerinin Maliyeti	27
3.1.3 Rüzgar Türbinlerinin Yerleşimi	27
3.1.4 Rüzgar Türbinlerinde Güç Kontrolü	28
3.1.5 Rüzgar Türbinlerinde En Sık Kullanılan Yapılandırmalar	30
3.1.6 Gökçeada İçin Benzetimi Yapılacak Rüzgar Türbinleri	35
3.2 Güneş Enerjisi Sistemi	41
3.2.1 Fotovoltaik Hücre	42
3.2.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	45
3.2.3 Enerji Çıkışı ve HOMER’da PV Panelleri	46
3.2.4 Güneş Takip Sistemleri	49
3.3 Aküler	50

3.3.1	Batarya Çeşitleri	51
3.3.2	Kurşun-Asit Bataryalar	52
3.4	Eviriciler	54
3.5	Şarj Regülatörleri	55
3.5.1	Batarya Şarj Dönüştürücüsü	56
3.5.2	Batarya Deşarj Dönüştürücüsü	57
3.6	Dizel Jeneratörler	59
3.7	Şebeke Bağlantıları	61
3.7.1	Bağlantı Gereksinimleri	63
3.7.2	Şebeke ile Senkronizasyon	63
3.8	Yük Paylaşımı	65
3.9	Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Boyutlandırılması	67
3.9.1	Güç ve Enerji Tahminleri	67
3.9.2	Bataryaların Boyutlandırılması	69
3.9.3	PV Dizilerinin Boyutlandırılması	70
3.9.4	Rüzgar Çiftliklerinin Boyutlandırılması	71
3.10	Dağıtılmış Üretim	73
4.	EKONOMİK ANALİZ	75
4.1	Önemli Finans Kriterleri	75
4.1.1	Paranın Zaman Değeri	75
4.1.2	Anüiteler	75
4.1.3	Anüitelerin Şimdiki Değeri	76
4.2	Yıllık Gerçek Faiz Oranı	77
4.3	Bir Değere Getirilmiş Enerji Maliyeti	78
4.4	Net Şimdiki Maliyet	78
4.5	Artık Elektrik	79
5.	HOMER BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI	81
5.1	HOMER'ın Tanıtımı	81
5.2	Bilgisayar Benzetimi	83
5.3	İyileştirme	87
5.4	Duyarlılık Analizi	90
5.4.1	Belirsizliklerle İlgilenilmesi	90
5.4.2	Saatlik Veri Kümelerinde Duyarlılık Analizi	93
6.	GÖKÇEADA İÇİN SENARYOLAR	95
6.1	Ada Çalışması	96
6.1.1	Rüzgar Enerjisi Sistemi	96

6.1.2 Güneş Enerjisi Sistemi	103
6.1.3 Rüzgar-Güneş Hibrit Enerji Sistemi	106
6.1.4 Dizel Jeneratör	114
6.2 Şebeke Bağlantılı Çalışma	116
6.2.1 Rüzgar Türbini + Şebeke	117
6.2.2 PV + Şebeke	118
6.2.3 PV + Rüzgar Türbini + Şebeke	119
6.3 Yedek Güç İçin Dizel Jeneratör Kullanılması Durumu	120
6.3.1 Rüzgar+Dizel	120
6.3.2 PV+Dizel	122
6.3.3 PV+Rüzgar+Dizel	122
6.4 Senaryolarla İlgili Sonuçlar	124
6.5 Alan İhtiyacı	126
6.5.1 Rüzgar Türbinleri İçin Alan İhtiyacı	126
6.5.2 PV Paneller İçin Alan İhtiyacı	127
6.5.3 Aküler İçin Alan İhtiyacı:	127
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	128
KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	134

KISALTMALAR

AC	: Alternating Current
AŞD	: Anüitelerin Şimdiki Değeri
CRF	: Capital Recovery Factor
COE	: Cost of Energy
DC	: Direct Current
DOD	: Depth of Discharge
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
EGK	: Enerji Güvenilirlik Katsayısı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
NFFO	: Non Fossil Fuel Obligation
NPC	: Net Present Cost
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
PU	: Per Unit
PV	: Fotovoltaik
RT	: Rüzgar Türbini
SOC	: State of Charge
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TM	: Trafo Merkezi
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynağı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 İşletmede olan ve devreye alınacak rüzgar santralleri.	10
Tablo 2.1 TEİAŞ Kumlımanı TM'nin Gökçeada Fiderinden Saat Başlarında Alınan Yük Değerleri.....	13
Tablo 2.2 Ortalama Güneş Işınımı Verileri.....	16
Tablo 2.3 Ortalama rüzgar hızları (1994-2002 yılları arası Aydıncık'ta Ölçülen Aylık Ortalama Rüzgar Hızları).....	20
Tablo 3.1 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Kontrol Yapıları.....	34
Tablo 3.2 Bilgisayar Benzetiminde Kullanılacak Maliyetler.....	48
Tablo 3.3 Kurşun-asit akülerin avantaj ve dezavantajları.....	52
Tablo 3.4 Dizel Jeneratör Benzetimlerinde Kullanılacak Değerler.....	60
Tablo 3.5 Yakıt Eğrisi Katsayıları.....	60
Tablo 3.6 Enerji Denge Analizi İçin Güç Ve Enerji Tablosu.....	68
Tablo 3.7 Talep Faktörleri.....	69
Tablo 6.1 Benzetimlerde Kullanılacak Değerler.....	95
Tablo 6.2 Benzetimlerde Kullanılacak Sistemlerin Maliyetleri.....	96
Tablo 6.3 RT (GE 1.sl) Sisteminin Maliyet Açılımı.....	98
Tablo 6.4 RT (Vestas V82) Sisteminin Maliyet Açılımı.....	101
Tablo 6.5 PV Sisteminin Maliyet Açılımı.....	104
Tablo 6.6 PV+RT (GE 1.sl) Sisteminin Maliyet Açılımı.....	108
Tablo 6.7 PV+RT (Vestas V82) Sisteminin Maliyet Açılımı.....	112
Tablo 6.8 Dizel Jeneratör Sisteminin Maliyet Açılımı.....	115
Tablo 6.9 Oluşan Gaz Emisyonları.....	116
Tablo 6.10 Senaryo sonuçlarının tabloda toplu halde gösterilmesi.....	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	3
Şekil 1.2 Kale Ev – Londra.....	3
Şekil 2.1 Gökçeada Haritası.....	12
Şekil 2.2 Kış Ayları İçin Kullanılan Yük Profili	14
Şekil 2.3 Yaz Ayları İçin Kullanılan Yük Profili	14
Şekil 2.4 HOMER İle Oluşturulan Senelik Yük Profili.....	15
Şekil 2.5 Ortalama Güneş Işınımları.....	16
Şekil 2.6 Ortalaması Aynı Olan Farklı k Değerli Weibull Dağılımları Örneği	19
Şekil 2.7 Aydıncıkta Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızları Grafiği.....	20
Şekil 2.8 Aydıncık İstasyonunda Rüzgar Hızı Frekanslarının Karşılaştırması	21
Şekil 2.9 Gökçeada Rüzgar Ölçüm İstasyonları	21
Şekil 3.1 PV-Rüzgar-Akü-Dizel Hibrit Güç Sistemi Şeması	22
Şekil 3.2 Betz Limitinin Gösterimi	23
Şekil 3.3 Rüzgar Türbinini Oluşturan Parçalar	24
Şekil 3.4 Dişli Kutusu	25
Şekil 3.5 Rotor Çaplarına Göre İdeal Rüzgar Tarlası Yerleşimi	28
Şekil 3.6 Kanat Açısı Kontrolü	29
Şekil 3.7 Farklı Kontrol Sistemlerine Sahip Türbinlerin Rüzgar Hızı–Güç Grafikleri	30
Şekil 3.8 Kısa Devre Rotorlu (Sıncap Kafesli) RT Tasarımları	31
Şekil 3.9 Rotoru Sargılı (Bilezikli) RT Tasarımları.....	31
Şekil 3.10 Sabit Mıknatıslı RT Tasarımları	32
Şekil 3.11 Rotoru Sargılı (Çıkık Kutuplu veya Silindirik Rotorlu) RT Tasarımları .	32
Şekil 3.12 GE 1.5sl Rüzgar Türbini	35
Şekil 3.13 GE 1.5sl'nin Rüzgar Hızı-Güç Grafiği	37
Şekil 3.14 Vestas V82 Rüzgar Türbini	38
Şekil 3.15 Vestas V82'nin Rüzgar Hızı-Güç Grafiği	40
Şekil 3.16 Fotovoltaik Hücrenin İç Yapısı	42
Şekil 3.17 Fotovoltaik Hücrelerin Birleşmesi.....	43
Şekil 3.18 Güneş pili hücresi	44
Şekil 3.19 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi.....	44
Şekil 3.20 Belirli bir güç için farklı tip hücre boyutlarını gösteren resim.	45
Şekil 3.21 Standart Test Koşullarının gösterilmesi	47
Şekil 3.22 Bir PV Hücresinin I-V Karakteristikleri.....	48
Şekil 3.23 Çift Eksenli Takip Sistemli PV Sistemi	50
Şekil 3.24 Elektrokimyasal Enerji Depolayan Hücre Yapısı	50
Şekil 3.25 OPzS Tipi Kurşun-Asit Akü	53
Şekil 3.26 3 Fazlı Evirici Prensip Devresi	54
Şekil 3.27 PV Sistem için Anahtarlamalı Batarya Şarj Dönüştürücüsü.....	56
Şekil 3.28 Anahtarlama Durumları Sırasında Devrenin Durumu	56
Şekil 3.29 PV Sistem için Batarya Şarj Dönüştürücüsü	57

Şekil 3.30 DC-DC azaltan-yükselten kıyıcı devresi.....	58
Şekil 3.31 Çıkış Geriliminin Giriş Gerilimine Oranının D'ye Bağlı Değişimi.....	58
Şekil 3.32 Dizel Jeneratör Blok Diyagramı	59
Şekil 3.33 Dizel Jeneratörün Yük-Verim Grafiği	61
Şekil 3.34 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin elektriksel şeması	62
Şekil 3.35 Şebeke bağlantılı değişken hızlı rüzgar gücü sisteminin elektriksel şeması	62
Şekil 3.36 Senkronizasyon Devresi	64
Şekil 3.37 Hibrit Güç Sisteminde İki kaynağın Thevenin Eşdeğer Modeli	65
Şekil 3.38 Hibrit Sistemde Yük Paylaşımının Grafikle Belirlenmesi.....	67
Şekil 3.39 Yüklerin Çalışma Oranları ve Puant Güçleri.....	68
Şekil 3.40 Bir Yük Döngüsü Boyunca Enerji Denge Analizi.....	70
Şekil 3.41 Batarya Büyüklüğünün Yük Uygunluğuna Etkisi	72
Şekil 3.42 Bağlı Sermaye Maliyetinin EGK'ya Bağlı Değişiminin Grafiği.....	73
Şekil 3.43 Rüzgar Çiftlikleriyle Dağıtılmış Üretim.....	74
Şekil 3.44 Dağıtılmış Üretimde Gerilim Düşümü ve Yükselmesi	74
Şekil 4.1 AŞD'nin Hesaplanması	76
Şekil 5.1 Benzetim, İyileştirme ve Duyarlılık Analizi Arasındaki İlişki.....	82
Şekil 5.2 HOMER'daki mikrogüç sistemlerinden bazılarının şematik çizimleri	85
Şekil 5.3 Rüzgar-Dizel Sistemi.....	88
Şekil 5.4 140 Farklı Sistem Yapılandırmasından Oluşan Araştırma Tablosu	88
Şekil 5.5 Optimizasyon Sonuçları Tablosu.....	89
Şekil 5.6 Sınıflanmış Optimizasyon Sonuçları Tablosu	89
Şekil 5.7 Üç Değişkene Bağlı Bir Duyarlılık Analizinin Grafiği	91
Şekil 5.8 Duyarlılık Sonuçları	92
Şekil 5.9 0,42 \$/L Yakıt Fiyatlı Duyarlılık Durumu İçin Optimizasyon Sonuçları... 93	
Şekil 5.10 En Uygun Sistem Tipi Grafiği.....	94
Şekil 6.1 RT (GE 1.sl) Sisteminin HOMER modeli.....	97
Şekil 6.2 RT Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi.....	98
Şekil 6.3 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları.....	98
Şekil 6.4 Rüzgar Türbini Çıkışı	98
Şekil 6.5 RT Sisteminin Batarya Şarj Durumları	99
Şekil 6.6 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları	99
Şekil 6.7 Batarya Şarj Durumları.....	99
Şekil 6.8 RT Sisteminin Artık Elektrik Aylık Ortalamaları	99
Şekil 6.9 RT Sisteminin Artık Elektrik Miktarı.....	100
Şekil 6.10 RT (Vestas V82) Sisteminin HOMER modeli	100
Şekil 6.11 RT Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi.....	101
Şekil 6.12 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları.....	101
Şekil 6.13 Rüzgar Türbini Çıkışı	102
Şekil 6.14 RT Sisteminin Batarya Şarj Durumları	102
Şekil 6.15 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları	102
Şekil 6.16 Batarya Şarj Durumları.....	102
Şekil 6.17 RT Sisteminin Artık Elektrik Aylık Ortalamaları	103
Şekil 6.18 RT Sisteminin Artık Elektrik Miktarı.....	103
Şekil 6.19 PV Sisteminin HOMER modeli	103
Şekil 6.20 PV Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi.....	104
Şekil 6.21 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları	105
Şekil 6.22 PV Çıkışı.....	105
Şekil 6.23 PV Sisteminin Batarya Şarj Durumları	105
Şekil 6.24 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları	105

Şekil 6.25 Batarya Şarj Durumları.....	106
Şekil 6.26 PV Sisteminin Artık Elektrik Aylık Ortalamaları	106
Şekil 6.27 PV Sisteminin Artık Elektrik Miktarı.....	106
Şekil 6.28 PV + RT (GE 1.sl) Sisteminin HOMER modeli	107
Şekil 6.29 PV + RT (GE 1.sl) Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi.....	108
Şekil 6.30 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları	108
Şekil 6.31 PV Çıkışı.....	109
Şekil 6.32 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları.....	109
Şekil 6.33 Rüzgar Türbini Çıkışı	109
Şekil 6.34 PV + RT (GE 1.sl) Sisteminin Batarya Şarj Durumları	109
Şekil 6.35 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları	110
Şekil 6.36 Batarya Şarj Durumları.....	110
Şekil 6.37 PV + RT (GE 1.sl) Sisteminin Artık Elektrik Aylık Ortalamaları	110
Şekil 6.38 PV + RT (GE 1.sl) Sisteminin Artık Elektrik Miktarı.....	110
Şekil 6.39 PV + RT (Vestas V82) Sisteminin Sistemin HOMER modeli.....	111
Şekil 6.40 PV + RT (Vestas V82) Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi	112
Şekil 6.41 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları	112
Şekil 6.42 PV Çıkışı.....	112
Şekil 6.43 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları.....	113
Şekil 6.44 Rüzgar Türbini Çıkışı	113
Şekil 6.45 PV + RT (Vestas V82) Sisteminin Batarya Şarj Durumları.....	113
Şekil 6.46 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları	113
Şekil 6.47 Batarya Şarj Durumları.....	114
Şekil 6.48 PV + RT (Vestas V82) Sisteminin Artık Elektrik Aylık Ortalamaları... 114	114
Şekil 6.49 PV + RT (Vestas V82) Sisteminin Artık Elektrik Miktarı	114
Şekil 6.50 Dizel Jeneratör Sisteminin Aylık Ortalama Elektrik Üretimi.....	115
Şekil 6.51 Dizel Jeneratör Çıkışı Aylık Ortalamaları	115
Şekil 6.52 Dizel Jeneratör Çıkışı	116
Şekil 6.53 RT (GE 1.sl) + Şebeke Sisteminin HOMER modeli	117
Şekil 6.54 RT (GE 1.sl) + Şebeke Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	117
Şekil 6.55 RT (Vestas V82) + Şebeke Sisteminin Sistemin HOMER modeli	118
Şekil 6.56 RT (Vestas V82) + Şebeke Sisteminin Benzetim Sonuçları	118
Şekil 6.57 PV + Şebeke Sisteminin HOMER modeli.....	118
Şekil 6.58 PV + Şebeke Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	119
Şekil 6.59 PV + RT (GE 1.sl) + Şebeke Sisteminin HOMER modeli.....	119
Şekil 6.60 PV + RT (GE 1.sl) + Şebeke Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	119
Şekil 6.61 PV + RT (Vestas) + Şebeke Sisteminin Sistemin HOMER modeli	120
Şekil 6.62 PV + RT (Vestas) + Şebeke Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	120
Şekil 6.63 RT (GE 1.sl) + Dizel Sisteminin HOMER modeli	121
Şekil 6.64 RT (GE 1.sl) + Dizel Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	121
Şekil 6.65 RT (Vestas V82) + Dizel Sisteminin HOMER modeli	121
Şekil 6.66 RT (Vestas V82) + Dizel Sisteminin Benzetim Sonuçları	121
Şekil 6.67 PV + Dizel Sisteminin HOMER modeli.....	122
Şekil 6.68 PV + Dizel Sisteminin Benzetim Sonuçları	122
Şekil 6.69 PV + RT (GE 1.sl) + Dizel Sisteminin HOMER modeli.....	122
Şekil 6.70 PV + RT (GE 1.sl) + Dizel Sisteminin Benzetim Sonuçları	123
Şekil 6.71 PV + RT (Vestas V82) + Dizel Sisteminin Sistemin HOMER modeli ..	123
Şekil 6.72 PV + RT (Vestas V82) + Dizel Sisteminin Benzetim Sonuçları	123
Şekil 6.73 Senaryo Sonuçlarının Enerji Maliyetleri Grafiği.....	125
Şekil 6.74 Rüzgar Türbinlerinin Yerleşimi.....	127

SEMBOL LİSTESİ

A	: Anüite
C_p	: Rüzgar Türbini Güç Katsayısı
$C_{p,Betz}$: Betz Limiti
$C_{yıl,top}$: Yılığa İndirgenmiş Sistem Maliyeti
D	: Çalışma Oranı
E_{bat}	: Bataryadan Her Deşarj İçin Gereken Enerji
$\eta_{deş}$: Deşarj Sürecinin Verimi
E_{AC}	: Beslenen AC Yük Miktarı
E_{DC}	: Beslenen DC Yük Miktarı
$E_{şeb,s}$: Şebekeye Satılan Elektrik Miktarı
E_{PV}	: Güneş Panelinin Ürettiği Enerji
f	: Yıllık Enflasyon Oranı
f_{PV}	: Azaltma Oranı
F	: Tüketilen Yakıt Miktarı
F_0	: Yakıt Eğrisi Kesme Sabiti
F_1	: Yakıt Eğrisi Eğimi
I_1, I_2, I_L	: Akımlar
I_T, I_s	: Güneş Işınımaları
i, i'	: Yıllık Gerçek Faiz Oranını ve Yıllık Nominal Faiz Oranı
k	: Weibull k Şekil Faktörü
N	: Vade Sayısı
$N_{hücre}$: Bir Bataryadaki Seri Bağlı Hücre Sayısı
N_{bat}	: Paralel Bağlı Batarya Sayısı
P_{gen}	: Jeneratörün Elektriksel Güç Çıkışı
P_{PV}	: PV Dizisinin Güç Çıkışı
$\rho(\text{rho})$: Havanın Yoğunluğu
r	: Rüzgar Türbini Rotor Yarıçapı
r_1	: Bağımlılık Faktörü
R_{prj}	: Proje Ömrü
R_{SH}, R_s	: Dirençler
ϕ	: Puant Rüzgar Hızının Saati
δ	: Günlük Değişim Faktörü
v	: Rüzgar Hızı
$V_{deş}, V_{dc}, V_{oc}, E$: Gerilimler
$V(z)$: Bulunması İstenen Rüzgar Hızı
$V(z_r)$: Referans Yükseklikteki Bilinen Hız
Y_{gen}	: Jeneratörün Anma Kapasitesi
Y_{PV}	: PV dizisinin kapasitesi
z, z_r	: Kullanılacak Yükseklik ve Referans Yükseklik
Z, Z_1, Z_2	: Empedanslar

GÖKÇEADA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIYLA ELEKTRİK ÜRETİMİ

ÖZET

Enerji, günlük yaşamımızı etkileyen ve biçimlendiren en önemli faktörlerdendir. Su ve gıda gibi temel yaşam ihtiyaçlarının elde edilmesi ve taşınması da enerjiyle olmaktadır. Bu nedenle, enerjinin kaliteli ve kesintisiz olması temel bir ihtiyaçtır.

Artan yakıt fiyatları, enerji ihtiyacı, çevre kirliliği ve sera gazları gibi sebeplerden dolayı çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik hızlanmaktadır. Yenilenebilir enerji potansiyeli oldukça fazla olan ülkemizde de yenilenebilir enerjili sistemler yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl karşılanabileceği analiz edilmiştir. Gökçeada'nın elektrik ihtiyacını karşılayacak yenilenebilir enerjili hibrit (melez) veya hibrit olmayan sistem tasarımının en uygununa karar verebilmek için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programı kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili yapılan benzer çalışmalarda, yıllık ortalama değerlere göre maliyet analizleri yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise, bilgisayar ortamında oluşturulan sistemin mümkün olduğunca gerçekçi olabilmesi için HOMER programı kullanılmıştır. Diğer çalışmalarda, yıl içinde meydana gelen çeşitli değişikliklerin sisteme yansıtılmadığı anlaşılmaktadır. HOMER programıyla; elektrik yükü, rüzgar hızı ve güneş ışınımı gibi zamanla değişen verilerin elektrik sistemine etkisi modellenebilir. Bu verilerin her biri için HOMER'da yıllık 8760 adet değer oluşturulur. HOMER programı 1 saatten daha kısa süreli anlık değişimleri modelleyememektedir. Bununla beraber, 1 saatlik verilerin bu tür bir sistem analizi için yeterli olduğu belirtilmektedir.

Sistemleri HOMER programıyla modelleyebilmek için; *Gökçeada'nın Özellikleri* bölümünde adayla ilgili rüzgar hızları, güneş ışınımları ve elektrik tüketimi verileri

belirlenmiştir. Bu veriler, *Gökçeada için Senaryolar* bölümünde sistemlerin benzetimi yapılırken kullanılmıştır.

Benzetimlerde kullanılan sistemleri oluşturan parçalar, *Yenilenebilir Enerji Sistemlerine Genel Bakış* bölümünde anlatılmıştır. Bu bölümde, yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırılması ve dağıtılmış üretim gibi konulara da değinilmiştir.

Ekonomik Analiz bölümünde, HOMER programının maliyet analizi yöntemleri anlatılmıştır. Gelecekte oluşacak olan gelir ve giderlerin şimdiki zamana indirgenmesi yöntemi olan *şimdiki net maliyet* yöntemi bu bölümde anlatılmıştır. HOMER, sistemleri şimdiki net maliyetlerine göre sıralamaktadır.

5. bölümde HOMER programının tanıtımı yapılmıştır. HOMER'in yaptığı benzetim, iyileştirme ve duyarlılık analizi yöntemleri bu bölümde anlatılmıştır.

Bu çalışmanın 6. Bölümünde, güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve bataryalardan oluşan sistemler, çeşitli senaryolar düşünülerek modellenmiştir. Yedek güç için şebekeye bağlantılı çalışma veya dizel jeneratörle çalışma durumları da modellenmiştir. Yapılan benzetimlerle Gökçeada'nın elektrik enerjisini karşılayabilecek yenilenebilir enerji sistemini oluşturan parçaların miktarları ve güçleri belirlenmiştir. Enerji kaynağı potansiyelinin yükten daha fazla olduğu zamanlarda oluşan tüketim fazlası enerjinin, şebekeye satılarak enerji maliyetinin düşürülmesi de HOMER programıyla modellenmektedir.

Benzetim sonuçlarına göre; Gökçeada için, rüzgar enerjisi kullanılan sistemlerin enerji maliyetlerinin daha az olduğu görülmüştür. Özellikle, şebekeye satış yapılabilen senaryo için elde edilen sonuçlara göre, Gökçeada'da rüzgar enerjisi santrali kurulmasının avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır.

ELECTRIC PRODUCTION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES IN GÖKÇEADA

SUMMARY

The energy is one of the most important factors which affects and forms our daily life. Basic life requirements like water and food are also obtained and transported by the energy. For this reason, having high quality and uninterruptable energy is a basic requirement.

Due to reasons like rising of fuel prices, energy needs, pollution and green house gasses, the use of environment friendly renewable energy sources are getting rapidly higher. In our country where has quite high renewable energy potential, renewable energy systems are also getting popular.

In this study, electricity need of Gökçeada is analyzed and renewable energy systems are used in this analysis. In order to consider the optimal system configuration of hybrid or non-hybrid renewable energy system, the program HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) is used.

In the relevant studies which are done about renewable energy sources, it is seen that cost analysis are done according to annual average values. But in this study, HOMER program is used in order to make the system model more realistic. On the other studies, it is found out that various changes which are occurred in the year cannot be added to the system. With HOMER; the effect of values which vary by the time like electric load, wind speed and solar radiation, to the electric system are modeled. For each of these data, 8760 values are formed in HOMER. HOMER can't model transient changes which is smaller than 1 hour. However; it is expressed that, hourly data is sufficient in order to analyze the systems like this type.

Electric load, solar radiation and wind speed values of Gökçeada are considered in the 2'nd chapter (*Features Of Gökçeada*) in order to make the models of systems with HOMER. These values are used in the chapter *Scenarios For Gökçeada* (Chapter 6) while making system simulations.

Components which are used in the simulations are explained in the chapter of *Overview of Renewable Energy Systems* (Chapter 3). In this chapter, sizing of renewable systems and distributed generation issues are also described.

In the *Economical Analysis Chapter* (Chapter 4), cost analysis methods of HOMER are explained. *Net Present Cost* Method is the reduction of costs and benefits of the system which will happen in the future to the present time and it is explained in this chapter. HOMER, ranks the systems according to their Net Present Costs.

The introduction of HOMER is done in the 5th Chapter. Simulation, optimization and sensitivity analysis methods which HOMER does, are explained in this chapter.

In the 6th chapter of this study; systems which are composed of solar panels, wind turbines and batteries, are modeled with various scenarios. Grid connection or diesel generator for backup power is also modeled. Values of components which form the renewable system of Gökçeada, are determined by the simulations. The excess energy, which occurs when the energy source is bigger than the load, can be sold to the grid and the cost of energy can be reduced.

According to the simulation results; it is seen that energy costs of wind energy systems are lower for Gökçeada. It is revealed that wind energy is advantageous in Gökçeada especially with grid sales according to the grid connected scenario.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Enerji, günlük yaşamımızı etkileyen ve biçimlendiren en önemli faktörlerdendir. Su ve gıda gibi temel yaşam ihtiyaçlarının elde edilmesi ve taşınması da enerjiyle olmaktadır. Bu nedenle, enerjinin kaliteli ve kesintisiz olması temel bir ihtiyaçtır.

Halen çoğu ülkede enerji için ağırlıklı olarak kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar denilen bu kaynaklar, yenilenebilir değildir. Petrol kaynaklı enerjinin, petrol fiyatlarının sürekli artması ve petrolün bir gün tükenecek olmasından dolayı risk faktörü yükselmektedir. Kömür ve doğal gaz gibi kaynaklar da maliyetlidir ve bir gün tükenecektir. Ayrıca; yakıt maliyetine ek olarak yakıtın, enerji üreten sisteme taşınmasının da bir maliyeti vardır. Enerji kaynağının, enerjinin üretildiği yerin ve enerjinin tüketildiği yerin birbirlerine yakın olması ekonomik açıdan daha uygundur. Bu yüzden, alternatif enerji kaynaklarına yöneliş hızlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli avantajlarından biri de çevre dostu olmalarıdır. Fosil yakıtların çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar tüketildiğinde açığa çıkan sera gazları, küresel ısınmaya ve iklim bozulmalarına yol açmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların tüketilmesiyle CO₂, CO, SO₂ ve (NO)_x gibi gazlar açığa çıkmaktadır. Dünya çapında sera gazlarının azaltılmasına yönelik uluslararası anlaşmalar yapılmaktadır. Bu anlaşmalardan en önemlisi 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolüdür. Bu protokole göre, taraf ülkeler insan kaynaklı CO₂ ve öteki sera gazı salınımlarını 2008-2012 döneminde 1990 düzeylerinin en az %5 altına indireceklerdir. Avrupa Birliği, tek tek üye ülkeler açısından %8'lik azaltma yükümlülüğü almıştır. Protokolde, Amerika Birleşik Devletlerinin belirlenmiş salınım azaltma yükümlülüğü %7'dir. Ancak dönemin Amerika Başkan Yardımcısı Al Gore bu yükümlülüğü kabul etmenin mümkün olmadığını ve kendi halkının çıkarları doğrultusunda değiştirmek için elinden geleni yapacağını açıklamıştır. Daha sonraki süreçte, ABD Buenos Aires'te gerçekleştirilen Taraflar Konferansı'nın (COP-4) sonunda Kyoto

Protokolü'nü imzaladığını, ancak; Çin, Hindistan gibi gelişmekte olan anahtar ülkeler sera gazı salınımlarını sınırlandırma konusunda herhangi bir yükümlülük almadıkça protokole taraf olmayacağını ilan etmiştir [1]. Sera gazları oluşumu için yaptırımların artmasıyla birlikte yenilenebilir enerjili sistemler daha cazip hale gelecektir.

Yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi) sürekli olarak kendilerini yeniledikleri için tükenmezler. Yenilenebilir enerjilerin çoğu doğrudan veya doğrudan olmayan yolla güneşten kaynaklanır. Güneşin ısıtmasındaki farklılıklar sonucu rüzgarlar oluşur, rüzgardaki enerji rüzgar türbinleri yardımıyla yakalanır. Güneşin ısıtmasıyla okyanus ve akarsulardan su kütleleri buharlaşır. Bu su buharı, yağmur ya da kara dönüşüp tekrar ırmak ya da dere içlerine ulaştığı zaman, hidro enerji hidroelektrik santraller tarafından yakalanabilir. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları, güneşten kaynaklanmaz. Okyanuslarda oluşan gelgit enerjisi, güneş ve ayın birbirlerini kütleli olarak çekmelerinden kaynaklanır. Gerçekte, okyanus enerjisi birçok kaynaktan meydana gelir. Gelgit enerjisine ilave olarak okyanus dalgalarının, rüzgarlar ve gelgitlerle birlikte oluşturduğu okyanus enerjisi vardır. Güneş okyanusun yüzeyini okyanusun derinliklerinden daha fazla ısıttığı için arada bir sıcaklık farkı oluşur. Bu fark, bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir [1].

Yenilenebilir enerjili sistemler; rüzgar çiftlikleri gibi MW mertebesinde 10'larca türbinden oluşabileceği gibi, kW mertebesinde ev kullanıcılarına yönelik küçük rüzgar türbinlerinden de oluşabilir. Benzer durum güneş panelleri için de geçerlidir.

Yenilenebilir enerjili sistemlerin, binalara entegre şekilde kullanımının da örnekleri artmaya başlamıştır. Güneş enerjili sistemlerin (hareketsiz oldukları için) binalara entegre olması daha kolay olduğu için, güneş pilleriyle donatılmış bina örnekleri çoktur. Bir gökdelene entegre edilmiş rüzgar enerjisi sisteminin dünyadaki ilk örneği Şekil 1.1.'de verilmiştir. Burada; 60, 98 ve 136 m yüksekliklere yerleştirilmiş, her biri 225 kW gücünde 3 adet rüzgar türbini kullanılmıştır. Kasım 2007'de devreye alınan türbinlerin, yılda 1200 MWh'lık elektrik üretimi yapacağı tahmin edilmektedir. Şekil 1.2.'de 2010 yılında tamamlanacak olan Londra- Kale Ev (Castle House) gösterilmiştir. Burada 3 adet 20 kW'lık rüzgar türbini kullanılmaktadır [2].



Şekil 1.1 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [3]



Şekil 1.2 Kale Ev – Londra [3]

Her yatırımda olduğu gibi, yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulmasından önce de ekonomik değerlendirmelerin yapılması gerekir. Öncelikle, planlaması yapılacak bölgenin (kullanılması planlanan enerji tipine göre) güneş ışınımı ve rüzgar hızları gibi verilerinin ölçülmesi gerekir. Mevcut enerji kaynakları potansiyeline göre, kurulacak olan yenilenebilir enerji sisteminin birim enerji maliyetinin, yatırım maliyetinin ve sistemin ömür boyu maliyetinin tespit edilmesi gerekir. Bazı sistemlerin kurulum maliyeti daha pahalı olsa bile, ömür boyu maliyet kıyaslaması yapıldığı zaman daha ucuz olduğu görülebilmektedir. Sistemlerin ömür boyu maliyetinin hesaplanabilmesi için *Net Şimdiki Maliyet* yöntemi kullanılır. Net şimdiki maliyet yönteminde amaç, gelecekte oluşacak gelir ve giderlerin şimdiki zamana indirgenmesidir.

Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için, Hybrid2, PV-DesignPro, PV*SOL, RETScreen ve HOMER gibi farklı bilgisayar programları mevcuttur. Bu programlarla kıyaslandığında, HOMER benzetim yapabilecek sistem çeşidi bakımından en esnek olanıdır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinin modellenmesi için HOMER programı kullanılacaktır. HOMER programı; rüzgar türbini, güneş panelleri, yakıt hücreleri, dizel jeneratörler, vb... gibi çok farklı sistemlerin birlikte veya ayrı çalışmasının analizini yapabilir.

Bu çalışmada; ülkemizin en büyük adası Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl karşılanabileceği incelenecektir. Farklı senaryolar düşünülüp, farklı sistemlerin enerji maliyetleri karşılaştırılacaktır. Senaryo sonuçlarına göre en uygun yenilenebilir sistemin hangisi olduğuna karar verilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili Gökçeada'nın seçilmesinin nedenleri şunlardır:

-Gökçeada, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından ülkemizin en önemli bölgelerindedir.

-Ada olduğu için, Gökçeada'nın elektrik ihtiyacı tek enerji nakil hattıyla karşılanmaktadır. Bu durum, enerjinin sürekliliği açısından risklidir. İletim hattında meydana gelebilecek bir arıza nedeniyle tüm ada elektriksiz kalabilir. Adanın elektrik ihtiyacının alternatif kaynaklarla adada üretilmesi, elektrik enerjisinin sürekliliğini artırır.

-Gökçeada ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen rüzgar hızı verileri HOMER programında kullanılmak için uygun durumdadır.

-Rüzgar enerjisi potansiyeli fazla diğer bir ada olan Bozcaada'da, rüzgar santrali mevcut olmasına rağmen, Gökçeada'da henüz kurulu rüzgar santrali bulunmamaktadır.

Gökçeada'da kurulması planlanan yenilenebilir enerjili sistemleri, HOMER programıyla modelleyebilmek için; adayla ilgili rüzgar hızları, güneş ışınımları ve elektrik tüketimi verileri belirlenecektir. Bu veriler, sistemlerin benzetimi yapılırken kullanılacaktır. Benzetimlerde kullanılacak sistemleri oluşturan parçalar, anlatılacaktır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırılması ve dağıtılmış üretim gibi konulara da değinilecektir.

1.2 Avrupa Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Verilen Teşvikler

1990'lı yılların başından itibaren, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bütün dünyada ciddi bir hareketlenme başlamıştır. Özellikle Avrupa Birliği Ülkeleri bu konuda başı çekmektedirler. Avrupa Birliği ülkeleri, 2001/77/EC no'lu direktifine göre, 2010 yılında tükettikleri enerjinin ortalama %22'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını taahhüt etmişlerdir. Türkiye'de bu oran 2004 yılı itibariyle %30,87'dir (su + rüzgar + jeotermal).

Dünyada, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin birçok haklı yanı vardır. Devletler, sürdürülebilir bir çevre yönetimi ile enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı önlemek ve kaynak çeşitliliği sağlamak amacıyla bu yolu seçmektedirler. Bu yüzden, birçok devlet yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek için çeşitli teşvikler geliştirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşvikler, sektörün diğer enerji kaynakları ile rekabet edinceye kadar kaçınılmazdır. Avrupa Birliği ülkeleri, 2010 yılında ürettikleri enerjilerinin ortalama %22 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını planlayarak en büyük teşviki bir anlamda vermişlerdir [4].

1.2.1 Teşvik türleri

Ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına farklı teşvikler vermektedirler. Bunlar; mali, vergi ve üretim teşvikleri olarak üç başlık altında toplanabilir.

1.2.1.1 Mali teşvikler

Mali teşvikler genellikle iki alt başlıkta toplanmaktadır.

1. Yatırım Teşvikleri: Bu teşvik türünde; devlet, toplam yatırım tutarına belli bir oranda katkıda bulunmaktadır. Bu oran %20 – %40 arasında değişmektedir. Bazı devletler belirlenen kaynaklar için bu teşviki vermektedirler.
2. Hükümet Destekli Kredi: Devlet veya uluslararası kuruluşlar, yatırımların finanse edilmesi için bu tip projelere normal ticari kredilerden daha cazip krediler vermektedir. Almanya’da Deutsche Ausgleichsbank ve Commerzbank kredileri bu duruma örnek olarak verilebilir [4].

1.2.1.2 Vergi teşvikleri

Vergi teşviklerini iki alt başlıkta toplamak mümkündür.

1. Vergi Muafiyetleri: Bazı devletler 1–5 yıl arasında santralden elde edilen gelirden kurumlar ve/veya gelir vergisi almamaktadır. Bu muafiyet Hollanda’da uygulanmaktadır.
2. Gümrük Muafiyetleri: Devletler, rüzgar türbini, güneş paneli gibi donanımların ithalat ve ihracatından düşük oranda veya bütünü ile gümrük vergi muafiyeti getirmektedir. Bu muafiyet Danimarka’da uygulanmaktadır [4].

1.2.1.3 Üretim teşvikleri

Üretim teşviklerini ise üç alt başlıkta toplamak mümkündür.

1. Yenilenebilir Portföy Standardı: Bu teşvik türünde elektrik dağıtım şirketleri, dağıtımını yaptıkları elektriğin belli bir yüzdesini belirli bir zaman aralığında yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak zorundadır.
2. Üretilen Elektriğe Teşvik: Yenilenebilir kaynaklara verilen bir diğer teşvik türü de, üretilen elektriğin birim fiyatına verilen teşvik türüdür.
3. Sabit Tarife Uygulaması: Üretilen elektrik için belli bir zaman aralığında belli bir fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Örneğin; ilk 10 yıl ve ikinci 10 yıl olmak üzere 2

farklı periyotta sabit fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Santral kredi borcu ve faizlerini geri ödediğinden ilk 10 yıl daha yüksek tarife uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir teşvik türüdür [4].

1.2.2 Çeşitli Avrupa Birliği ülkelerinde verilen teşvikler

Daha önce de belirtildiği gibi, ülkeler farklı şekillerde teşvik mekanizmaları geliştirmişlerdir. Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere, seçilen bazı ülkeler ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Almanya: 1991 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu (Erneuerbare Energien Gesetz), yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Almanya'da yürürlükte olan teşvikler: Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin fiyatı 9 €/kWh, Deutsche Ausgleichsbank ve Kreditanstalt für Wiederaufbau bankalarının rüzgar elektrik santrallerine normal ticari kredilerden daha cazip imkanlarla finans temin etmesi, 5 yıl öncesine kadar toplam yatırım tutarının %25'ini geçmeyecek şekilde devlet yardımı yapılmaktadır [4]. 5 kW'tan küçük kapasiteli tesisler için 50,62 €/kWh alışı fiyatı verilmektedir [5].

Avusturya: Biyokütle ve küçük güçlü hidroelektrik santralleri ile ilgili bazı teşvikler verilmektedir. Bu teşvikler genellikle yerel ve merkezi idarelerin sübvansesi şeklinde olmaktadır. Rüzgar enerjisinden üretilen enerjiye 7,3–10,9 €/kWh arasında değişen tarife uygulanmaktadır [4].

Belçika: 3 federal bölgeye ayrılan (Flanders, Wallonia ve Brussels) Belçika'da bütün yenilenebilir enerji yatırımlarında %15'e kadar devlet yardımı yapılmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 7,68 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

Danimarka: Özellikle rüzgar türbini üretim piyasasına hakim olan Danimarkalı türbin üreticileri, dünya türbin üretiminin %60'ını gerçekleştirmektedirler. Rüzgar Gücü "Windmill Law" yasasına göre, elektrik dağıtım şirketleri yenilenebilir enerji kullandıkları takdirde 1,5 €/kWh teşvik almaktadır. Dağıtım şirketleri kullandıkları yenilenebilir enerji birim kWh'i için 0,18 €/kWh genel karbon vergisi iadesi almaktadır. Ulusal şebeke bağlantısı, rüzgar santrali sahibi ile dağıtım şirketi tarafından ortak olarak inşa edilmektedir. Yatırımcılara rüzgar türbini ihraç kolaylıkları ve bazı vergi muafiyetleri sağlanmaktadır. Danimarka hükümeti, ayrıca, 2005 yılına kadar tüketilen enerjinin %10'luk kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacağını planladığından her yıl 100 MW'lık bir kapasite

artırımı yapmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 5,76 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

Finlandiya: Yenilenebilir enerji yatırımlarında %30'a kadar devlet yardımı yapılmaktadır [4].

Fransa: Eole 2005 programı çerçevesinde, rüzgar enerjisi kurulu gücü 2005 yılı hedefi 500 MW, 2010 yılı hedefi ise 10.000 MW olarak planlanmaktadır. Santralin işletildiği ilk 5 yıl elektrik satış fiyatı 8,38 €/kWh olarak belirlenmektedir. Bu rakamlar, kurulu gücü 12 MW'ı geçmeyen santraller için geçerlidir. Ortalama tarife ise, 6 €/kWh'dir. Yenilenebilir enerji santral ekipmanlarından toplam vergi tutarının %25'i alınmamaktadır [4].

Hollanda: 1996 yılında çıkarılan bir kanunla bazı vergi teşvikleri ve yatırım indirimi verilmektedir. Yenilenebilir enerji, enerji vergisinden muaf tutulmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için 7,71 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

İngiltere: Yenilenebilir enerji üretimi, Non Fossil Fuel Obligation (NFFO) isimli devlet programı çerçevesinde yürütülmektedir. Buna göre, elektrik dağıtımını yapan şirketler, tüketicilere tedarik ettikleri elektriğin belirli bir miktarını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamakla yükümlüdürler. Rüzgar enerjisi projeleri için, 4–7 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

İrlanda: Rüzgar enerjisi ve biyokütle projelerine toplam yatırım tutarının %50'ye kadar olanı devlet tarafından sübvansede edilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 4,70 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

İspanya: 2000-2010 Yenilenebilir enerji Eylem Planı çerçevesinde Yenilenebilir enerji Kaynaklarını teşviki ve önündeki engellerin kaldırılmasına yönelik bakanlıklar arası bir komisyon kurulmuştur [5]. Rüzgar santrallerinden 5 yıllık alım garantisi verilmekte ve 6,28 €/kWh fiyat tarifesi veya alternatif olarak, havuz tarifesi artı 0,029 €/kWh, olarak uygulanmaktadır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 9.000 MW'tır.

İtalya: Uzun dönem enerji satış anlaşması yapılarak enerji alım garantisi verilmektedir. İlk 8 yıl 0,01 €/kWh, geri kalan ömürde de 0,05 €/kWh devlet yardımı enerji satış anlaşmalarında yer almaktadır. İtalya'da ayrıca 488/92 sayılı yasa ile yatırımların %40'a kadar olan kısmı devlet veya yerel otoriteler tarafından sübvansede edilebilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 7,37 €/kWh tarife

uygulanmaktadır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 3.000 MW'tır [4]. Güneş enerjisi sistemleri için KDV oranında %50 indirim yapılmıştır (normal oran: %20) [5].

Portekiz: Portekiz'de yenilenebilir enerji ekipmanlarından %5 daha az KDV alınmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için tarife üç farklı aşamada uygulanmaktadır. Tam kapasite 2000 saate kadar 9,0 €/kWh, 2000–2600 saate kadar 2,0 €/kWh'e kadar düşen tarife, 2600 tam kapasite saatten sonrası için 2 €/kWh sabit tarife [4]. Güneş enerjisi için 5 kW'dan büyük tesisler için 28,4 €/kWh, küçükler için ise 49,9€/kWh'dır [5].

Yunanistan: Rüzgar santrallerinin toplam yatırım tutarının %30'a kadarı devlet tarafından karşılanmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için, 6,10 €/kWh tarife uygulanmaktadır [4].

Türkiye: 2005 yılında kabul edilen 5346 sayılı "*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun*" ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları için verilen teşvikleri açıklamaktadır. Bu kanun kapsamında; YEK belgeli tesislerin üretmiş olduğu enerjinin satışı için, öncelikler verilmektedir. Bu Kanun kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK'nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır. Fiyat aralığı için 5-5,5 €/kWh belirtilmiştir [6].

1.3 Türkiye'de Yenilenebilir Enerjili Sistemlerin Durumu

Ülkemizde, çoğunluğu Orman Bakanlığı Orman Gözetleme Kuleleri, Türk Telekom, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Muğla Üniversitesi, Ege Üniversitesi gibi kamu kuruluşlarında olmak üzere küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılan güneş pili kurulu gücü 1 MW' a ulaşmıştır [7].

Ülkemizde rüzgar santrallerinin son durumu Tablo 1.1'de verilmiştir. Buna göre, şu anda işletmede olan rüzgar santrali toplam kurulu gücü 249,15 MW'dır [8]. İnşaatı devam eden ve sözleşmesi yapılan santrallerle birlikte kurulu güç 560,2 MW olacaktır [8].

Tablo 1.1 İşletmede olan ve devreye alınacak rüzgar santralleri (Rüzgar Enerjisi Sektör Raporu- 09.04.2008) [8]

Türkiye'deki Rüzgar Santralleri					
Mevkii	Şirket	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin imalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
İzmir-Çeşme	Alize A.Ş.	1998	1,5	Enercon	3 adet 500 kW
İzmir-Çeşme	Güçbirliği A.Ş.	1998	7,2	Vestas	12 adet 600 kW
Çanakkale-Bozcaada	Bores A.Ş.	2000	10,2	Enercon	17 adet 600 kW
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt A.Ş.	2003	1,2	Enercon	2 adet 600 kW
Balıkesir-Bandırma	Bares A.Ş.	I/2006	30	GE	20 adet 1.500 kW
İstanbul-Silivri	Ertürk A.Ş.	II/2006	0,85	Vestas	1 adet 850 kW
İzmir-Çeşme	Mare A.Ş.	I/2007	39,2	Enercon	49 adet 800 kW
Manisa-Akhisar	Deniz A.Ş.	I/2007	10,8	Vestas	6 adet 1.800 kW
Çanakkale-İntepe	Anemon A.Ş.	I/2007	30,4	Enercon	38 adet 800 kW
Çanakkale-Gelibolu	Doğal A.Ş.	II/2007	14,9	Enercon	13 adet 800 kW + 5 adet 900 kW
Hatay-Samandağ	Deniz A.Ş.	I/2008	30	Vestas	15 adet 2.000 kW
Manisa-Sayalar	Doğal A.Ş.	I/2008	30,4	Enercon	38 adet 800 kW
İzmir-İliyağa	İnnores A.Ş.	I/2008	42,5	Nordex	17 adet 2.500 kW
İŞLETMEDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			249,15		
İstanbul-Gaziosmanpaşa	Lodos A.Ş.	I/2008	24	Enercon	12 adet 2.000 kW
İstanbul-Çatalca	Ertürk A.Ş.	I/2008	60	Vestas	20 adet 3.000 kW
Balıkesir-Şamlı	Baki A.Ş.	I/2008	90	Vestas	30 adet 3.000 kW
İNŞA HALİNDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			174		
Muğla-Datça	Dares A.Ş.	I/2008	28,8	Enercon	36 adet 800 kW
Bilecik	Sagap A.Ş.	II/2008	66,6	Conergy AG	74 adet 900 kW
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	35,1	Nordex	900 kW
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	22,5	Nordex	2.500 kW
Aydın-Didim	Ayen A.Ş.	II/2008	31,5	Suzlon	2.100 kW
İzmir-Çeşme	Kores A.Ş.	II/2008	15	Nordex	2.500 kW
Osmaniye-Bahçe	Rotor A.Ş.	I/2009	135	GE	54 adet 2.500 kW
Manisa-Soma	Soma A.Ş.	I/2009	140,8	Enercon	176 adet 800 kW
Balıkesir-Kepsut	Poyraz A.Ş.	I/2009	54,9	Enercon	61 adet 900 kW
İzmir-İliyağa	Doruk A.Ş.	I/2009	30	Enercon	15 adet 2.000 kW
TÜRBİN TEDARİK SÖLEŞMESİ İMZALI PROJE TOPLAMI			560,2		

2. GÖKÇEADA'NIN ÖZELLİKLERİ

2.1 Adanın Konumu

Gökçeada 40° 14' - 40° 05' Kuzey Paralelleri ve 25° 39' - 26° 00' Doğu Meridyenleri arasındadır [9]. Gökçeada 285,5 km.² lik bir alan üzerindedir. Çevresi 85,2 km (46 deniz mili) olup, boy ve en olarak 29,6 x 9,2 km (16 x 5 deniz mili) boyutlarındadır. Gelibolu Yarımadası'na 11 (20 km), Limni'ye 10 (19 km), Semadirek Adası'na 12 (22 km) mil uzaklıktadır. Ulaşım için en yakın yer olan, Kabatepe Limanı'na 14 (26 km) mil uzaklıktadır [10].

Coğrafi yapısı çevre adalardan oldukça farklıdır. Tek bir dağdan oluşan Semadirek ile tek bir ovadan oluşan Limni'ye karşın, tepelerin ve ovaların birbiri ardınca sıralandığı bir yapısı vardır. Gökçeada genelde engebeli bir yapıya sahip ve volkanik kütlelerden oluşmuştur. Gökçeada'nın %77'si dağlık, %12'si engebeli ve %11'i de ovalık alandan oluşmuştur.

Ada'nın en yüksek noktası Doruktepe'nin yüksekliği 673 metredir. Volkanik bir yapı hakim olmasından dolayı dev kazanları, sualtı mağaraları, lav kayaları ve ponza taşları Ada'da çokça bulunmaktadır.

Ada'da yaklaşık 1500 hektar ekilebilir arazi, 1900 hektar bağlık, 4000 hektar mera, 8000 hektar ormanlık arazi bulunmaktadır. Karışık olarak toplam 20.000 hektar alan bulunmaktadır. Kullanılmayan arazi %30 dur ve bu duruma göre Gökçeada'da kullanılabilir arazi Türkiye ortalamasının çok üzerindedir. Ada 'da 5 adet gölet bulunmakta ve su kaynakları açısından Ege'nin en zengin adasıdır [10].

İklim, Akdeniz ve Karasal İklim arasında sıkışmıştır. Kar ve don ender olarak görülür. Bahar ayları yağışın en çok olduğu aylardır. Gökçeada rüzgarlara açık bir konumdadır ve genellikle Poyraz (kuzeydoğudan esen) ile Lodos (güneybatıdan esen) rüzgarları etkindir [10,11].



Şekil 2.1 Gökçeada Haritası [10]

2.2 Adanın Nüfusu

Gökçeada, ilçe merkezi ve 9 köyden oluşmaktadır. Bu köyler: Kaleköy, Tepeköy, Uğurlu, Eski Bademli, Yeni Bademli, Eşelek, Zeytinliköy, Şirinköy ve Dereköy'dür. Son sayımlara göre merkez nüfusu 7100, köyler nüfusu 1500 olmak üzere toplam 8600 kişidir. Kaleköy, Tepeköy, Eski Bademli, Zeytinliköy ve Dereköy Rum köyleridir. Buralarda Türklerle Rumlar bir arada yaşamaktadır [10].

2.3 Adanın Yük Profili Ve Elektrifikasyonu

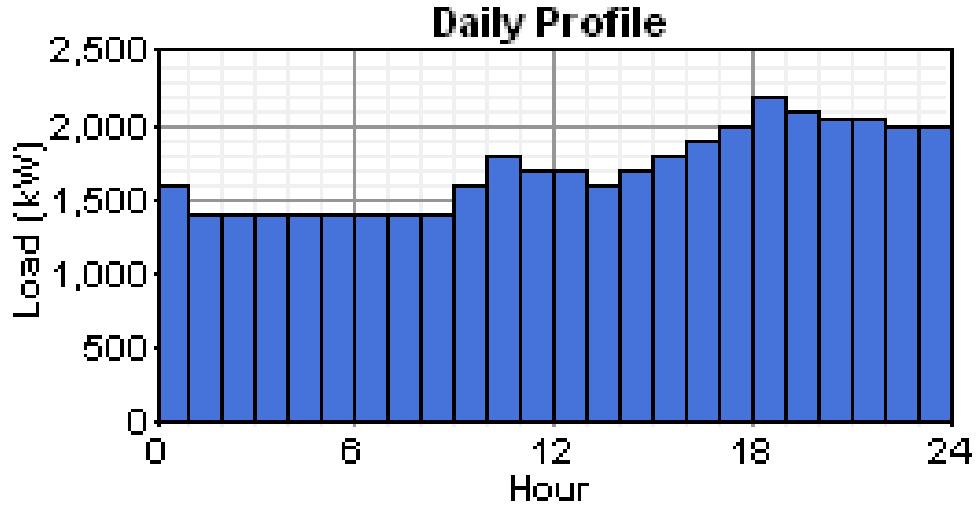
Gökçeada'nın elektrik ihtiyacı; TEİAŞ'ın Kumlimanı Trafo Merkezi'nin Gökçeada fiderinden beslenen, TEDAŞ'ın 31,5 kV luk OG hattıyla karşılanmaktadır. TEİAŞ Kumlimanı Trafo Merkezi'nden alınan Gökçeada fiderinin yük değerleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir. 5 Ocak 2007 ve 8 Ağustos 2007 günlerinde saat başlarında alınmış değerlere göre iki farklı yük profili oluşturulmuştur. Aralık, ocak, şubat, mart, ekim ve kasım (6 aylık) kış dönemi için 5 Ocak 2007'de alınan yük değerleri ve nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül (6 aylık) yaz dönemi için 8 Ağustos 2007'de alınan yük değerleri kullanılarak Gökçeada'nın senelik yük profili oluşturulmuştur.

Tablo 2.1 TEİAŞ Kumlimanı TM'nin Gökçeada Fiderinden Saat Başlarında Alınan Yük Değerleri

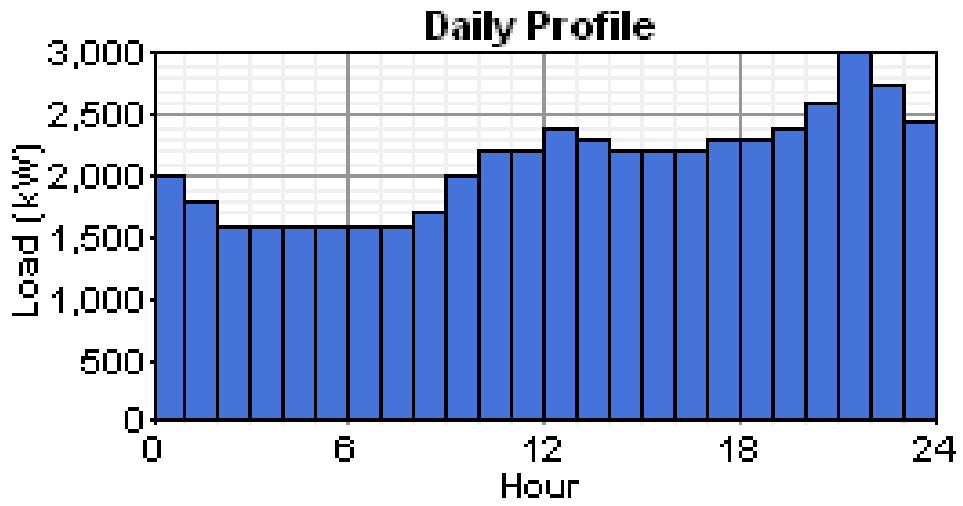
05.01.2007		08.08.2007	
Saat	Yük (MW)	Saat	Yük (MW)
00:00 - 01:00	1,6	00:00 - 01:00	2
01:00 - 02:00	1,4	01:00 - 02:00	1,8
02:00 - 03:00	1,4	02:00 - 03:00	1,6
03:00 - 04:00	1,4	03:00 - 04:00	1,6
04:00 - 05:00	1,4	04:00 - 05:00	1,6
05:00 - 06:00	1,4	05:00 - 06:00	1,6
06:00 - 07:00	1,4	06:00 - 07:00	1,6
07:00 - 08:00	1,4	07:00 - 08:00	1,6
08:00 - 09:00	1,4	08:00 - 09:00	1,7
09:00 - 10:00	1,6	09:00 - 10:00	2
10:00 - 11:00	1,8	10:00 - 11:00	2,2
11:00 - 12:00	1,7	11:00 - 12:00	2,2
12:00 - 13:00	1,7	12:00 - 13:00	2,4
13:00 - 14:00	1,6	13:00 - 14:00	2,3
14:00 - 15:00	1,7	14:00 - 15:00	2,2
15:00 - 16:00	1,8	15:00 - 16:00	2,2
16:00 - 17:00	1,9	16:00 - 17:00	2,2
17:00 - 18:00	2	17:00 - 18:00	2,3
18:00 - 19:00	2,2	18:00 - 19:00	2,3
19:00 - 20:00	2,1	19:00 - 20:00	2,4
20:00 - 21:00	2,05	20:00 - 21:00	2,6
21:00 - 22:00	2,05	21:00 - 22:00	3
22:00 - 23:00	2	22:00 - 23:00	2,75
23:00 - 00:00	2	23:00 - 00:00	2,45

Tablo 2.1'deki değerler kullanılarak oluşturulan kış ayları için kullanılacak günlük yük profili Şekil 2.2'de ve yaz ayları için kullanılacak günlük yük profili Şekil 2.3'de verilmiştir. HOMER sistem benzetimini yılın 8760 saatinin tümü için yapar. HOMER bir gün için girilen verileri kullanarak rastlantısal olarak yük profilini

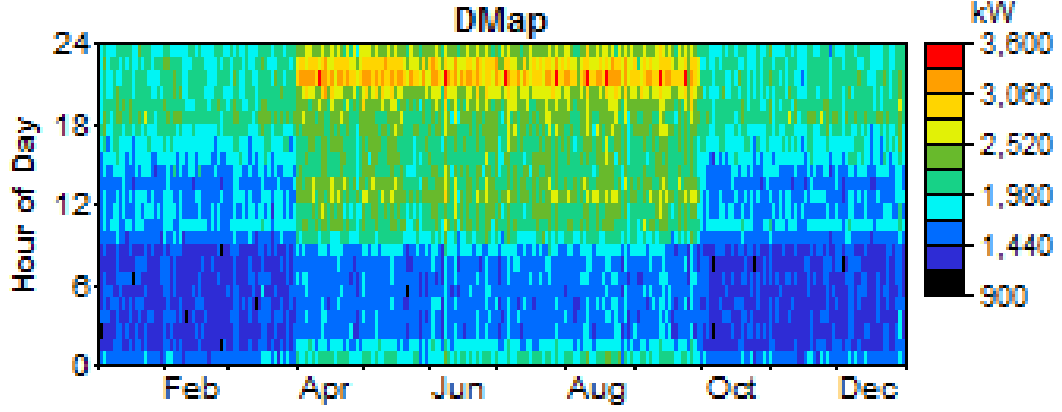
sentezler. HOMER programıyla yük profilleri oluşturulurken, rastlantısallık faktörleri kullanılır. Bu tezde, günden güne rastlantısallık için %5 ve zaman basamakları arası rastlantısallık için %5 alınarak oluşturulan, senelik yük profili Şekil 2.4’de verilmiştir. Bu şekilde 24 satır (saat) ve 365 sütun (gün) vardır. Böylece 8760 adet yük değeri oluşturulmuştur.



Şekil 2.2 Kış Ayları İçin Kullanılan Yük Profili



Şekil 2.3 Yaz Ayları İçin Kullanılan Yük Profili



Şekil 2.4 HOMER İle Oluşturulan Senelik Yük Profili

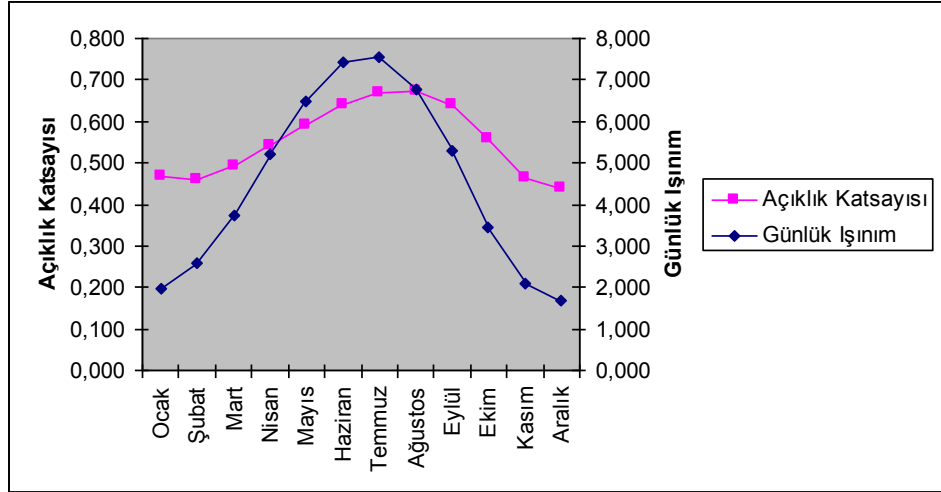
2.4 Adanın Enerji Kaynakları Potansiyeli

2.4.1 Güneş Işınımı

Gökçeada'nın aylık ortalama güneş ışınımı değerleri, Gökçeada'nın koordinatları kullanılarak HOMER tarafından internet ağı üzerinden NASA'dan otomatik olarak alınmaktadır. Aylık ortalama değerler kullanılarak 8760 saat için değerler HOMER'la oluşturulur. Koordinat olarak 40° 11' Kuzey Paraleli ve 25° 54' Doğu Meridyeni kullanılmıştır. Bu koordinatlara göre alınmış olan değerler Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Bu değerlere göre oluşturulan ortalama güneş ışınımları grafiği Şekil 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.2 Ortalama Güneş Işınımı Verileri

	Açıklık Katsayısı	Günlük Işınım (kWh/m ² /d)
Ocak	0,466	1,960
Şubat	0,460	2,580
Mart	0,491	3,730
Nisan	0,541	5,200
Mayıs	0,589	6,490
Haziran	0,641	7,430
Temmuz	0,670	7,560
Ağustos	0,671	6,780
Eylül	0,642	5,310
Ekim	0,558	3,450
Kasım	0,463	2,090
Aralık	0,441	1,670



Şekil 2.5 Ortalama Güneş Işınımları

2.4.2 Rüzgar Hızları

Gökçeada, Türkiye'nin rüzgar enerjisi bakımından en fazla potansiyele sahip olduğu tespit edilen bölgelerindedir. Adanın mevcut bitki örtüsü, rüzgar türbinlerine herhangi bir olumsuz etki yapmayacak durumdadır.

Bu çalışmada adanın Aydıncık bölgesindeki rüzgar ölçüm istasyonundan alınmış olan rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Aydıncık mevki, iskan alanından uzakta, herhangi bir faaliyet için kullanılmayan yarımada şeklindeki bir alandır. Rüzgarlara açık ve düzgün bir topografik yapıya sahip olan bir bölgedir. Yarımada biçimindeki Aydıncık'ın yüz ölçümü yaklaşık 8.000.000 m² büyüklüğünde olup mülkiyeti hazineye aittir.

Aydıncık Rüzgar Ölçüm İstasyonu'nun deniz seviyesinden yüksekliği 25 metredir. Rüzgar hızını ölçen anemometreler 30 m boyundaki borulu kule üzerinde 10 m ve 30 m yüksekliktedir [12].

Aynı bölgede, farklı yüksekliklerde depolanan veriler farklı olduğu için rüzgâr verilerinin kullanılacağı türbin yüksekliğine göre veriler düzenlenmelidir.

Bunun için *Güç Kanunu Profili* ve *Logaritmik Profil* olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır [13]. Logaritmik profil, temelinde yüzey pürüzlülüğünü esas alan bir yaklaşımdır. Buna karşılık, Güç Kanunu Profili yönteminde daha basit bir yaklaşımla, yükseklik ve rüzgâr hızı arasında bir orantı kurulur. Rüzgâr profilleri için yapılan araştırmalarda, güç kanunu profilinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada da güç kanunu profilinden yararlanılarak 30 m ve 10 m'de ölçülen rüzgâr hız değerleri 50 m'ye göre düzenlenmiştir [12].

Güç kanunu profili;

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2.1)$$

olarak verilmektedir.

Bu denklemde;

$V(z)$: bulunması istenen rüzgar hızını

$V(z_r)$: referans yükseklikteki bilinen hızı

z : kullanılacak yüksekliği

z_r : referans yüksekliği

temsil eder.

Bu denklemdeki α katsayısı farklı değerler alabilmekte ve rüzgâr profilinin düz bir yüzey üzerindeki değişimi kabulüne dayanmaktadır. α katsayısı pürüzlülük katsayısı olarak da adlandırılmaktadır. Gökçeada'da Aydıncık burnu noktası için ortalama α değeri 0,19 olarak alınmıştır [12].

Rüzgar türbininin gücünü hesaplamak için anemometrelerin ölçtüğü rüzgar hızları kullanılır. HOMER'in Rüzgar Kaynakları menüsünde anemometre yükseklikleri değerleri yazılmalıdır. Alınmış olan rüzgar verileri, 50m için dönüştürülmüş durumda oldukları için HOMER'da anemometre yüksekliği olarak 50m kullanılacaktır. Türbin yüksekliğine bağlı olarak HOMER, rüzgar verilerini istenen yükseklik için hesaplayacaktır (Güç Kanunu Profili metoduyla ve α değeri 0,19 alınarak [12].

Saatlik rüzgar ölçümleri bulunmadığı zaman, saatlik veriler aylık ortalamalardan oluşturulabilir. HOMER'in rüzgar verisi oluşturucusunun kullanımı, güneş verisi oluşturucusunun kullanımından daha zordur çünkü 4 parametreye ihtiyacı vardır:

- **Weibull k değeri (k):** Weibull dağılımındaki şekil faktörüdür. Rüzgar hızlarının yıl üzerine dağılımının ölçüsüdür. Genelde varsayılan değeri 2'dir, çünkü; rüzgar rejimlerinin çoğunluğu için büyük ölçüde doğrudur. Daha düşük ' k ' değerleri daha geniş aralıkla değişen rüzgar dağılımları içindir. Rüzgar rejiminin dar aralıkta değiştiği (tropik alanlar gibi) yerlerde ' k ' değeri daha büyüktür. Bu çalışmada k değeri için 1,94 alınmıştır [12].

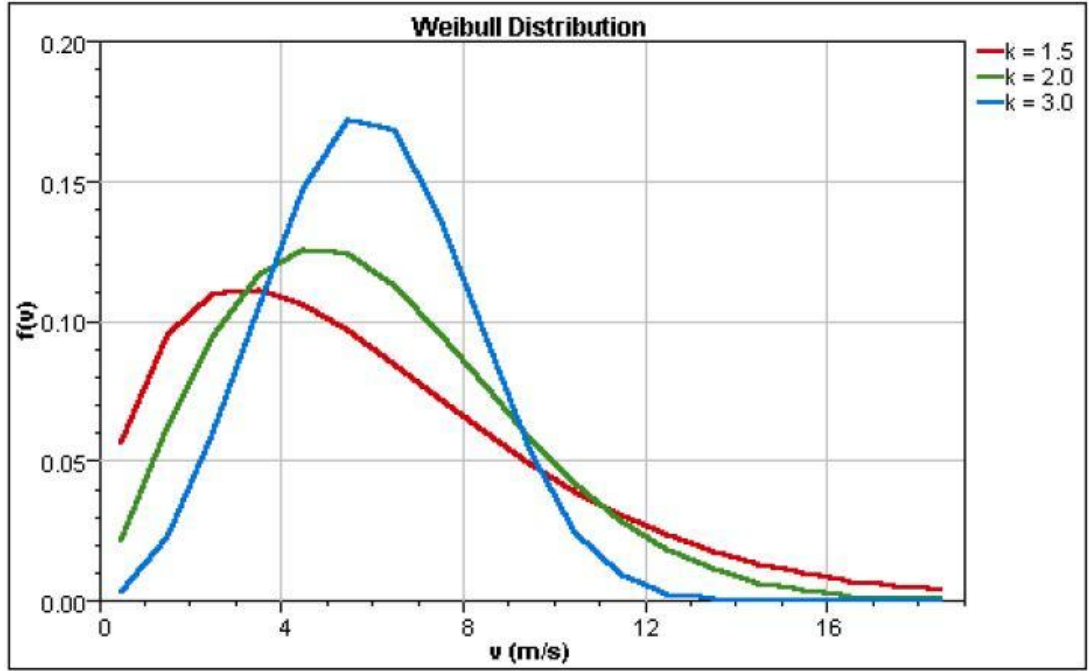
- **Bağımlılık Faktörü (Autocorrelation factor) (r_1):** Rüzgarın rastlantısallığının ölçüsüdür. Yüksek değerlerinde, bir sonraki saatteki rüzgar hızı bir önceki saatteki rüzgar hızına daha fazla bağımlıdır. Karışık topografili arazilerde bu katsayı daha

düşüktür (0,70-0,80). Topografisi daha düzgün dağılımlı olan arazilerde bu katsayı daha yüksektir (0,90-0,97). (Bu çalışmada 0,8 kullanılmıştır)

- **Günlük Değişim Faktörü (Diurnal Pattern Strength) (δ):** Rüzgar hızının zamana(gün içindeki) bağımlılığının ölçüsüdür. Örneğin, bir çok yerde öğleden sonra sabahtan daha rüzgarlıdır. Yüksek değerlerde rüzgar hızı gün zamanına daha fazla bağımlıdır. (Bu çalışmada 0,3 kullanılmıştır)

-**Maksimum (tepe) rüzgar hızının saati (ϕ):** Ortalama olarak yıl boyunca en rüzgarlı zaman dilimidir. (Bu çalışmada saat 11:00 kullanılmıştır [14].)

Şekil 2.6'da üç farklı Weibull dağılımı gösterilmiştir. Üçünün de ortalaması 6 m/s olup farklı Weibull k değerlerine sahiptir.

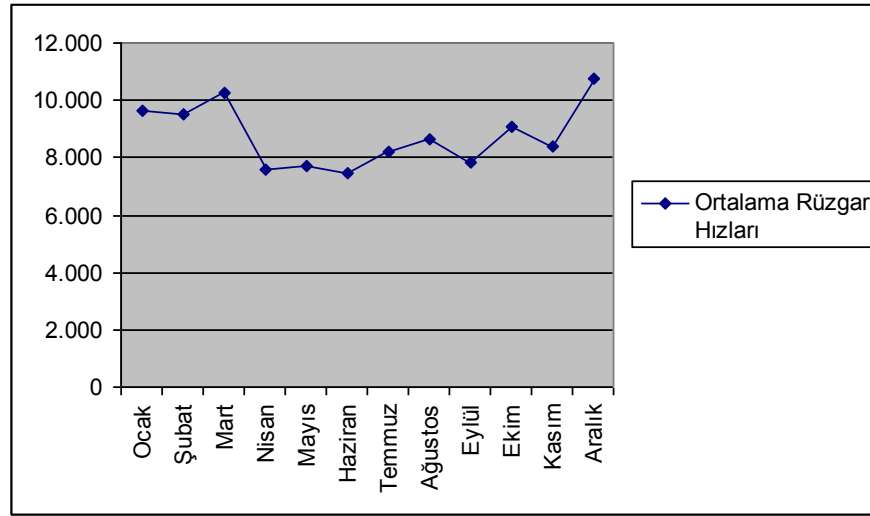


Şekil 2.6 Ortalaması Aynı Olan Farklı k Değerli Weibull Dağılımları Örneği [15]

Aylık rüzgar hızı ortalamaları kaynak [14]'ten alınmıştır. 10m ve 30m yükseklikten ölçülmüş olan değerlerin birimi m/s 'dir. Ölçülmüş değerler kullanılarak 50 metre yükseklik için yeniden oluşturulan değerler Tablo 2.3.'de verilmiştir. Bu değerlere göre oluşturulan ortalama hızların grafiği Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Ortalama rüzgar hızları (1994-2002 yılları arası Aydıncık'ta Ölçülen Aylık Ortalama Rüzgar Hızları) [14]

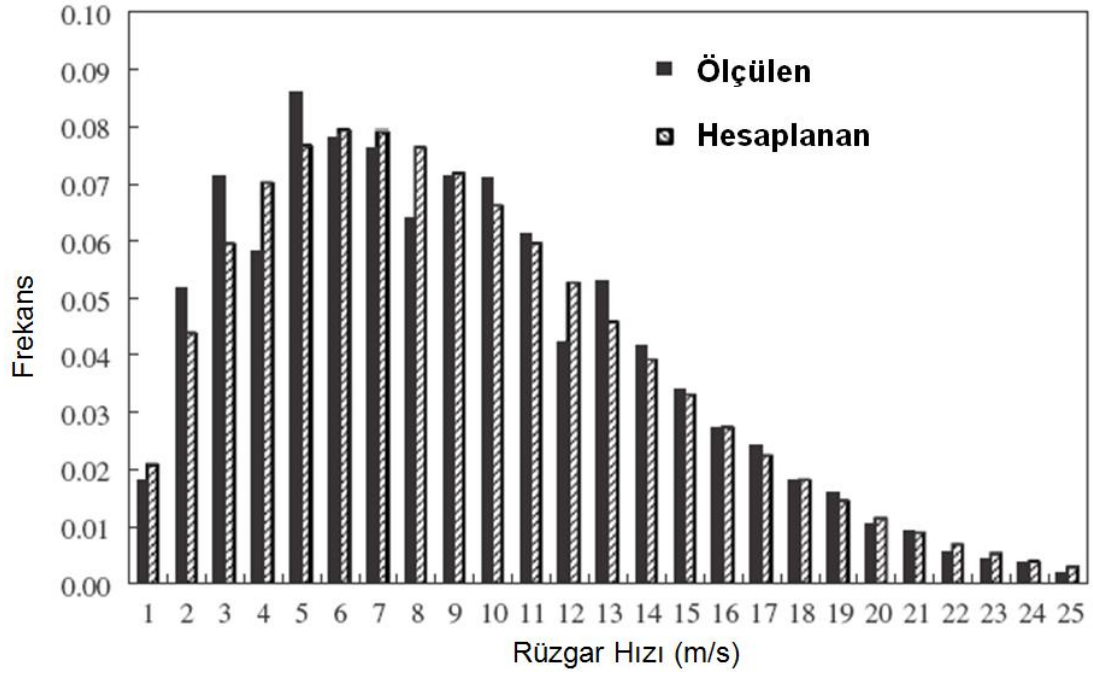
	Rüzgar Hızları m/s
Ocak	9,618
Şubat	9,508
Mart	10,258
Nisan	7,559
Mayıs	7,689
Haziran	7,439
Temmuz	8,179
Ağustos	8,649
Eylül	7,849
Ekim	9,058
Kasım	8,399
Aralık	10,748



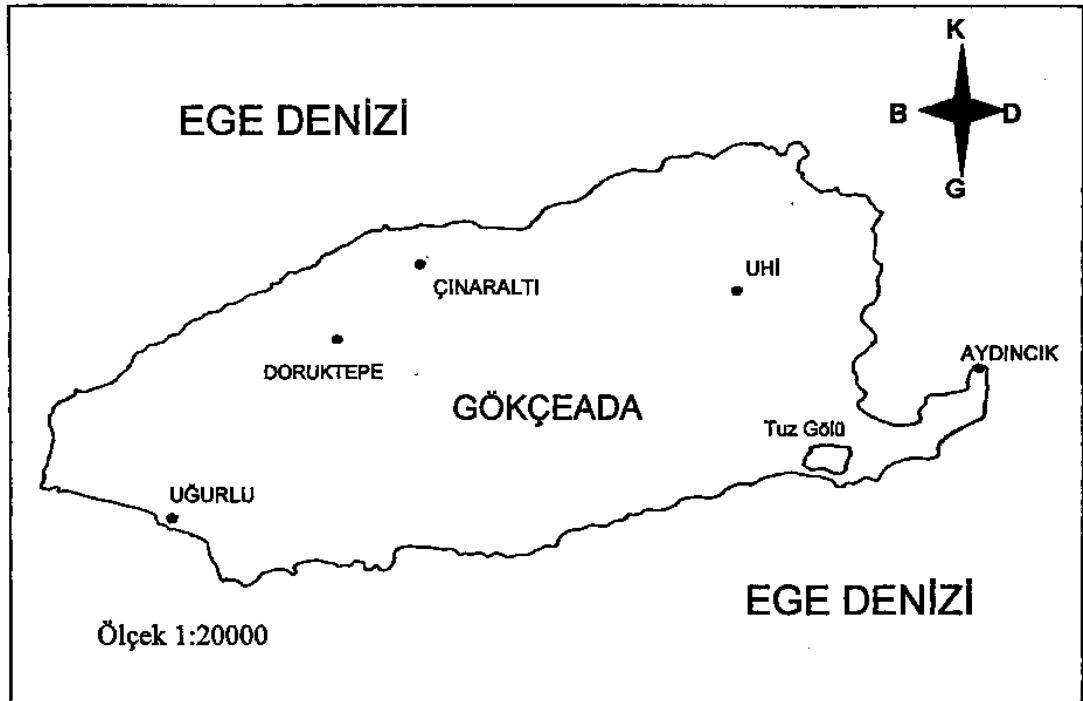
Şekil 2.7 Aydıncıkta Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızları Grafiği [12]

Şekil 2.8'de Aydıncık istasyonunda ölçülmüş ve hesaplanmış rüzgar hızı frekanslarının karşılaştırması verilmiştir. Devreye girme rüzgar hızı 3 m/s, anma rüzgar hızı 14 m/s ve devreden çıkma rüzgar hızı 25 m/s olan bir rüzgar türbini için yıllık yük durumları tahmini yapılabilir. Buna göre, türbinin yıl boyunca %20 süreyle anma gücünde çalışacağı, %72 süreyle hareketsiz kalacağı tahmin edilmektedir. Yıl boyunca %1'lik sürede ise 25 m/s'den yüksek rüzgar hızlarıyla karşılaşılır [14]. Aydıncık için hakim rüzgar yönleri genellikle kuzey ve kuzey-doğu yönleridir [16].

Rüzgar türbinlerinin yerleşimi yapılırken hususa dikkat edilecektir. Şekil 2.9'da Gökçeada haritası üzerinde rüzgar ölçüm istasyonlarının yerleri gösterilmiştir [12].



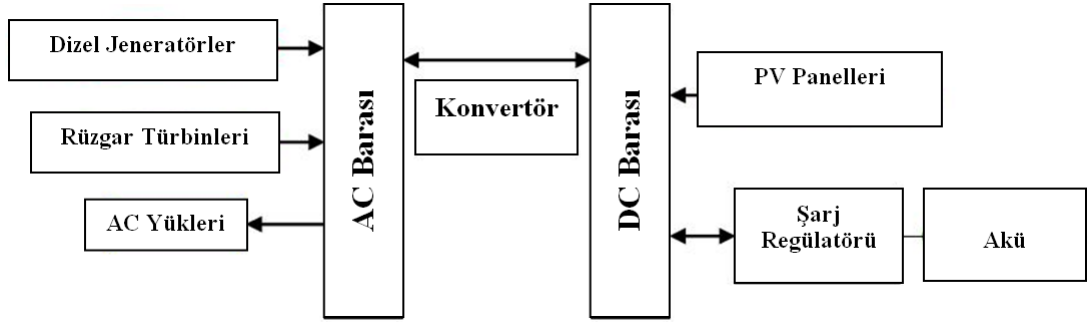
Şekil 2.8 Aydıncık İstasyonunda Ölçülmüş Ve Hesaplanmış Rüzgar Hızı Frekanslarının Karşılaştırması [14]



Şekil 2.9 Gökçeada Rüzgar Ölçüm İstasyonları [12]

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

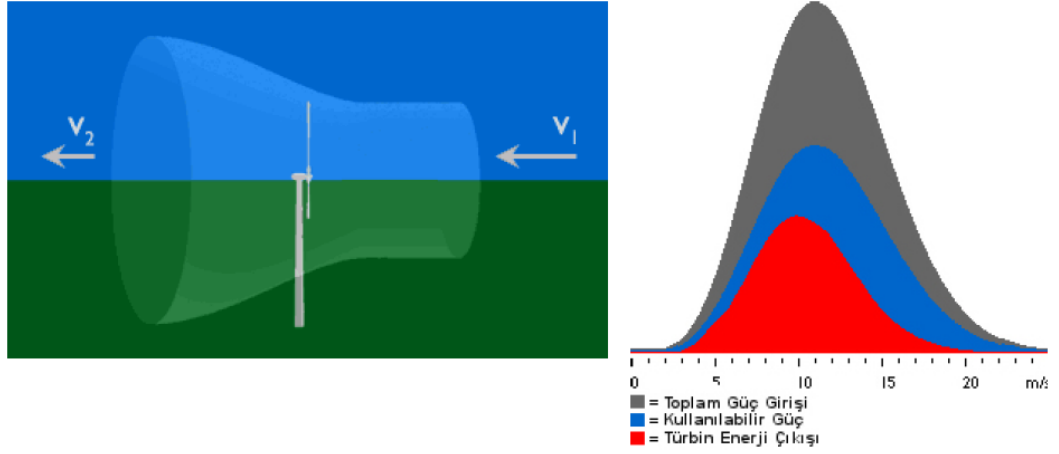
Bu bölümde yenilenebilir enerjili elektrik tesislerinin başlıca parçaları anlatılacaktır. Şekil 3.1’de farklı tipte enerji sistemlerinin birbiriyle bağlantısının tipik bir şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 PV-Rüzgar-Akü-Dizel Hibrit(melez) Güç Sistemi Şeması [15].

3.1 Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Rüzgar türbinleri, rüzgarı sektirip saptırdığından dolayı rüzgarın tüm enerjisini almak mümkün değildir. İdeal bir rüzgar türbini, rüzgarın hızını $2/3$ oranında düşürmektedir. Bu durum, rüzgarın kinetik enerjisinin en fazla $16/27$ yani %59'unun rüzgar türbini ile mekanik enerjiye dönüştürülebileceğini anlatan Bet'z kanunu ile de açıklanmaktadır [17].



Şekil 3.2 Betz Limitinin Gösterimi [17]

Betz'e göre teorik olarak rüzgardan elde edilebilecek maksimum güç, şu formülle verilir [18]:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 C_{p,Betz} \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir.

Bu denklemde:

P = Rüzgarın gücü [W]

ρ (rho) = Havanın yoğunluğu = 1,225 [kg/m³]

v = rüzgar hızı [m/s]

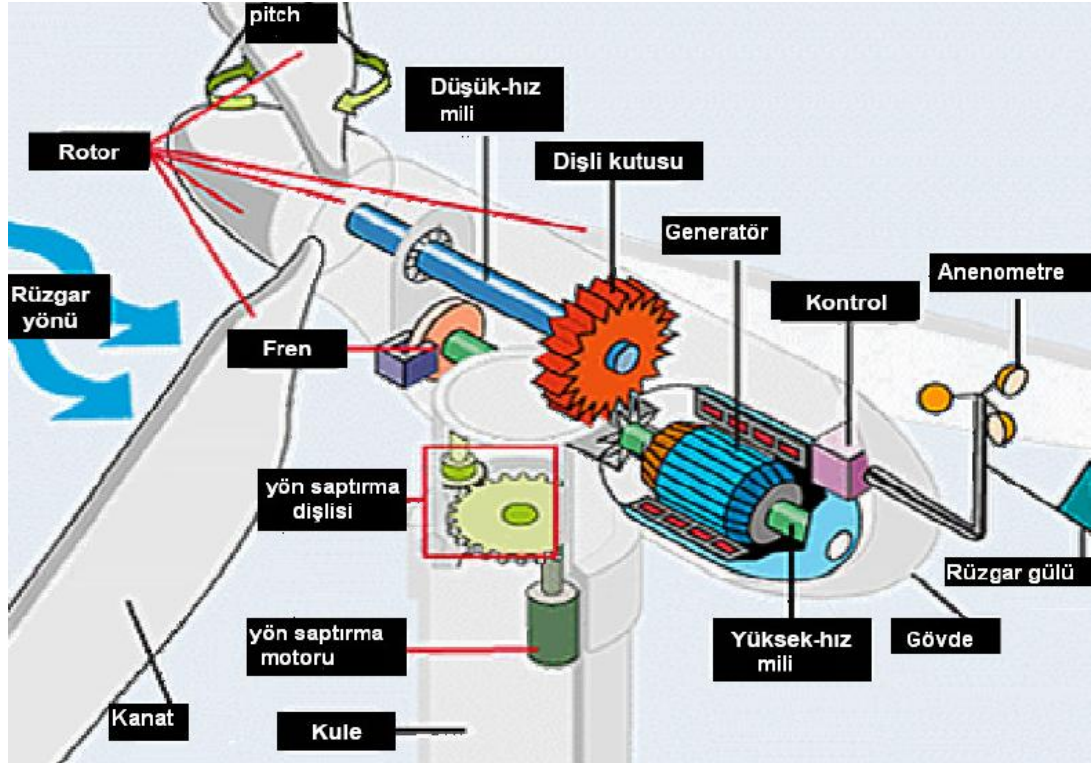
r = rotor yarıçapı [m]'dir.

Bu formül rüzgar türbinleri için uyarlanırsa, bir rüzgar türbininin gücü aşağıdaki formülle verilir. C_p pratikte $C_{p,Betz}$ 'den küçüktür. C_p güç katsayısı olarak da adlandırılır.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 C_p \quad (3.2)$$

3.1.1 Rüzgar Türbinlerini Oluşturan Parçalar

Şekil 3.3'te rüzgar türbinini oluşturan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Rüzgar Türbinini Oluşturan Parçalar [15]

3.1.1.1 Kule

Kule malzemesi, genelde çelik veya betondur. Modern rüzgar türbinleri, halka enine kesitli kulelere sahiptir. Kule yüksekliği, yüksekteki daha rüzgar hızlarından yararlanmanın getirisi ile boya bağlı artış gösteren kule maliyeti arasındaki optimum çözümlerle belirlenir. Kule boyutlandırılmasındaki bir diğer parametre de eğilme doğal frekansı olup kule malzemesini ve dolayısıyla maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgar türbinlerinin tüm imalat giderlerinin %11-20'si kule imalatına aittir [19].

3.1.1.2 Türbin Kanadı

Rüzgar türbinlerinin kanatları; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik (cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı) ve ağaçtan imal edilmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyster veya epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten üretilirler. Çelikten üretilen kanatların eğilmeye dayanımı çok iyidir; fakat yorulma dayanımları ve korozyon sorunu yaratmaktadır. Alüminyum kanatlar, çeliğe göre daha hafiftir, yorulma dayanımları daha iyidir ve korozyona daha dayanıklıdır. Alüminyum malzemenin zayıf noktaları; kabuk şeklindeki malzemenin burkulması, imalat tekniğinin zorluğu ve pahalı olmasıdır [19].

3.1.1.3 Dişli Kutusu

Rotor açısız hızı genellikle ihtiyaç duyulan elektriksel frekans değerini üretmek için jeneratörü hareket ettirmede yeteri kadar hızlı değildir. Dişli takımları, dönme sistemleri için hızlarda mekanik olarak bir artış ve azalış sağlayabilirler. Rüzgar türbinleri dikkate alındığında, dişli takımları düşük hızlı milin aşısız hızını jeneratöre bağlanan yüksek hızlı mil hareketine dönüştürmede kullanılırlar [19].



Şekil 3.4 Dişli Kutusu[17]

3.1.1.4 Jeneratör

Rüzgar türbinlerinde; senkron, asenkron ve DC jeneratör olmak üzere üç değişik jeneratör kullanılmaktadır. Küçük güç sistemlerinde, eskiden kullanılan doğru akım jeneratörlerinin yerini sabit mıknatıslı jeneratörler almıştır.

Orta ve büyük güç sistemlerinde ise, senkron ve asenkron jeneratörler kullanılmaktadır. Bu jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisi, güç elektroniği sistemleri ile istenilen gerilim ve frekans seviyesine dönüştürülmektedir [20].

Günümüzde, modern rüzgar türbinlerinde genellikle asenkron jeneratörler kullanılmaktadır. Asenkron jeneratörler, daha düşük maliyetli olması ve şebekeye senkronizasyonlarının kolay olması gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Bununla beraber, senkron jeneratörlü türbin üreten firmalar da vardır. Senkron jeneratörlerde, değişen rüzgar hızıyla birlikte şebeke senkronizasyonu probleminin giderilmesi için güç elektroniği devreleri kullanılır.

Sabit mıknatıslı senkron jeneratör, kendinden uyarım avantajına rağmen pahalıdır. Asenkron jeneratörün dezavantajı, mıknatıslanma akımını şebekeden çekmesi ve böylelikle reaktif güç tüketmesidir. Bu sorun ise, reaktif güç kompanzasyonu ile giderilir.

3.1.1.5 Diğer türbin bileşenleri

Anemometre: Rüzgar hızını ölçüp kontrolör sistemine ileten ölçüm cihazıdır.

Kontrol sistemi: Türbinleri iletim ve kesim hızlarında maksimum güçte çalışmasını sağlayan ve kritik sınırı geçen aşırı rüzgarlarda durduran kontrol sistemidir.

Aerodinamik kontrol: Kanatların aşırı yüksek veya düşük hızlarda dönüşünü kontrol eden kanat mekanizmasıdır.

Rüzgar gülü: Rüzgar yönünü ölçerek, değişimlere göre yön saptırma (yaw) motoru ile haberleşmeyi sağlar.

Yön saptırma (yaw) sürücüsü ve motoru: Rüzgar türbinleri rotorlarını rüzgara doğru yönlendirir. Rüzgarın hız değişimine göre, rotor kafasını rüzgara dik tutacak şekilde ayarlayan mekanizmadır [20].

Hidrolik sistem: Hidrolik sistem; kanat uçları, yön saptırma frenleri, yön saptırma sürücüleri, rotor freni ve başlığı gibi farklı temel parçaların çalışması için yağ basıncı sağlar [20].

Frenler: Birincil frenleme sistemi aerodinamik kanat uç frenidir. İkincil fren yüksek hız miline yerleştirilmiş disk frenidir. Her iki sistem birbirlerinden bağımsız olarak herhangi bir tehlikeli durumdan güvenli duruma ulaşabilmek için rüzgar türbinini yavaşlatabilir [21].

3.1.2 Rüzgar Türbinlerinin Maliyeti

Modern rüzgar türbinleri 20 senede yaklaşık 120 000 saat çalışabilecek şekilde tasarlanırlar [17]. Bu çalışmada yapılacak olan bilgisayar benzetimlerinde türbin ömrü için 20 yıl kullanılacaktır.

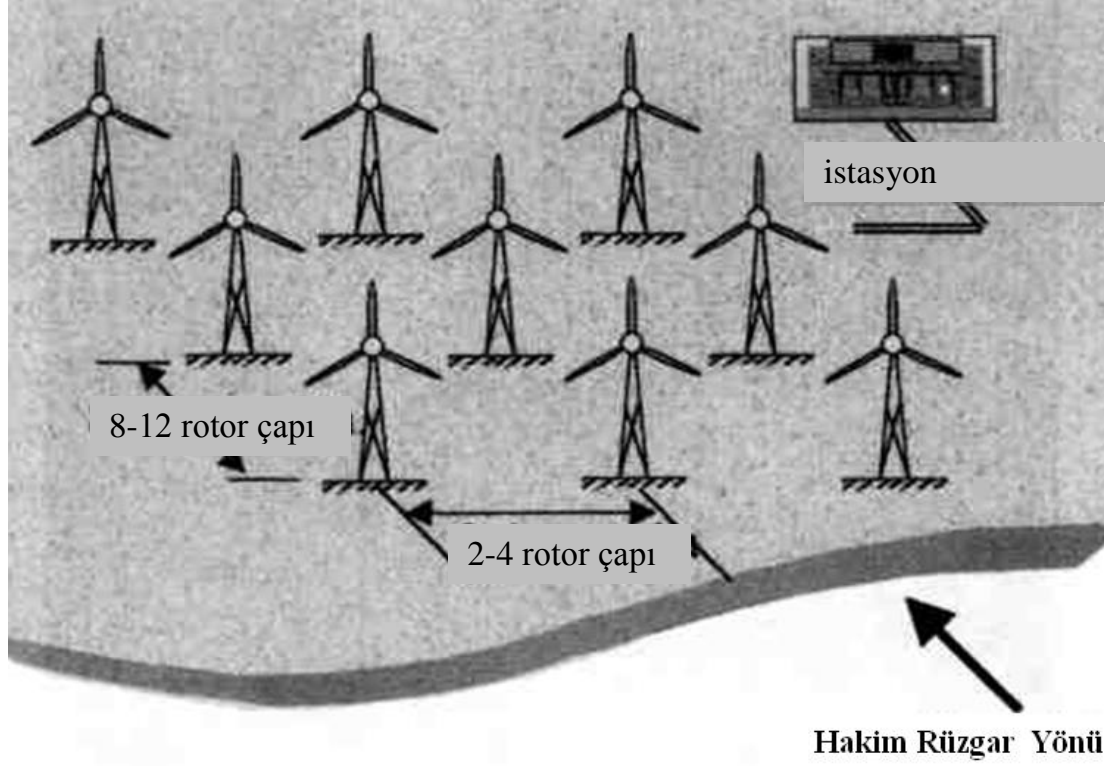
Büyük güçlü modern türbinlerin kurulum maliyeti kW başına yaklaşık 1000\$ olarak hesap edilmektedir. Yıllık işletme bakım masrafları yaklaşık olarak türbin kurulum maliyetinin %1,5 -%2'si arasında olduğu kabul edilmektedir [17].

3.1.3 Rüzgar Türbinlerinin Yerleşimi

Rüzgar akımı, türbinin kanatlarına temas ettikten sonra hızı azalmakta, kısmen türbülanslı bir şekilde ve daha düşük hızda türbini terk etmektedir. Rüzgar tarlalarının yerleşimi yapılırken türbinlerin rüzgarı karşılayacak şekilde fakat birbirlerinden olabildiğince uzak olması istenmektedir. Diğer yandan arazinin etkili kullanımı ve türbinleri birbirine ve enerji şebekesine bağlamanın masrafları yüzünden de türbinlerin mümkün olduğunca yakın olması gerekmektedir [22].

Rüzgar türbinlerinin yerleşimi yapılırken dikkat edilmesi gereken şartlar aşağıda verilmiştir:

Türbinlerin arasındaki mesafeler uygun olmalıdır. Rüzgara paralel yönde dizilme durumunda rotor çapının 8-12 katı arası uzaklıkla, rüzgar yönüne dik yönde dizilme durumunda ise rotor çapının 2-4 katı arası uzaklıkla yerleşim yapılmalıdır [23]. Bu kurallara göre rüzgar türbinlerinin yerleştirilmesi Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Rotor Çaplarına Göre İdeal Rüzgar Tarlası Yerleşimi [23]

3.1.4 Rüzgar Türbinlerinde Güç Kontrolü

Rüzgar türbinleri genellikle 15 metre/saniye civarındaki rüzgar hızlarında maksimum çıkış gücünü verebilecek şekilde tasarlanmışlardır. Rüzgar türbininin hasar almamasını sağlamak için yüksek güçlü rüzgarların fazla enerjisi süzülmalıdır. Bu yüzden rüzgar türbinleri güç kontrolörlerine sahiptirler [17]. Modern rüzgar türbinlerinde kullanılan 3 farklı güç kontrol yöntemi vardır.

3.1.4.1 Kanat Açısı (Pitch) Kontrolü

Pitch kontrollü bir rüzgar türbininde türbinin elektronik kontrolörü, güç çıkışını saniyede birkaç kere kontrol eder. Güç çıkışı çok yüksek olduğu zaman kanat açısı mekanizmasına sinyal gönderir. Uyarıyla birlikte rotor kanat açısı değiştirilerek rüzgarın rotor kanatlarından dışarıya atılması kolaylaştırılır. Ters durumda, rüzgar hızı azaldığı zaman kanatlar rüzgara doğru yönlendirilir [17].

Bu işlemin yapılabilmesi için rotor kanatlarının Şekil 3.6'daki gibi dikey eksen etrafında hareket edebilmesi gerekir. Normal çalışma durumunda kanat açıları anlık olarak dereceden daha küçük açılarla değişir. Aynı zamanda rotor da dönmektedir.

Rotor kanat açılarının ihtiyaç olduğu kadar döndürülmesinin ayarlanması, kanat açısı kontrollü bir sistem tasarımının daha zor olmasına sebep olur. Kanat açısı kontrollü bir rüzgar türbininde, bilgisayarlı kontrol sistemi rüzgar hızının değiştiği her zaman rotor açısını ayarlar. Bu yöntemle bütün rüzgar hızlarında maksimum çıkış gücünün elde edilebilmesi için en uygun kanat açıları ayarlanır. Pitch işlemi genellikle hidroliklerle yapılır [17].



Şekil 3.6 Kanat Açısı Kontrolü [22]

3.1.4.2 Durma-Tutunma Kaybı (Stall) Kontrolü

Pasif stall kontrollü türbinlerde rotor kanat açıları sabit olacak şekilde yerleşim yapılır. Rotor kanat profiline geometrisi, rüzgar hızı momentinin çok yüksek olduğu zaman rotor kanatlarının rüzgara karşı olmayan arka tarafında türbülans etkisi oluşturmasına sebep olacak şekilde tasarlanır. Stall etkisi, rotor kanadına etkiyen kaldırma kuvvetini engeller.

Stall kontrolünün en önemli avantajları, rotor içinde hareketli parçaların bulunmaması ve karmaşık bir kontrol sistemi olmamasıdır. Diğer taraftan, stall kontrolünün yapılabilmesi için çok karmaşık aerodinamik tasarımlar yapılmalıdır. Yapısal dinamikler iyi incelenmezse stall tarafından oluşturulan titreşimler meydana gelir [17].

3.1.4.3 Aktif Stall Kontrolü

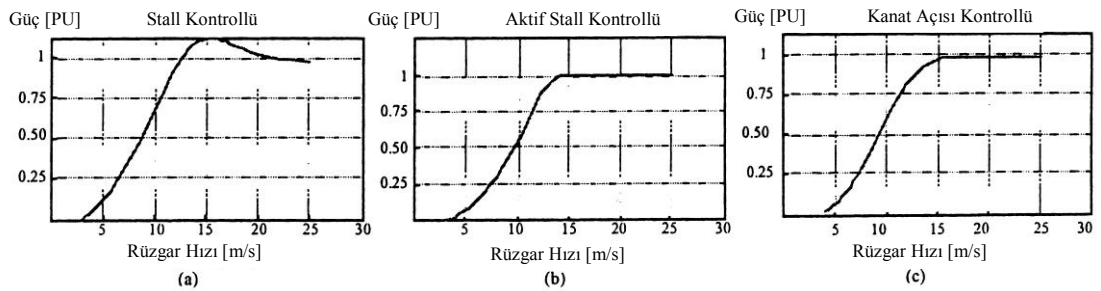
Özellikle büyük güçlü rüzgar türbinlerinde (1 MW ve yukarısı) aktif stall kontrolünün kullanımı yaygınlaşmaktadır. Teknik yönden aktif stall kontrollü türbinler açısı değiştirilebilen kanatlara sahip oldukları için pitch kontrollülere benzerler. Düşük rüzgar hızlarında yeteri derecede büyük moment elde edebilmek için pitch kontrollü makinelerdeki gibi kanat açısı ayarlanır (Rüzgar hızlarına göre genellikle sadece bir kaç sabit kademe kullanılır).

Makine anma gücüne ulaştığı zaman, kanat açısı pitch kontrollü makinelerin yaptığı zıttı bir şekilde ayarlanarak rüzgarın kanattaki baskısını artırıcı bir etki yapması sağlanır. Bu etkiyle kanatların stall durumuna gelmesi kolaylaştırılır.

Aktif stall kontrolünün avantajlarından birisi pasif stall sistemlere göre güç çıkışının kontrolünün daha doğru yapılmasıdır. Bu yöntemle, pasif kontrollü sistemlerde kuvvetli rüzgar başlangıcında oluşan anma gücünün aşımı aktif sistemlerde engellenmiş olur [17].

Aktif stall kontrolünün diğer bir avantajı da makinenin, bütün yüksek hızlı rüzgarlarda tam anma gücünde çalışabilmesini sağlamasıdır. Pasif stall kontrollü bir rüzgar türbininde yüksek rüzgar hızlarında derin stall durumuna geçildiği zaman elektrik güç çıkışında genellikle düşme olmaktadır.

Şekil 3.7’de farklı kontrol sistemlerine sahip türbinlerin rüzgar hızı–güç grafikleri verilmiştir. Şekilde aktif stall ve pitch kontrollü sistemlerde güç pürüzsüzce sınırlandırılabilirken stall kontrollü sistemlerde aerodinamik tasarıma bağlı olarak oluşan bir aşım görülmektedir [24].



Şekil 3.7 Farklı Kontrol Sistemlerine Sahip Türbinlerin Rüzgar Hızı–Güç Grafikleri [24]

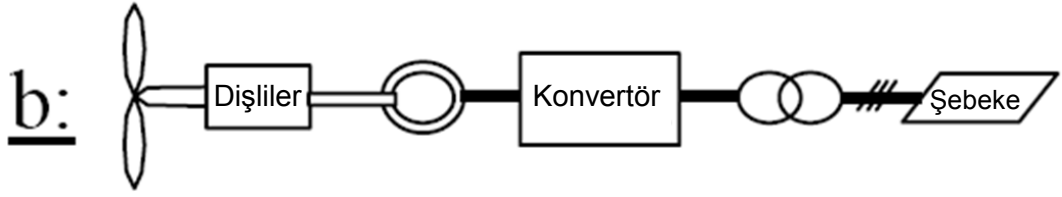
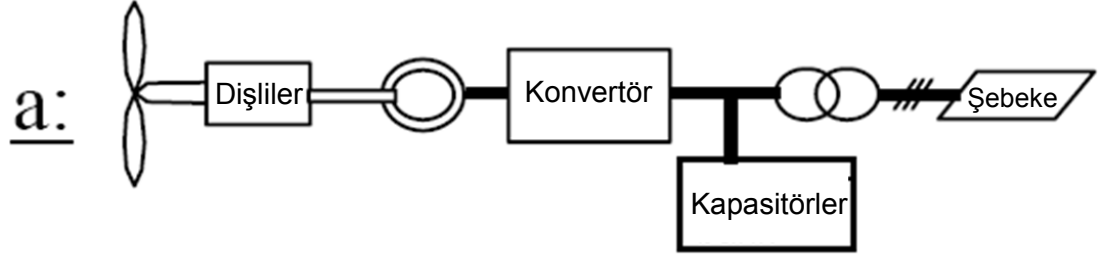
3.1.4.4 Diğer Kontrol Yöntemleri

Bazı eski rüzgar türbinlerinde rotor gücünün kontrolü için (uçak kanatlarındaki gibi) kanatçıklar kullanılmaktadır. Kanatçıklarla ekstra kaldırma kuvveti sağlanır [17].

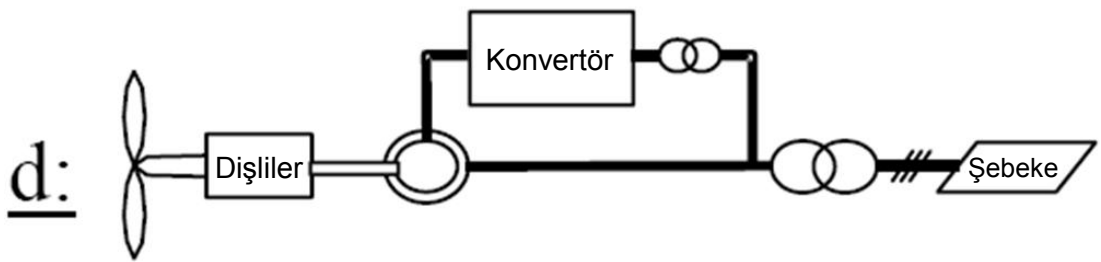
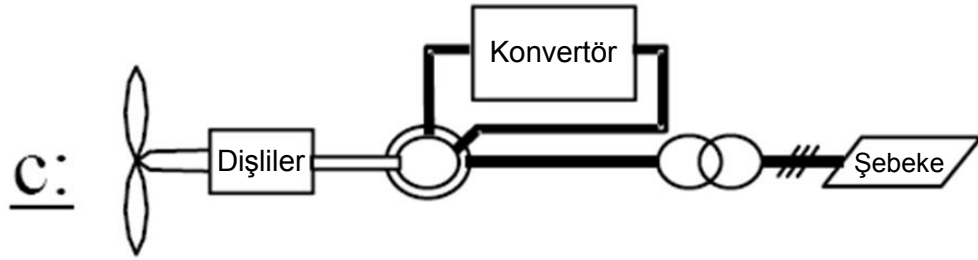
3.1.5 Rüzgar Türbinlerinde En Sık Kullanılan Yapılandırmalar

Rüzgar türbinlerinde en sık kullanılan tasarımlar Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

3.1.5.1 Asenkron Jeneratör Kullanılan Tasarımlar

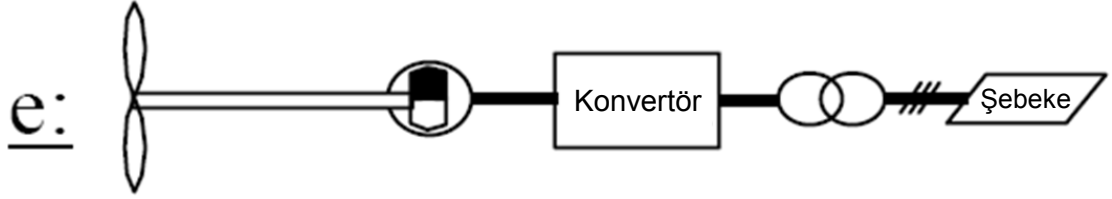


Şekil 3.8 Kısa Devre Rotorlu (Sincap Kafesli)

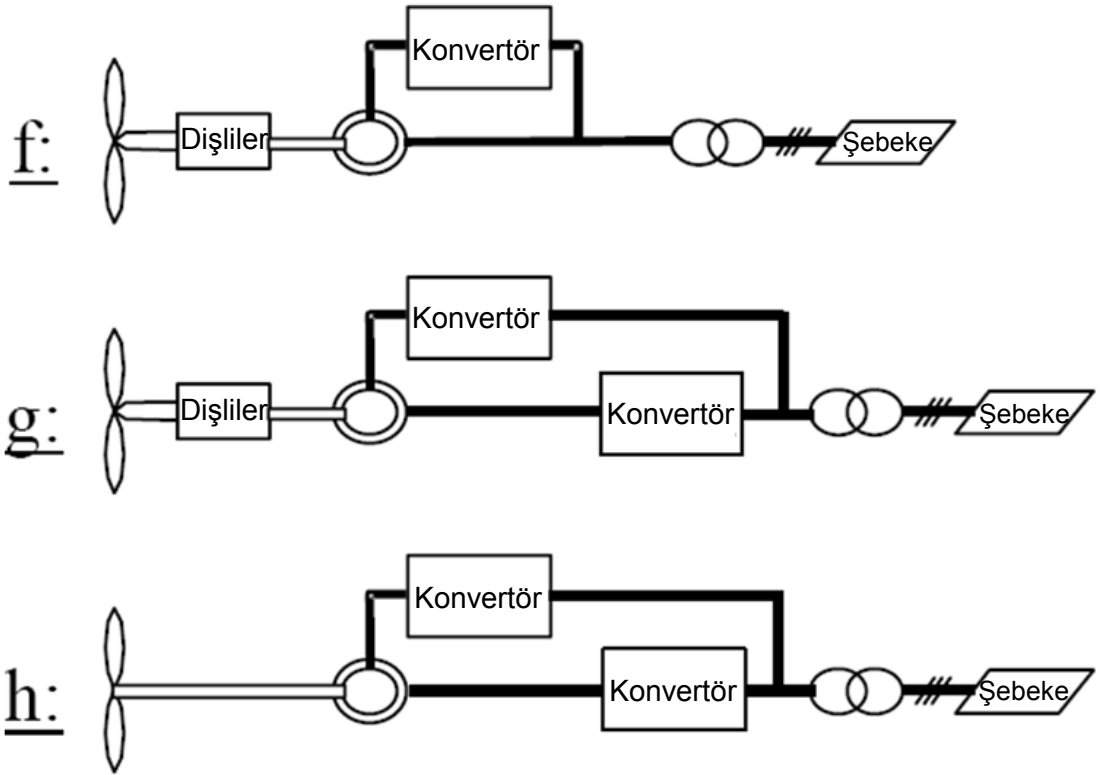


Şekil 3.9 Rotoru Sargılı (Bilezikli)

3.1.5.2 Senkron Jeneratör Kullanılan Tasarımlar



Şekil 3.10 Sabit Mıknatıslı



Şekil 3.11 Rotoru Sargılı (Çıkık Kutuplu veya Silindirik Rotorlu)

Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilen sistem yapılandırmalarına bağlı olarak *Güç Konvertörü* parçası farklı güç elektroniği bileşenlerinden oluşmaktadır: yumuşak yol verici (a), rotor değişken dış direnci (c), doğrultucu (e) statora bağlı veya f,g,h, rotora bağlı ve frekans dönüştürücüsü (b, d, e, g ve h) [25].

Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 ile ilgili genel açıklamalar:

a) Bu, Danimarkalı bir çok rüzgar türbini üreticisi tarafından 1980'ler ve 1990'lar da kullanılan stall kontrollü 3 kanatlı türbin kullanan, sincap kafesli, asenkron jeneratörlü klasik tasarımdır.

1980 lerden sonra bu tasarım reaktif güç kompanzasyonu için kapasitör banklarıyla ve şebekeye kolay bağlantı için yumuşak yol vericilerle genişletilmiştir.

b) Bu tasarımda, kapasitör bankları ve yumuşak yol vericiler yerini tam ölçekli frekans dönüştürücülerine veya düşük rüzgar hızı bölgesi frekans dönüştürücülerine bırakmışlardır. Tam ölçekli frekans dönüştürücüleri değişken hızlardaki bütün rüzgar hızlarında kullanılmalarını sağlarlar.

c) Bu tasarım Vestas tarafından 1990 lardan beri kullanılan OptiSlip olarak da bilinen rotoru sargılı (bilezikli) tasarımdır. Bu tasarımın temel amacı toplam rotor direncini güç elektroniği dönüştürücüsü yardımıyla değişken dış rotor direnciyle kontrol etmektir. Rotor miline yerleştirilen güç elektroniği devresiyle kayma (slip) kontrol edilebilmektedir (dış rotor direncinin kontrolüyle).

d) Rüzgar türbinlerinde kullanılan başka bir yapılandırma da çift beslemeli asenkron jeneratördür. Bir frekans dönüştürücüsü rotor sargılarındaki akımı doğrudan kontrol eder. Bu tasarım, anma jeneratör gücünün %20-30'u gücünde güç elektroniği dönüştürücüsü kullanılarak, jeneratörün bütün çıkış gücünün kontrol edilebilmesini sağlar. Bu kavramın kullanılmasının 2 sebebi vardır:

1) OptiSlip tasarımına göre geniş hız aralığında daha değişken hız

2) Tam güç kontrolü kavramından daha ucuz

e) Tam güç kontrolü yapılandırmasının tipik bir örneğidir. Dışlısız, 2 veya 3 kanatlı, sabit mıknatıslı jeneratör kullanılan bu tasarımda genellikle bataryalar doğrultucu üzerinden şarj edilir. Bu tasarım, genelde 1-20 kW güç mertebesindeki türbinlerde kullanılmaktadır.

f) Bu yapılandırmanın rüzgar türbinlerinde kullanımı yaygın değildir. Şekilde gösterildiği gibi bir doğrultucuyla dışardan uyarmalıdır. Önceki yapılandırmadan daha kullanışsız olmasının sebepleri şunlardır:

- 1) Uyarma devresi ihtiyacı
- 2) Kayma bilezikleri ihtiyacı
- 3) Türbin güvenliğinin daha karmaşık yöntemlerle sağlanması.

(Not: İçten uyarmalı tasarımlar da mevcuttur.)

g) Bu yapılandırma da rüzgar türbinlerinde sık kullanılmamaktadır. Önceki tasarımdan farklı olarak bu tasarım, şebeke güç dönüştürücüsünde dört-çeyrek (kadran) frekans dönüştürücüsü kullanılarak değişken hızda çalışmayı destekler.

h) Bu tasarımda çok kutuplu sargı rotorlu senkron jeneratör kullanılır. Prensip olarak, önceki tasarımla aynıdır; fakat, çok kutuplu jeneratör kullanıldığı için dişli kutusu kullanımına ihtiyaç kalmamaktadır. Örneğin, Enercon ve Lagerwey bu yapılandırmayı kullanan üreticilerdendir [25].

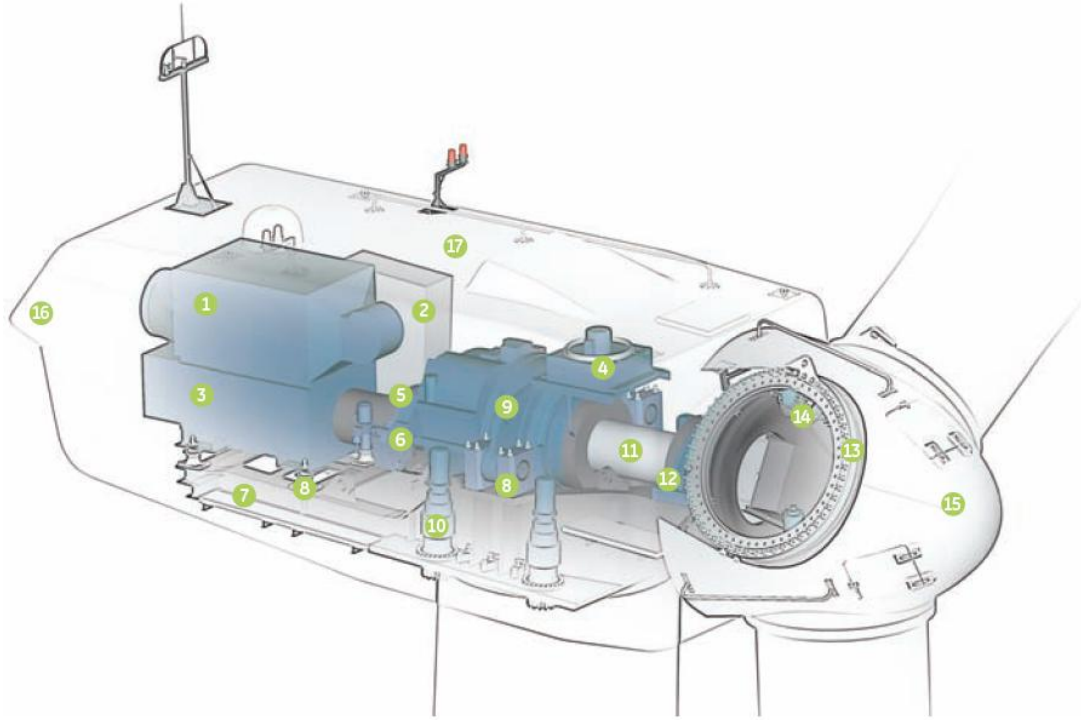
Tablo 3.1 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Kontrol Yapıları (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'e göre) [25]

Yapılandırma	Güç Dönüştürücüsü	Çok kutuplu veya Dişli Kutulu	Güç Kontrol Özellikleri	Açıklamalar
A	Yumuşak Başlatıcı	Dişli kutusu	Stall veya Aktif Stall	Bir veya iki hızlı
B	Frekans dönüştürücü	Dişli kutusu	Stall veya Aktif Stall	Değişken hızlı
C	Güç Elektroniği Dönüştürücüsü veya pasif elemanlar	Dişli kutusu	Pitch	Sınırlı değişken hız
D	Frekans dönüştürücü	Dişli kutusu	Pitch	Değişken hızlı (Çift beslemeli jeneratör)
E	Frekans dönüştürücü	Çok kutuplu	Stall, Aktif Stall veya Pitch	Değişken hızlı
F	Doğrultucu	Dişli kutusu	Stall veya Pitch	Değişken hızlı
G	Doğrultucu ve frekans dönüştürücü	Dişli kutusu	Pitch	Dişli kutulu ve değişken hızlı
H	Doğrultucu ve frekans dönüştürücü	Çok kutuplu	Pitch	Dişli kutusuz ve değişken hızlı

3.1.6 Gökçeada İçin Benzetimi Yapılacak Rüzgar Türbinleri

HOMER programıyla Gökçeada için yapılacak olan benzetimlerde 2 farklı markaya ait rüzgar türbinleri kullanılacaktır. Bunlar; HOMER'ın veritabanında mevcut halde olan, büyük güçlü ve Türkiye'deki bazı rüzgar santrallerinde de kullanılmakta olan GE 1.5sl(1,5 MW) ve Vestaj V82(1,65 MW) modelleridir.

3.1.6.1 GE 1.5sl Rüzgar Türbini



Şekil 3.12 GE 1.5sl Rüzgar Türbini [26]

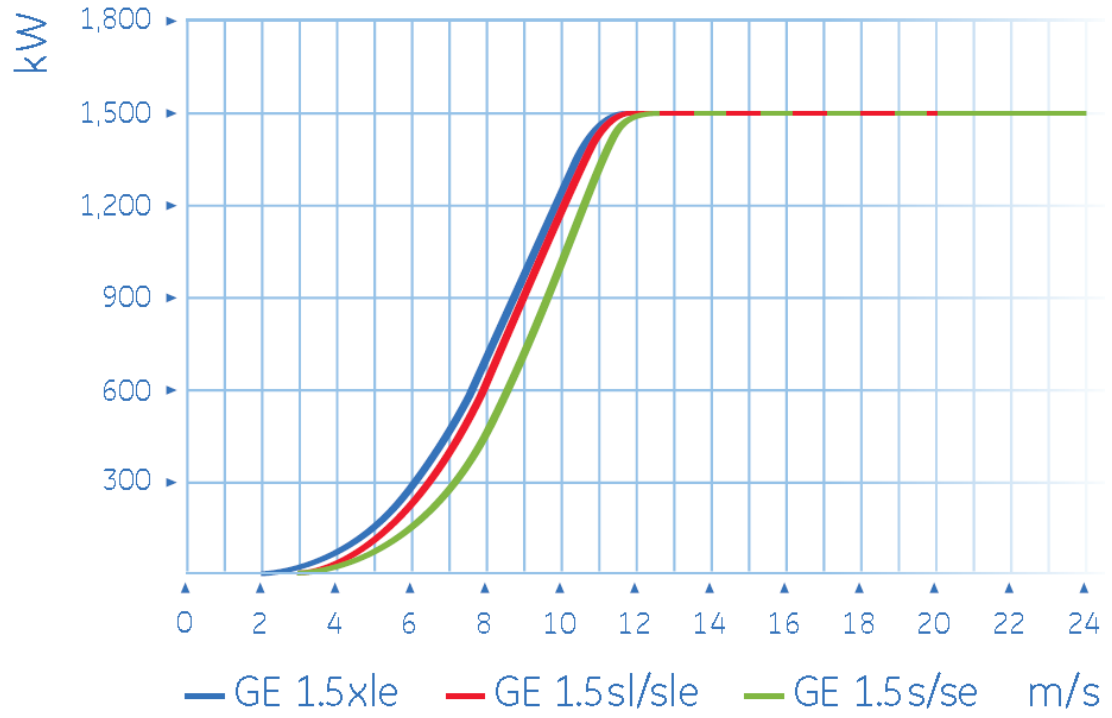
Şekil 3.12'da GE 1.5sl Rüzgar Türbinini ve türbini oluşturan parçalar gösterilmiştir. Bu parçaların açıklamaları aşağıdadır:

- 1- Isı eşanjörü
- 2- Kontrol paneli
- 3- Jeneratör
- 4- Yağ soğutucusu
- 5- Kuplaj

- 6- Hidrolik fren
- 7- Ana çerçeve
- 8- Ses izolasyonu
- 9- Dişli kutusu
- 10- Yön saptırma sürücüsü
- 11- Rotor şaftı
- 12- Yatak muhafazası
- 13- Rotor merkezi
- 14- Kanat açısı sürücüsü
- 15- Burun
- 16- Havalandırma
- 17- Kabin (Nacelle)

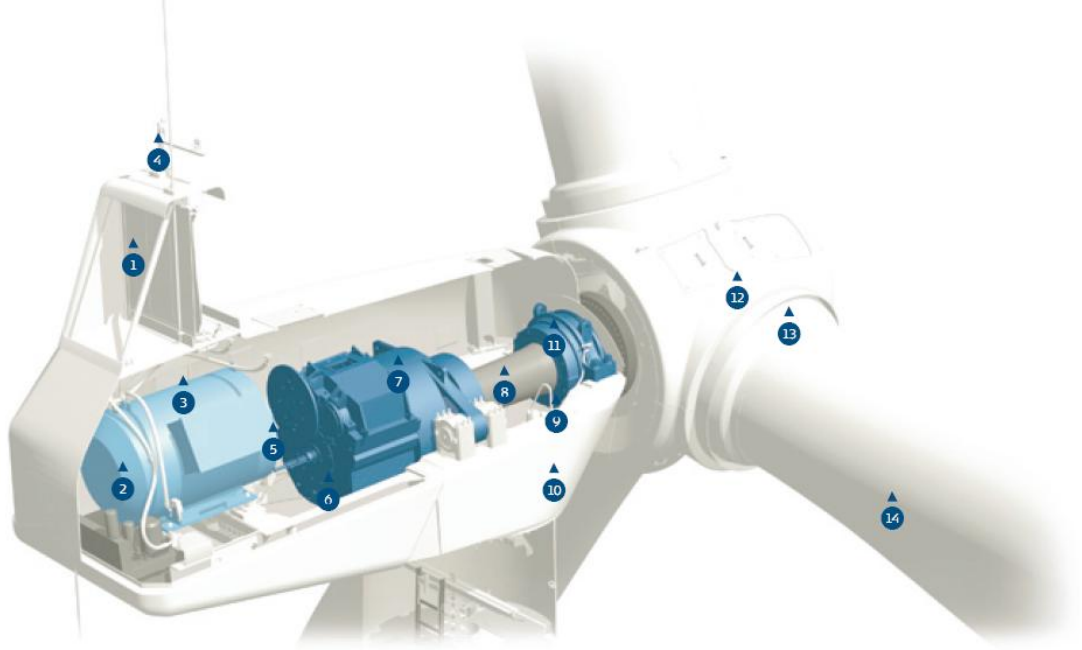
GE 1.5sl'nin Özellikleri:

Anma Gücü:	1,5 MW
Devreye Girme Rüzgar Hızı:	3,5 m/s
Devreden Çıkma Rüzgar Hızı:	20 m/s
Anma Rüzgar Hızı:	14 m/s
Rotor Kanat Sayısı:	3
Rotor Çapı:	77 m
Rotor Süpürme Alanı:	4657 m ²
Rotor Hızı (değişken):	11-20,4 dev/dak
Göbek Yükeklği:	61,4 – 100 m (80 m)
Güç Kontrolü:	Aktif Kanat Açısı Kontrolü
Jeneratör:	Çift Beslemeli Asenkron



Şekil 3.13 GE 1.5sl'nin Rüzgar Hızı-Güç Grafiği [26]

3.1.6.2 Vestas V82 Rüzgar Türbini



Şekil 3.14 Vestas V82 Rüzgar Türbini [27]

Şekil 3.14’de GE 1.5sl Rüzgar Türbinini ve türbini oluşturan parçalar gösterilmiştir.

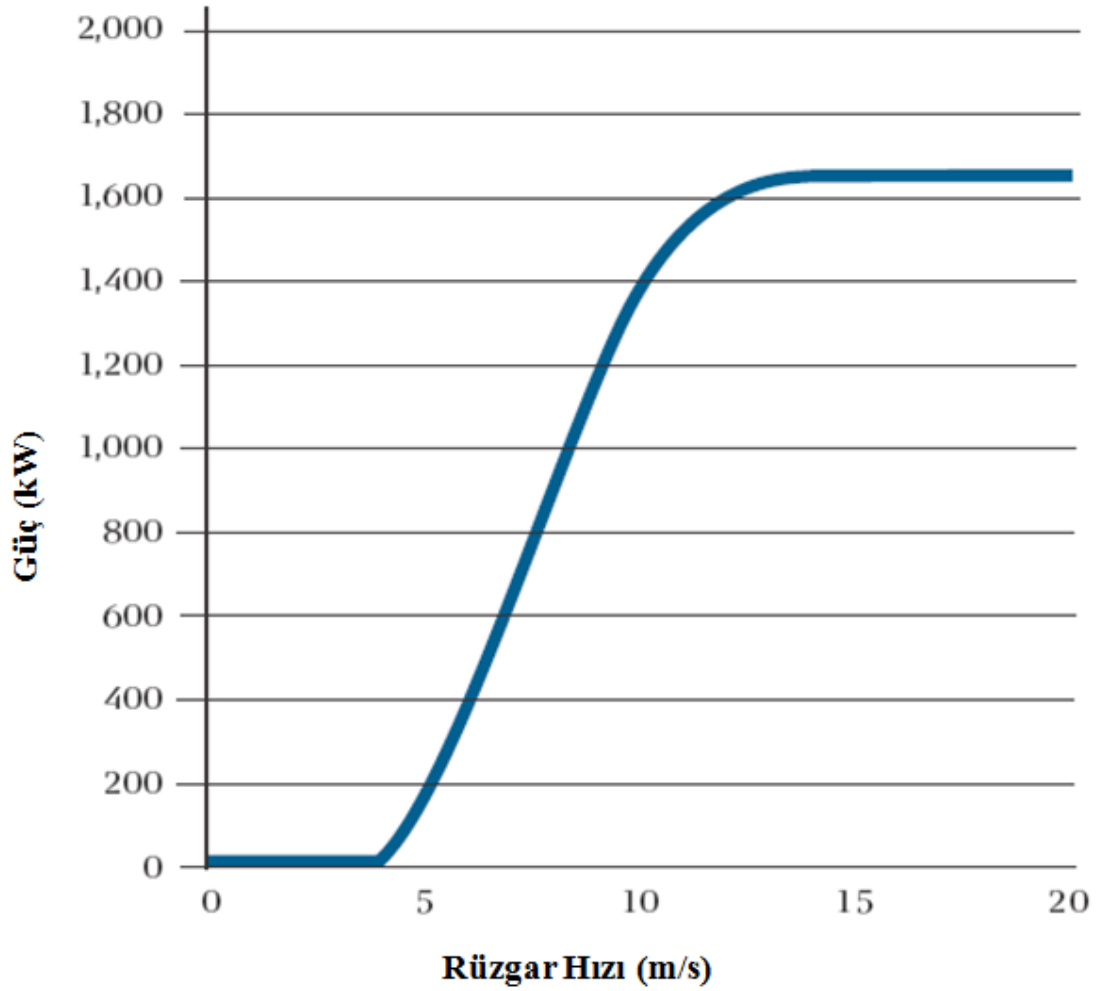
Bu parçaların açıklamaları aşağıdadır:

- 1- Soğutucu
- 2- Jeneratör
- 3- Kabin kontrolörü
- 4- Rüzgar gülü anemometresi
- 5- Kuplaj
- 6- Mekanik fren
- 7- Dişli kutusu
- 8- Ana şaft
- 9- Saptırma dişlileri
- 10- Makinenin dış yüzeyi
- 11- Ana yatak
- 12- Göbek kontrolörü
- 13- Kanat açısı sistemi
- 14- Kanat
- 15- Ana panel
- 16- Faz kompanzasyonu
- 17- Yer kontrolörü

Vestas V82’nin Özellikleri:

Anma Gücü:	1,65 MW
Devreye Girme Rüzgar Hızı:	3,5 m/s
Devreden Çıkma Rüzgar Hızı:	20 m/s
Anma Rüzgar Hızı:	13 m/s

Rotor Kanat Sayısı:	3
Rotor apı:	82 m
Rotor Süpürme Alanı:	5281 m ²
Nominal Rotor Hızı:	14,4 dev/dak
Hub(Gbk) Yüksekliği:	80 m
G Kontrolü:	Aktif Stall Kontrolü
Jeneratör:	Sincap Kafesli Asenkron



Şekil 3.15 Vestas V82'nin Rüzgar Hızı-Güç Grafiği [27]

3.2 Güneş Enerjisi Sistemi

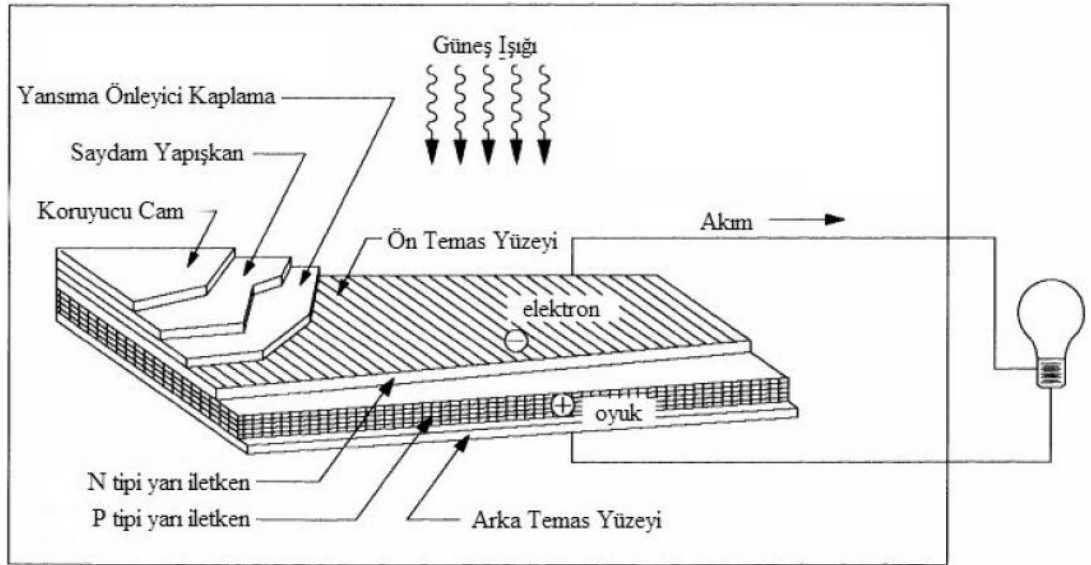
Fotovoltaik (PV) etki; güneş ışınımına maruz kalan iki farklı malzemenin ortak jonksiyonunun arasında oluşan elektriksel potansiyeldir. PV hücresi, bu etkiyle ışığı doğrudan elektriğe çevirir. Bu etki Fransız fizikçi Becquerel tarafından 1839'da bulunmuştur [28].

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak; akümülatörler, eviriciler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemini (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür [29].

Bir fotovoltaik sistem, doğru akım (DC) ya da alternatif akım (AC) ile çalışan yükü beslemek amacıyla, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Üretilen elektrik DC'dir. Buradan doğru akım ile çalışan bir yük beslenebilir. Güneş ışınımı sürekli ve kararlı olmadığı için, yükün beslenmesinde yetersiz kaldığı durumlar olabilir. Ayrıca üretilen enerjinin sistemin ihtiyacından fazla olduğu zamanlar da oluşabilmektedir. Bu ihtiyaç fazlası enerji akülere depolanarak, güneş ışınımının yetersiz olduğu zaman dilimleri için enerji sağlanabilir. Çalıştırılması istenen yük alternatif akım ile çalışıyor olabilir. Bu durumda doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için bir evirici kullanılır. Fotovoltaik sistemler, yerleşim merkezinden uzak noktalarda bulunan elektrik yüklerini beslemek üzere, yerel elektrik şebekesinden bağımsız olarak inşa edilebilirler. Bununla birlikte yerel elektrik şebekesine yakın noktalarda bulunan fotovoltaik sistemler, şebekeye enerji aktarabilecek şekilde düzenlenebilirler [30].

3.2.1 Fotovoltaik Hücre

Fiziksel özellikleri bakımından bir fotovoltaik hücre ile bir PN yüzey birleşmeli diyot birbirine benzer. Şekil 3.16’de bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir. Işık, birleşme yüzeyi tarafından emildiğinde, emilmiş olan fotonların enerjisi malzemenin elektron sistemine aktarılır ve böylece birleşme yüzeyinde ayrı bölümlere çekilerek yük taşıyıcıları oluşur. Bu yük taşıyıcıları, bir sıvı elektrolit içindeki elektron iyonları ya da bir katı yarı iletken malzeme içindeki elektron oyuk çifti olabilir. Bu taşıyıcılar birleşme yüzeyi bölgesinde, bir elektrik alan altında artan ve sanki bir harici kaynak varmış gibi yenilenen bir potansiyel güç oluşturur. Elektriğe dönüştürülmüş olan güç, birleşme yüzeyinden geçen akımın karesi ile hücrenin direncinin çarpımı şeklinde ifade edilebilir. Fotonlardaki kalan enerji, hücrenin ısınmasına yol açar. Fotovoltaik potansiyelin kaynağı, *fermi seviyesi* olarak adlandırılan, iki yalıtılmış malzemedeki elektronların kimyasal potansiyel farkıdır. Bu iki ayrı malzeme birleştirildiğinde yeni bir termodinamik denge oluşur. Bu denge, güneş ışınımının elektron miktarlarında değişme yaratmasıyla bozulur ve iki malzeme arasında elektron sayılarını dengelemek üzere tek yönlü bir elektron hareketi başlayarak fotoakım oluşur [28,30].



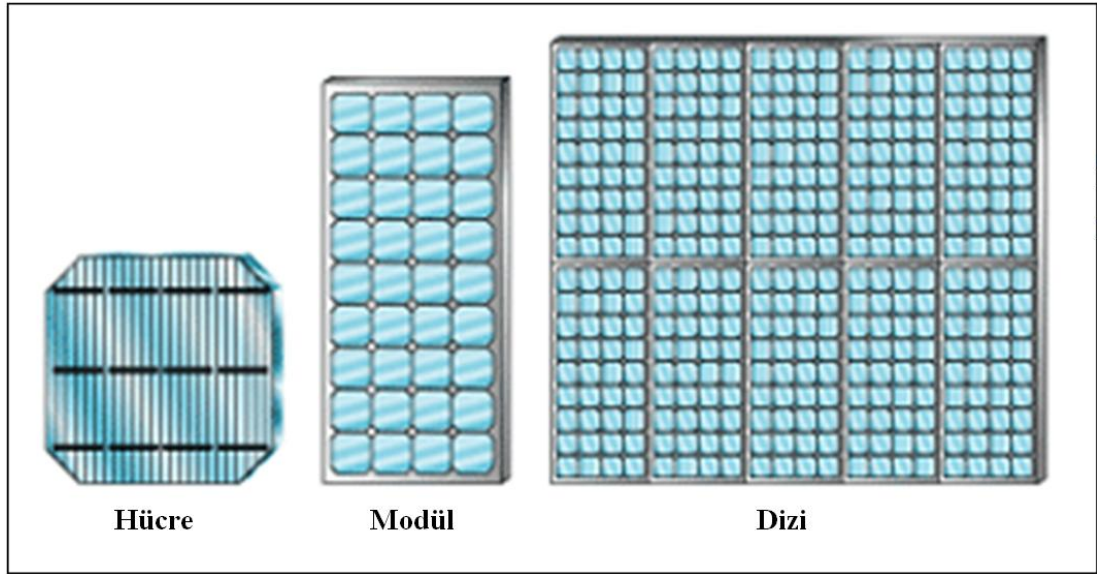
Şekil 3.16 Fotovoltaik Hücrenin İç Yapısı [28,30]

Oluşan fotoakımı kullanabilmek için, birleşme yüzeyinin her iki tarafına metal temas yüzeyleri yerleştirilmiştir. Elektriksel bağlantı noktaları ile bağlantı arka temas yüzeyinin tümü ve ön temas yüzeyinin bir kenarı kullanılarak gerçekleştirilir. Gelen

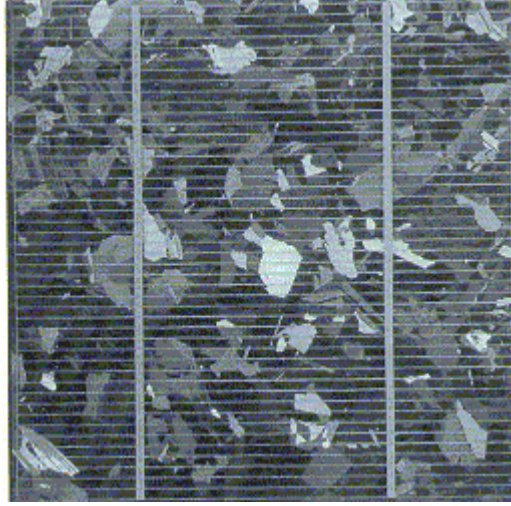
güneş ısınımı malzeme üzerinden belli oranda bir yansıma ile geri döner. Bu durum enerji kaybına neden olur. Bu durumu önlemek için ön yüzey yansıma önleyici bir madde ile kaplanır. Hücre bu haliyle gelebilecek darbelerden kolaylıkla zarar görebilir. Bu nedenle saydam bir yapıstırıcı ile ön yüzün üstüne yerleştirilen cam ile mekanik koruma sağlanır [28].

3.2.1.1 Fotovoltaik Panel ve Dizi

Fotovoltaik hücre, bir fotovoltaik güç sisteminin temel elemanıdır. Tipik olarak bir fotovoltaik hücre birkaç cm^2 'lik bir alana sahiptir ve küçük değerlerde güç üretebilir. Üretilen bu güç bir fotovoltaik sistem için yeterli değildir. Daha yüksek güç sağlayabilmek için fazla sayıda fotovoltaik hücre seri ve/veya paralel bağlanır. Fotovoltaik hücrelerin seri ve/veya paralel bağlanması ile elde edilen birime fotovoltaik panel denir. Çok sayıda sistem için panel gücü de yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle panellerin gerekli gerilim ve akımı üretebilmek için seri ve/veya paralel bağlanmaları gerekir. Fotovoltaik panellerin seri ve/veya paralel bağlanmaları ile oluşan düzeneğe de fotovoltaik dizi denir [28]. Şekil 3.17'te fotovoltaik hücre panel ve dizi görülmektedir.



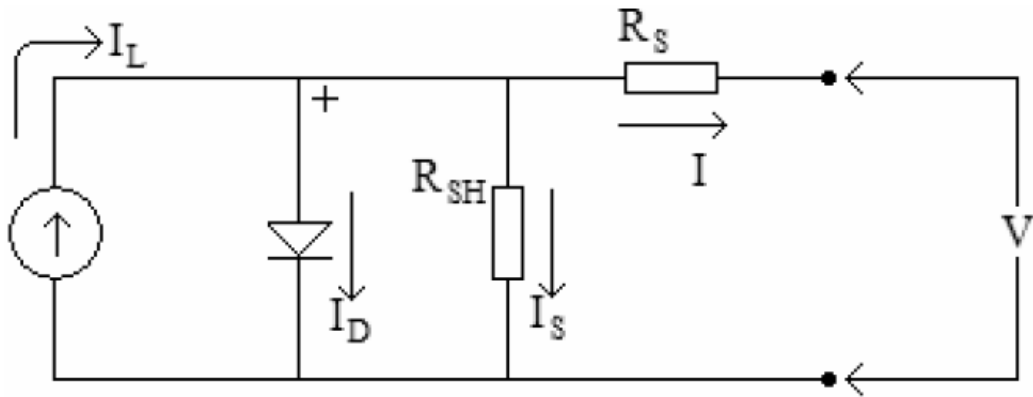
Şekil 3.17 Fotovoltaik Hücrelerin Birleşmesi [31]



Şekil 3.18 Güneş pili hücresi [29]

3.2.1.2 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi

Şekil 3.19'da (I) çıkış akımını, (I_L) ışığın ürettiği akımı ve seri direnç (R_S), çıkış akımına karşı gösterilen iç direnci göstermektedir. R_S 'nin değeri PN birleşme yüzeyinin yapısına bağlıdır. Paralel direnç (R_{SH}), sızıntı akımını ifade eder. İdeal bir fotovoltaik hücrede $R_S=0$ ve $R_{SH}=\infty$ olduğu kabul edilir. 1 inç²'lik kaliteli bir fotovoltaik hücrede $R_S=0,05-0,10 \Omega$ ve $R_{SH}=200-300 \Omega$ civarındadır. R_S üzerinde oluşan küçük bir artış, çıkış gerilimini kayda değer ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik çevirimin verimi R_S direncine duyarlıdır. Yük akımı sıfıra eşitken, hücre açık devre gerilimi (V_{OC}) elde edilir [28].



Şekil 3.19 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi [30]

3.2.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

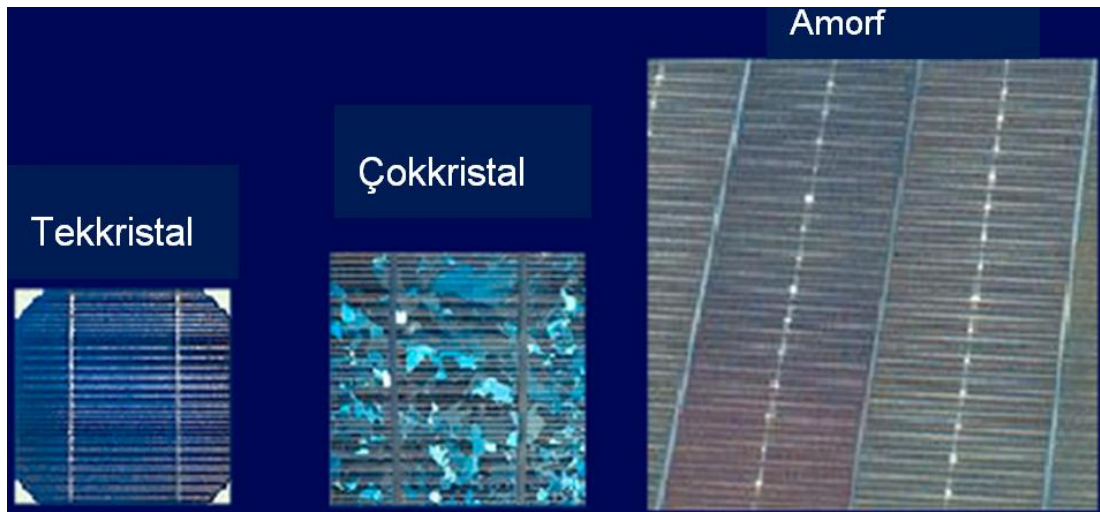
Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [29]. Günümüzde en çok silisyum (silikon) kullanılmaktadır:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tekkristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir.

Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çokkristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir [29].

Şekil 3.20'de belirli bir güç için farklı tip hücrelerin boyutları gösterilmiştir. Tekkristal (monokristal) hücrenin 1 m² si ile elde edilen güç, çokkristal (polikristal) hücrenin 1,2 m² si ile ve amorf hücrenin 2,5 m² si ile elde edilebilir [15].



Şekil 3.20 Belirli bir güç için farklı tip hücre boyutlarını gösteren resim [15]

3.2.3 Enerji Çıkışı ve HOMER’da PV Panelleri

Büyükliğe bağlı olmadan, tipik bir silikon PV hücresi açık devre (yüksüz) konumda 0,5-0,6V (DC) gerilim üretir. PV hücresinin çıkış akımı (ve gücü) verimine ve büyüklüğüne (yüzey alanına) bağlıdır. Ayrıca, hücreye gelen güneş yoğunluğuyla doğru orantılıdır [32].

HOMER, PV dizilerinin m^2 ‘si ile değil nominal kW’ı bazında işlem yapar. Bu yüzden, maliyet hesabı yapılırken verimi bilmeye gerek yoktur. Bu yöntemle, HOMER PV dizisi çıkışının güneş ışınımıyla doğru orantılı olduğunu düşünür. Buna göre eğer ışınım $0,75 \text{ kW}/m^2$ ise PV dizisi nominal çıkışının %75’i miktarında çıkış verir.

STK (Standart Test Koşulları) PV panellerinin güç miktarlarının belirlendiği test koşullarıdır. PV paneli $1000 \text{ W}/m^2$ ’lik bir ışık kaynağıyla aydınlatılır. Hücre ve hava sıcaklığı 25°C ’de ve rüzgar hızı 0 m/s ’dir. Bu koşullarda çıkış gücü ölçülerek P_{Maks} =Maksimum güç olarak gösterilir. Bu güç PV panellerin katalog bilgilerinde W_p (watt-pik) cinsinden gösterilir. Günlük uygulamada bu değerlere ulaşmak zordur.

PV panellerinin sıcaklığı arttıkça verimleri azalır. Üreticiler tarafından bu karakteristik için bir değer belirlenir ve genellikle her bir $^\circ\text{C}$ için toplam güçteki değişim yüzdesi olarak belirtilir. Örneğin; bir panelin ısıl güç katsayısı (sıcaklık katsayısı) $-0,50 \text{ \%} / ^\circ\text{C}$ ise, panel her 1°C ’lik sıcaklık artışı için %0,5 oranında daha az güç üretir.

PV panelleri güneş ışığına maruz kalınca, güneş ışığını soğurarak ısınır. Ayrıca, paneller koyu renkli oldukları için çabuk ısınmaya meyillidir.(Rüzgarsız ortamda 80°C ’ye kadar ısınabilir.) HOMER, PV giriş verileri sayfasında yeniden ölçekleme katsayısına sahiptir. Bu katsayı standart test koşullarından daha farklı olan gerçek koşullar için verimin azaltılması amacıyla kullanılır. En önemli faktör panel sıcaklığıdır. Fakat, toz ve iletken kayıplarının da ufak bir etkisi vardır. Azaltma oranının varsayılan değeri %90’dır. Sıcak iklimlerde daha düşük bir katsayı kullanılmalıdır [15].

PV dizisinin ürettiği enerjiyi hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$P_{PV} = f_{PV} \cdot Y_{PV} \cdot \left(\frac{I_T}{I_s} \right) \quad (3.3)$$

Denklemde:

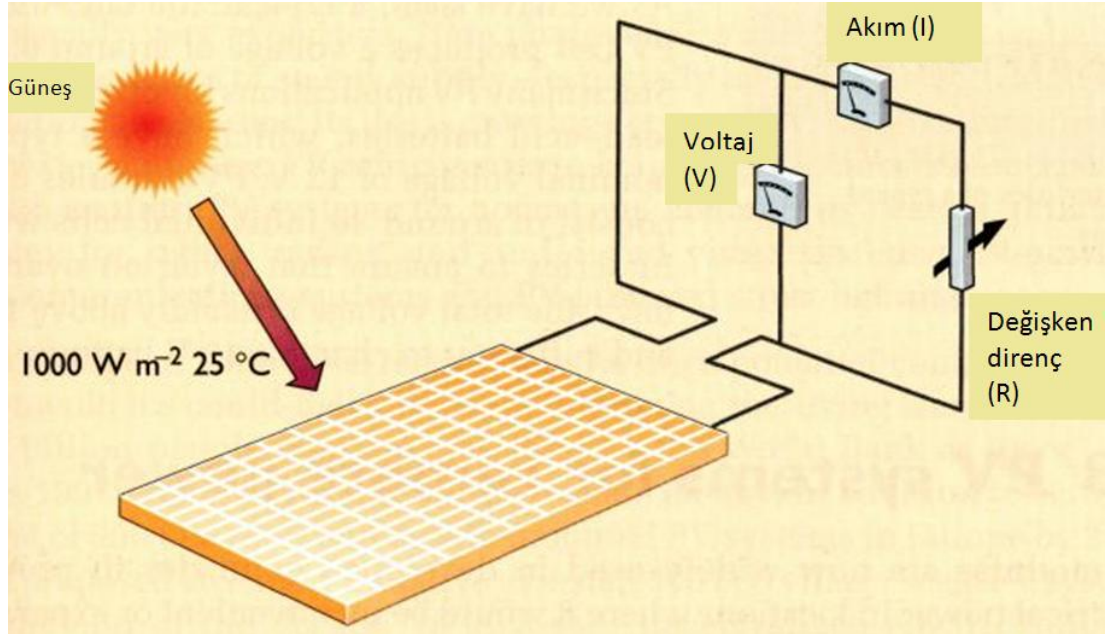
P_{PV} = üretilen güç

f_{PV} = azaltma oranı

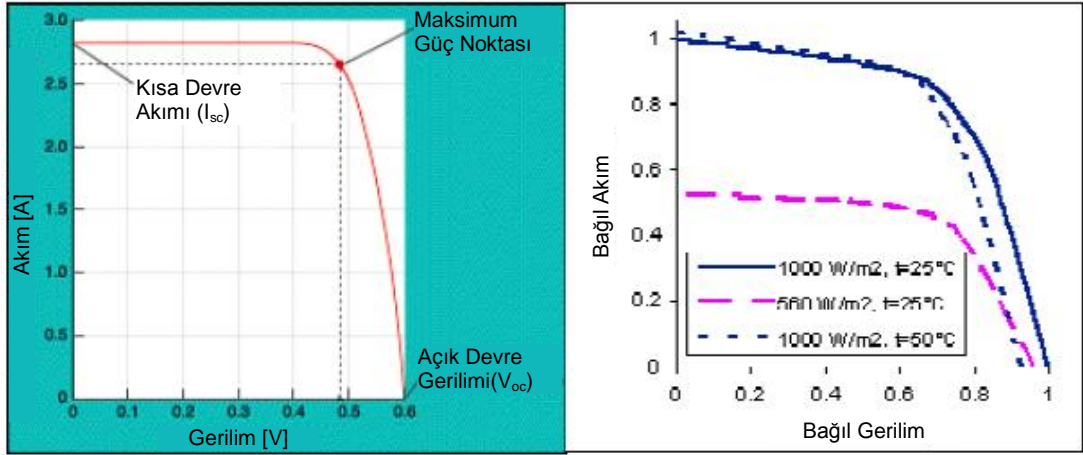
Y_{PV} = toplam kapasite

I_T = güneş ışınımı

$I_s = 1 \text{ kW/m}^2$



Şekil 3.21 Standart Test Koşullarının gösterilmesi [33]



Şekil 3.22 Bir PV Hücresinin I-V Karakteristiklerini Gösteren Şekil [15]

Bir PV hücresinin verimi;

$$\eta = \frac{\text{Çıkış Gücü}}{\text{Hücreye Gelen Güneş Işığı Gücü}} \quad (3.4)$$

HOMER programıyla benzetimi yapılacak olan PV sistemi modellerinde kullanılacak maliyetler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Bilgisayar Benzetiminde Kullanılacak Maliyetler

	İlk Maliyet (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme&Bakım Maliyeti (senelik) (\$)
1kW	7000	7000	10

Benzetimlerde PV panellerinin ömrü 25 yıl alınacaktır. Ayrıca, 1 kW ‘lık bir PV sisteminin yaklaşık 7,5 m² büyüklüğünde olduğu düşünülerek gereken alan hesabı yapılacaktır.

Örneğin, Sharp marka(NU serisi) 175 W_p gücündeki modülün boyutu 1318994×46 mm (1,31 m²) boyutlarında olup 1 kW için boyut 1,131×1000/175= 7,485 m²

olmaktadır. Ayrıca, bu modüller seri bağlı 48 adet her biri 155,6 mm × 155,6 mm boyutlarındaki tek(mono) kristal hücreden oluşmaktadır [34].

3.2.4 Güneş Takip Sistemleri

PV hücrelerine gelen güneş ışığının dik bileşeni elektrik enerjisi üretimi sağlar. Gün boyunca PV modüllerinden alınabilecek enerjinin çoğaltılması için güneş ışığının modüllere mümkün olduğunca dik gelmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla güneşin takibinin yapılabilmesi için modüller güneş takip sistemleri üzerine yerleştirilir. Güneş takip sistemlerine sahip tasarımlarda sabit sistemlere göre yıl boyunca %40 a varan enerji artışı sağlanabilir [28]. Bu çalışma için HOMER programında kullanılacak PV sistemlerinde, iki eksenli takip sistemleri kullanılacağı düşünülmüştür.

Güneş takip sistemleri iki çeşittir:

-Tek eksenli takip sistemi: Güneşi gün boyunca doğu-batı doğrultusunda takip eder.

-İki eksenli takip sistemi: Güneşi gün boyunca doğu-batı doğrultusunda ve yıl boyunca güney-kuzey doğrultusunda takip eder (Şekil 3.23). Bu çalışma için HOMER programıyla tasarlanılacak PV sistemlerinde iki eksenli takip sistemleri kullanılacağı düşünülmüştür (Two Axis tracking System).

Takip sistemleri sensörler sayesinde güneşi takip edebilir. Ayrıca, zaman ayarlı takip sistemleri de mevcuttur.

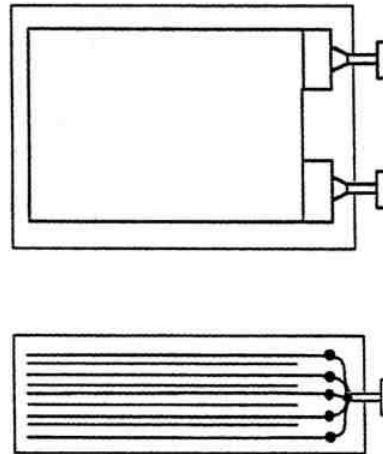
Gün boyunca doğudan batıya doğru yapılan takipten sonra gün batınca takip sistemi sonraki gün için doğuya doğru yönelir. Eski sistemlerde nikel-kadmiyum akü kullanılarak güneş battıktan sonra kendisini doğuya çevirmektedir. Yeni takip sistemlerinde doğuya dönüş işlemi güneş ışığı zayıflayınca yapılmaktadır [28].



Şekil 3.23 Çift Eksenli Takip Sistemli PV Sistemi [35]

3.3 Aküler

Aküler enerjiyi elektro-kimyasal biçimde depolar ve birçok uygulamada kullanılır. Elektrokimyasal enerji, elektrik enerjisi ve ısı enerjisi biçimleri arasında yarı düzenli bir formdur. Tek yönlü dönüşüm verimi %85-90 arasındadır. Şekil 3.24 'de tipik bir elektrokimyasal hücrenin içyapısı gösterilmektedir. Pozitif ve negatif elektrot levhaları yalıtkan ayırıcılarla yalıtılmış olarak kimyasal elektrolit içine konulmuştur. Elektrot levhaları iki grup halinde, kasanın üzerine yerleştirilmiş olan terminallere bağlanır [28].



Şekil 3.24 Elektrokimyasal Enerji Depolayan Hücre Yapısı [28]

Akü hücrelerinin kapasitesi C ile gösterilir. Ve birimi Amper-saattir (Ah). Bu, akü C A'lik akımı bir saat boyunca verebilir veya C/n A 'i n saat boyunca sağlayabilir demektir [28]. Farklı akü tiplerinin farklı C değerleri vardır ve verimli çalıştırılabilmeleri için uygun C değerlerinde şarj ve deşarj edilmelidirler. Akü üreticileri ürünlerinin hangi C değerlerinde kullanılması gerektiğini belirtirler [36].

Aküler istenilen gerilim ve akım değerini sağlayabilmek için elektrokimyasal hücrelerin seri-paralel kombinasyonlarında bağlanmasıyla yapılır. Seri bağlı hücre sayısı arttıkça akü gerilimi de artar. Akünün anma değerleri deşarj süresince ortalama gerilimi ile amper-saat kapasitesinin çarpımıyla bulunur. Voltaj ve amper-saat çarpımının sonucu (Wh) cinsinden belirtilir. Bu değer tam dolu bir akünün besleyebileceği enerji miktarıdır [28].

Bir akünün herhangi bir andaki şarj durumu (SOC) aşağıdaki formülle belirtilir:

$$SOC = \frac{\text{Kalan Ah Kapasitesi}}{\text{Toplam Ah Kapasitesi}} \quad (3.5)$$

3.3.1 Batarya Çeşitleri

En önemli şarj edilebilir akü çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Kurşun-asit (Pb-Asit)
- Nikel-kadmiyum (NiCd)
- Nikel-metal hidrit (NiMH)
- Lityum-iyon (Li-ion)
- Lityum-polimer (Li-poly)
- Çinko-hava

Bu tez çalışmasında yapılacak sistem tasarımlarında kurşun-asit aküler kullanılacaktır.

3.3.2 Kurşun-Asit Bataryalar

Kurşun-asit batarya 1859 yılında Plante tarafından bulunan elektro-kimyasal bir cihazdır. İçindeki 2 elektrot sülfürik asit elektrolit içindedir. Deşarj süresince elektrotlar kurşun sülfata dönüşür.

Batarya şarj edildiği zaman, anot tekrar kurşun dioksit ve katot metalik kurşun olur. Fakat, batarya tasarımına ve deşarj derinliğine bağlı olarak elektrotlardaki tersinir olabilen değişimler çevrim sayısını sınırlar ve birkaç bin çevrimden sonra reaksiyonlar başarısızlıkla sonuçlanabilir [37].

Kurşun-asit akülerin avantaj ve dezavantajları Tablo 3.3’de verilmiştir[36].

Tablo 3.3 Kurşun-asit akülerin avantaj ve dezavantajları [36]

Avantajları	Dezavantajları
Daha uzun ömür ve güvenilirlik	Düşük enerji yoğunluğu
Daha ucuz	Çok uzun deşarj sürelerinin aküye zarar vermesi
Bakımsız, kullanımı kolay	Belirli bir sıcaklık aralığında kullanıma uygun
Yüksek deşarj oranı	
Kendiliğinden deşarjı düşük	

3.3.2.1 Kurşun-Asit Bataryaların Bakımı

Batarya banklarının su seviyeleri ve terminallerinin korozyonlanmadığı kontrol edilmelidir. Yılda 2 veya 3 kere şarj seviyeleri de kontrol edilmelidir.

Tam şarj edilmiş bir bataryanın voltajı hücre başına 2,12 - 2,15 V arasında veya 12 V batarya için 12,7 V’dir. %50 şarj durumunda hücre başına 2,03 V ve %0 durumunda 1,75 V veya daha düşüktür [37].

3.3.2.2 Bilgisayar Benzetiminde Kullanılacak Aküler

Bu çalışmadaki benzetimlerde batarya olarak HOMER'in veritabanında mevcut olan Hoppecke marka "20 OPZS 2500" akü modeli kullanılacaktır. Bununla birlikte, fiyat olarak MUTLU Akü'nün 20 OPZS 2500 modeli için alınan fiyat kullanılacaktır. Pratikte hem yerli üretim hem de fiyatı daha uygun olan bu model kullanılabilir. İki model de 2500 Ah kapasiteye sahip olup iki bataryanın da aynı özelliklerde oldukları düşünülecektir. Mutlu Akü 20 OPZS 2500 modelinin boyutları 215×490×815 mm olup alan hesabı yapılırken bu boyutlar kullanılacaktır.

Az Bakımlı Tüplü Sabit Tesis (OPzS) Aküleri, genel kurşun asit sabit tesis akülerinin teknolojik olarak geliştirilmiş biçimidir. Kullanıcı için yüzdürme gerilimiyle çalışma sisteminde, minimum bakım ve düşük enerji maliyeli dikkate alınarak, özel şekilde tasarlanıp üretilmişlerdir. Temel özelliği, kendi kendine deşarj az olması dolayısıyla su kaybını büyük ölçüde azaltmış olmasıdır. Aktif maddeyi tutuşu ve şarj-deşarj kabiliyeti aynı seviyededir. OPzS akümülatörleri; şeffaf kutulu olarak imal edilmektedir [38].

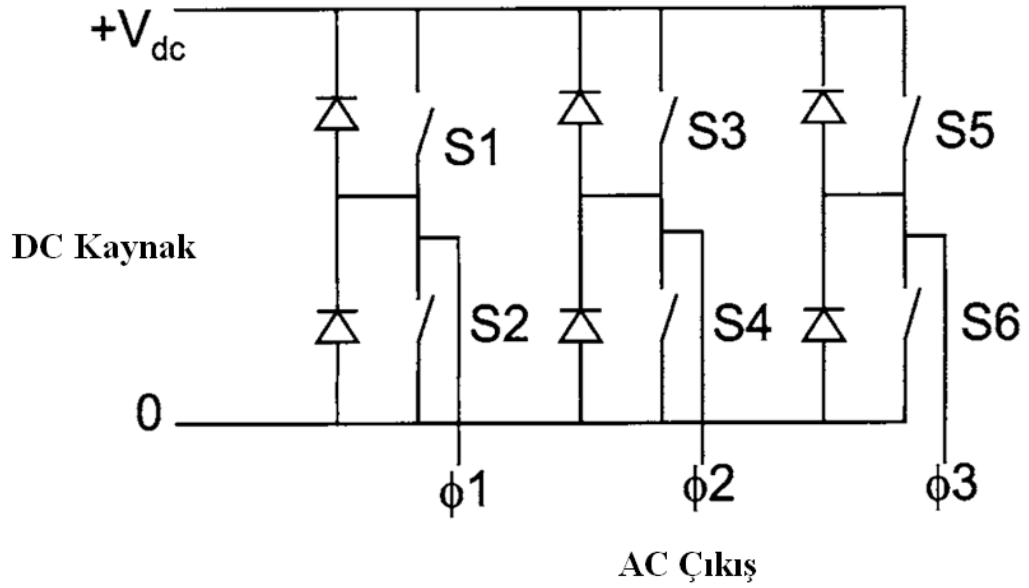


Şekil 3.25 OPzS Tipi Kurşun-Asit Akü [39]

3.4 Eviriciler

DC akımı AC akıma çeviren güç elektroniği devresine evirici (inverter) denir. Doğrultucu veya evirici için dönüştürücü (converter) de denilmektedir. Eviriciye DC girişi aşağıdaki gibi farklı kaynaklardan olabilir:

- Değişken hızlı rüzgar enerjisi sistemleri (doğrultulmuş DC çıkış)
- PV güç modülleri
- Rüzgar veya PV güç sistemlerinde kullanılan bataryalar



Şekil 3.26 3 Fazlı Evirici Prensip Devresi [40]

Şekil 3.26'de DC'den üç fazlı AC ye çeviren evirici devre şeması gösterilmiştir. Temel frekanslı (60 veya 50 Hz) faz-nötr gerilimi şu formülle verilir:

$$V_{fn} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) V_{dc} \quad (3.6)$$

AC faz arası gerilim $\sqrt{3} \cdot V_{fn}$ dir.

Evirici tasarımı için üç temel yaklaşım vardır:

- Bütün DC gücü çeviren tek evirici (merkezi evirici). Tek evirici bütün DC gücü çevirir.

-Her dizini kendi eviricisine sahiptir (dizi evirici).

-Her modülün kendi eviricisi vardır (modül evirici).

Evirici fiyatları [23]'e göre yaklaşık olarak; 1 kW'dan az güçler için 1500 \$/kW, 1-10 kW aralığında 1000 \$/kW, 10-100 kW aralığında 600 \$/kW, ve 1000 kW büyüklüğündeki güçlerde 400 \$/kW'dır. Ayrıca, [41]'de Nisan 2008 ayı için evirici fiyatı 720 \$/kW olarak belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında yapılacak benzetimlerde eviricinin 1 kW için yaklaşık fiyatı 1000 \$ kullanılacaktır. Alternatif akımdan doğru akıma çeviren doğrultucunun fiyatı ve aküler için doğru gerilim seviyesini ayarlayan şarj kontrolörünün fiyatı da evirici fiyatına dahil edilmiştir. Evirici fiyatları HOMER'da dönüştürücü (converter) menüsünde kullanılmaktadır.

HOMER'da dönüştürücü (converter) menüsünde evirici ve doğrultucu verimleri için %95 değeri kullanılacaktır.

3.5 Şarj Regülatörleri

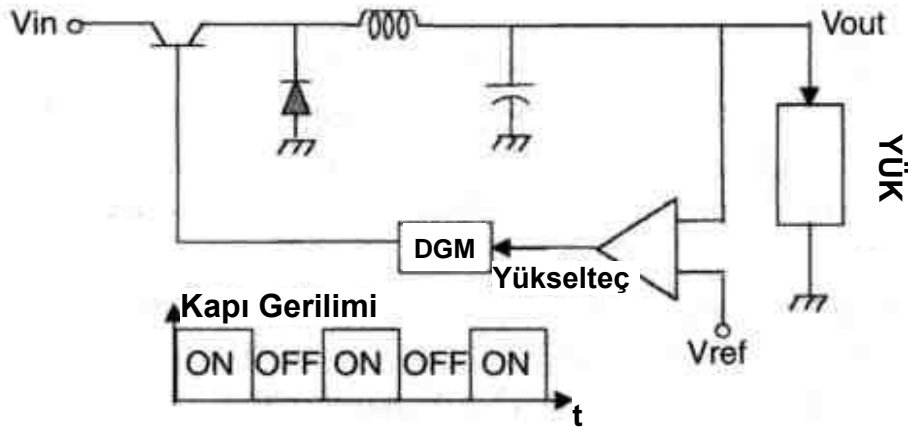
Güvenlik açısından akülerin aşırı şarj edilmesi mutlaka önlenmelidir. Fazla şarj, Pb-asit aküde iç gaz oluşturarak akünün suyunun tükenmesine ve akü ömrünün çok çabuk tükenmesine sebep olur. Şarj regülatörleri, (aşırı şarjı)gaz çıkışı olmasını engelleyerek maksimum şarj miktarını sağlar. Aşırı şarj noktasında şarj akımı kesilerek, tam dolu şarja uygun biçimde geçilmesi için azar azar şarj moduna geçilir (trickle-charge) [23].

Şarj regülatörleri, kullanılacak sisteme göre 12V / 24V / 48V ve / veya 10A / 20A / 40A / 60A gibi değerlerde değişir. Şarj regülatörleri aynı zamanda DC voltaj çıkışları olduğundan doğru akımla çalışan cihazları doğrudan beslerler. Şarj regülatörleri 2 farklı modda çalışırlar: PV panel gerilimi fazla iken azaltan modda, batarya gerilimi az iken (yükü beslemek için) yükselten modda çalışır [42].

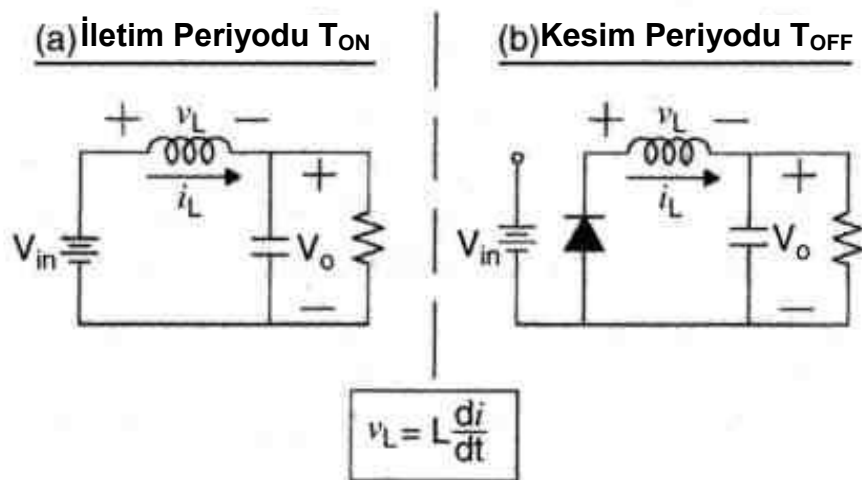
3.5.1 Batarya Şarj Dönüştürücüsü

Şekil 3.27’de en çok kullanılan DC-DC aküsü şarj dönüştürücü devresi olan azaltan kıyıcı devresi gösterilmiştir. Bu devrede kullanılan anahtarlama aygıtı BJT, MOSFET veya IGBT olabilir. Azaltan kıyıcı, şarj süresi boyunca giriş gerilimini batarya gerilimiyle aynı olacak şekilde düşürür. Transistör anahtar yüksek frekanslı açıp kapanır (onlarca kHz mertebesinde) [23]. Bağlı iletim süresi D şu şekilde tanımlanır:

$$D = \frac{\text{İletim Süresi}}{\text{Periyot}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot (\text{Anahtarlama Frekansı}) \quad (3.7)$$



Şekil 3.27 PV Sistem için Anahtarlama Batarya Şarj Dönüştürücüsü (DC-DC azaltan kıyıcı) [23]



Şekil 3.28 Anahtarlama Durumları Sırasında Devrenin Durumu [23]

Anahtar iletimdeyken devrenin durumu Şekil 3.28.(a)'daki gibi olur. Anahtar açık devre durumunda olduğu zaman ise devrenin durumu Şekil 3.28.(b)'deki gibi olur.

Giriş gerilimiyle çıkış gerilimi arasındaki bağıntı denklem 3.8'de verilmiştir.

$$V_o = V_i \cdot D \quad (3.8)$$

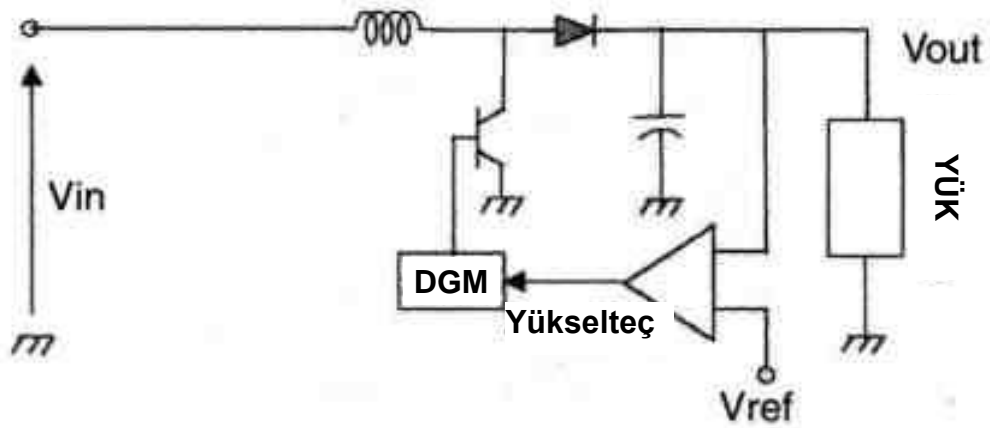
(3.8) denklemine göre çıkış gerilimini istenilen değere getirmek için bağıl iletim süresi D ayarlanır [23].

3.5.2 Batarya Deşarj Dönüştürücüsü

Batarya deşarj dönüştürücüsü, bataryadan yük beslenirken batarya geriliminin azalması durumunda kullanılır. Batarya çıkış gerilimi yükseltilerek yük için istenilen değere ulaşılır. Şekil 3.29'da gösterilen yükselten kıyıcı devresinde giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki bağıntı denklem (3.9)'da gösterilmiştir.

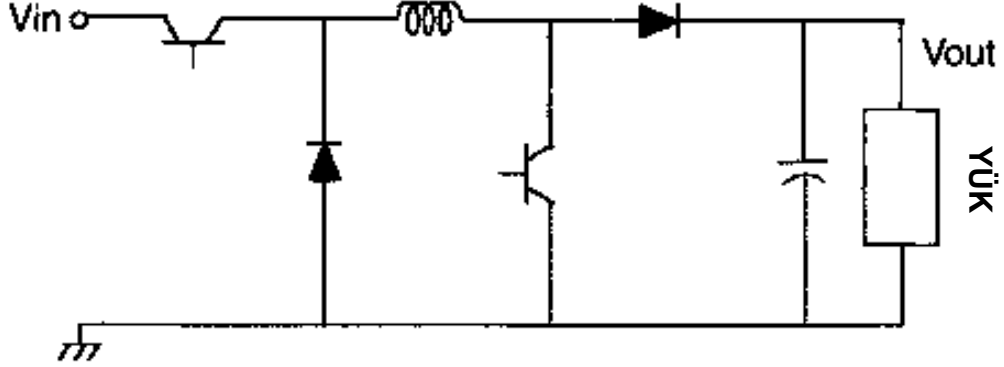
$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \quad (3.9)$$

D 'nin 1'den küçük olduğu her durum için çıkış gerilimi giriş geriliminden küçüktür.



Şekil 3.29 PV Sistem için Batarya Şarj Dönüştürücüsü (DC-DC yükselten kıyıcı) [23]

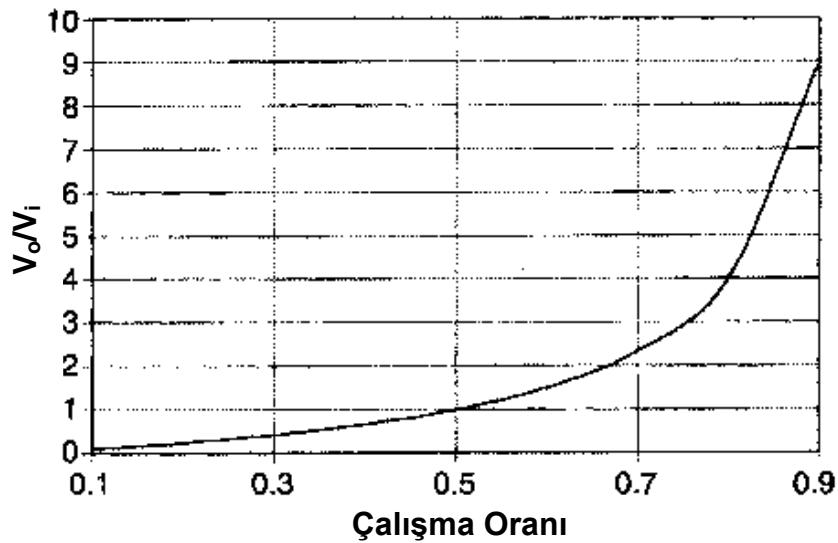
DC-DC azaltan kıyıcı gerilimi sadece azaltabilirken DC-DC yükselten kıyıcı gerilimi sadece yükseltebilir. İki dönüştürücü devrenin ardı ardına bağlanmasıyla DC-DC azaltan-yükselten kıyıcı oluşturulur.



Şekil 3.30 DC-DC azaltan-yükselten kıyıcı devresi (PV sistemleri için genel DC-DC dönüştürücü) [23]

Şekil 3.30'da gösterilen DC-DC azaltan-yükselten kıyıcı devresinde giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki bağıntı denklem (3.10)'da gösterilmiştir. Bu denklemden de görülebileceği gibi çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük veya küçük olabilir. Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranının D 'ye bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 3.31'de gösterilmiştir [23].

$$V_o = \frac{V_i \cdot D}{1 - D} \quad (3.10)$$

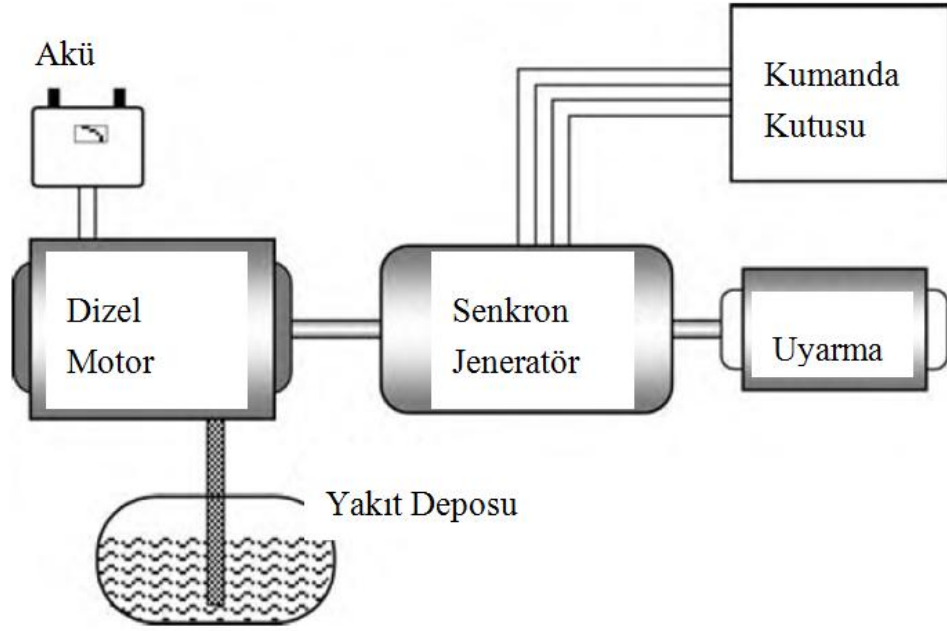


Şekil 3.31 Çıkış Geriliminin Giriş Gerilimine Oranının D 'ye Bağlı Değişimi [23]

3.6 Dizel Jeneratörler

Dizel jeneratörler, yenilenebilir enerji kaynaklarından değildir, fakat bu tez çalışmasında yapılacak olan benzetimlerde dizel jeneratörün yalnız başına kullanılması ve yedek güç için kullanılması durumlarının maliyetleri de değerlendirileceği için dizel jeneratörlerden kısaca bahsedilmiştir.

Dizel jeneratörler, ana tahrik elemanı dizel motor ve istenen gerilim ve frekansta elektrik üreten alternatörden oluşur. Jeneratör setleri, kullanım amacına göre yedek güç kaynağı (standby) veya ana güç kaynağı (prime) olarak kullanılırlar. Dizel jeneratörler, yedek güç kaynağı ihtiyacı için yaygın kullanılan enerji kaynaklarıdır [43]. Şekil 3.32’de dizel jeneratörün blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.32 Dizel Jeneratör Blok Diyagramı [37]

Dizel jeneratör sistemleri; küçük, yüksek hızlı ve büyük, düşük hızlı ve çift darbeli motorlardan oluşur. Dizel motor içindeki yakıtın hava ile kendiliğinden yanması basınç ile meydana gelir. Dizel jeneratör sistemleri yaklaşık olarak %33'lük bir verime sahiptir [44].

Dizel jeneratörün temel fiziksel özellikleri; maksimum ve minimum elektriksel güç çıkışları, tahmini çalışma saati ömrü, kullandığı yakıt tipi ve elektriksel güç üretimi için tüketilen yakıt miktarıyla ilgili yakıt eğrisidir. HOMER’da bir jeneratör, HOMER’ın kütüphanesinde kayıtlı herhangi yakıt kullanılarak modellenabilir.

Ayrıca, veritabanında mevcut olmayan başka bir yakıt da kullanıcı tarafından HOMER'a eklenebilir.

HOMER jeneratörün yakıt tüketimini belirlemek için şu formülü kullanır:

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen} \quad (3.11)$$

Denklemden

F : tüketilen yakıt miktarı [L/h]

F_0 : yakıt eğrisi kesme (intercept) sabiti [L/h.kW]

F_1 : yakıt eğrisi eğimi [L/h.kW]

Y_{gen} : jeneratörün anma kapasitesi [kW]

P_{gen} : jeneratörün elektriksel güç çıkışı [kW] 'dir.

HOMER'da jeneratörün işletme-bakım maliyeti senelik girilmez. Dizel jeneratörün işletme-bakım maliyeti çalışma süresi (saatlik) cinsinden belirlenir. İşletme-bakım maliyeti, yağ değişimi ve diğer bakım maliyetlerini de içerir. Fakat, ayrı değerlendirildiği için yakıt masrafları işletme-bakım masraflarına dahil edilmez [37].

Benzetimlerde 150 kW'lık jeneratörlerden kullanılacağı ve bu jeneratöre göre kullanılacak maliyetler ve jeneratör ömrü Tablo 3.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Dizel Jeneratör Benzetimlerinde Kullanılacak Değerler

	İlk Maliyet(\$)	Yenileme Maliyeti(\$)	İşletme&Bakım Maliyeti (\$/saat)	Çalışma Ömrü (h)
150kW	30000	24000	3	25000

Tablo 3.5 Yakıt Eğrisi Katsayıları

F_0 : yakıt eğrisi kesme(intercept) sabiti (L/h/kW)	F_1 : yakıt eğrisi eğimi (L/h/kW)
0,06	0,22

Tablo 3.5’de HOMER benzetimlerinde kullanılacak yakıt eğrisi değerleri gösterilmiştir. Bu değerlerle oluşturulan yük değişimi ile verimin değişimi grafiği Şekil 3.33’de gösterilmiştir.



Şekil 3.33 Dizel Jeneratörün Yük-Verim Grafiği

3.7 Şebeke Bağlantıları

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerin şebekeye bağlantı olanakları sayesinde yenilenebilir kaynak tarafından üretilen fazla enerji şebekeye satılabilmekte ve enerji ihtiyacı olduğu zaman da şebekeden enerji alınabilmektedir. Bu özellik yenilenebilir kaynağın ekonomi ve yük açısından daha uygun olmasını sağlar. Kilowatsaat metreler ile şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji miktarları ölçülür.

Şekil 3.34’de şebeke bağlantılı bir PV güç sisteminin tipik devre şeması gösterilmiştir. Yerel şebeke hattına, şekilde gösterildiği gibi evirici çıkışından bağlanmaktadır. Genellikle kısa dönemli yük artışlarının karşılanabilmesi için aküler de eklenmektedir [23].

3.7.1 Bağlantı Gereksinimleri

Hem rüzgar hem de PV sistemleri evirici çıkış tarafında senkronizasyon anahtarına sahiptir. Yenilenebilir sitenin şebekeye bağlanabilmesi için gereken temel kurallar aşağıdaki gibi olmalıdır:

-İstenilen yük akışının sağlanabilmesi için voltaj genlikleri ve frekansları uygun olmalıdır. Gerilim kontrolü, transformatör çevirme oranının ve/veya evirici ateşleme açısının kapalı çevrim kontrol sistemi tarafından yapılır.

-Frekans, şebekenin frekansıyla aynı olmalıdır. Aksi halde sistem çalışmaz. Tam uygun frekansa ulaşmak için şebeke frekansının evirici anahtarlama frekansına referans olarak kullanılması gerekir.

-Asenkron jeneratörlü rüzgar sisteminde mıknatıslanma akımının şebeke tarafından karşılanması.

Ara yüz ve kontrol konuları PV ve rüzgar sistemleri için benzerlik gösterir [28].

3.7.2 Şebeke ile Senkronizasyon

Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'deki senkronizasyon anahtarları gerilim ve akım sensörlerine sahiptir. Bu sensörlerle yenilenebilir enerji sisteminin ve şebekenin voltaj ve akımları izlenerek anahtarı kapatmak için doğru zaman belirlenir. Otomatik koruma devresinin bir parçası olarak yanlış bir zamanda anahtarı kapatmaya yönelik bir girişim engellenir. Senkronizasyon anahtarının kapamaya izin vermesi için gereken 4 durum vardır:

-Yenilenebilir sistemin frekansı şebeke frekansına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Yaklaşık 1/3 hertz daha yüksek olması tercih edilebilir.

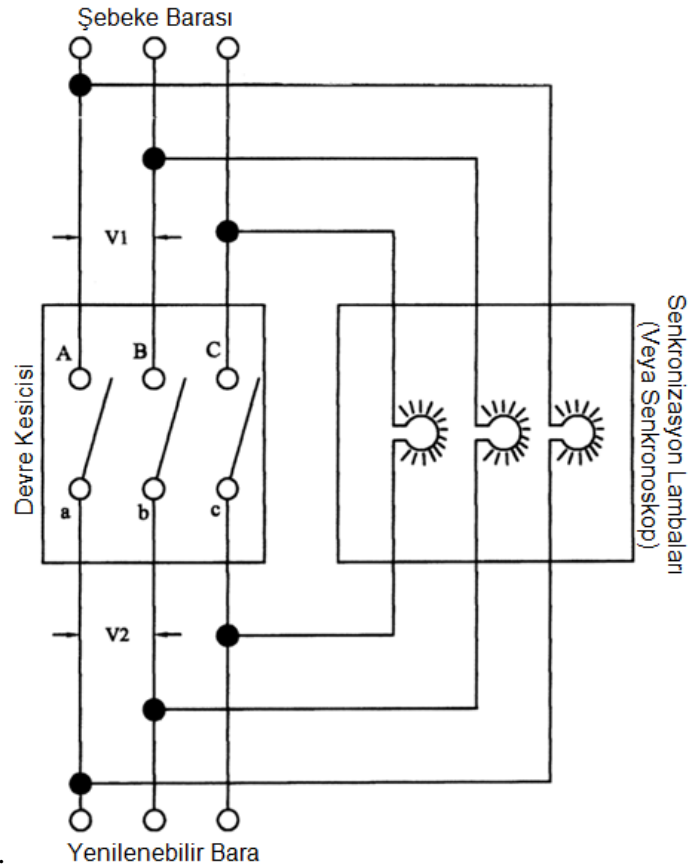
-Terminal voltaj genlikleri uygun olmalıdır. Yenilenebilir sistemin voltaj genliğinin şebekenin voltaj genliğinden yüzde bir kaç oranında yüksek olması tercih edilebilir.

-İki sistemin faz sıraları aynı olmalıdır.

-İki sistemin faz açıları farkları 5 dereceden küçük olmalıdır.

Rüzgar güç sistemi örnek olarak alınırsa senkronizasyon şu biçimde olur:

1. Senkronizasyon anahtarı açılması durumunda, rüzgar gücü jeneratörü motor modunda çalıştırılarak hızlandırılır.
2. Makine jeneratör moduna çevrilir ve sistem voltajı ile şebeke voltajı yukarıdaki şartlara uygun olacak şekilde uygun seviyeye getirilmek üzere ayarlanır.
3. Uygunluk senkronoskop veya her faz için birer adet olmak üzere 3 senkronizasyon lambasıyla gözlemlenir (Şekil 3.36). Her bir faz için lamba üzerindeki voltajlar, yenilenebilir site ile şebekenin fazları arasındaki gerilim farklarıdır. Site ve şebeke voltajları her üç faz için de tamamen aynıysa bütün lambalar karanlık durumdadır. Fakat, sadece bir anlık karanlık durumu yeterli değildir. Uzun bir süre karanlık kalması gerekir. Bu durum sadece 2 sistemin frekansları hemen hemen aynıysa gerçekleşebilir. Eğer 2 sistemin frekansların farklıysa gerilimler arasındaki faz farkı sonucunda lambalar yanar.
4. Lambalar $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ saniye karanlık konumda kalırsa senkronizasyon anahtarı kapanır [23].

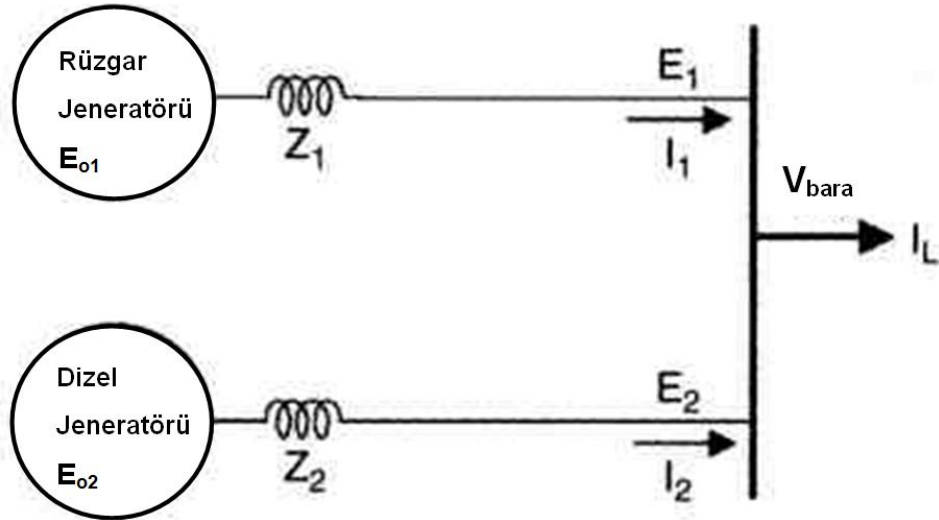


Şekil 3.36 Senkronizasyon Lambaları Veya Senkronoskop Kullanılan Senkronizasyon Devresi [23]

Anahtarın kapanmasıyla iki sistemin mükemmel senkronizasyonu sağlayabilmesi için site voltajı ve şebeke voltajı arasındaki her hangi bir ufak farklılıktan dolayı iki sistem arasında akım akışı olur. Akım akışıyla sistemler arasında denge kurulur.

3.8 Yük Paylaşımı

Rüzgar, PV, akü ve dizel enerji sistemleri farklı kombinasyonlarla bir birleriyle paralel çalışacak şekilde tasarlanabilecekleri için yük paylaşımı hibrit sistemler için önemlidir. Örneğin, rüzgar-dizel hibrit sisteminde yükün orantılı bir şekilde paylaşılabilmesi için iki sistemin elektriksel özelliklerinin birbirine uygun olması gerekir.



Şekil 3.37 Hibrit Güç Sisteminde İki kaynağın Thevenin Eşdeğer Modeli [28].

Yük paylaşımının belirlenebilmesi için iki sistemin gerilim kaynağı ve seri empedans olarak gösterildiği Thevenin eşdeğer devre modelleri oluşturulur. Bu devre Şekil 3.37’de gösterilmiştir. İki jeneratörün terminal karakteristikleri aşağıdaki gibidir:

$$E_1 = E_{o1} - I_1 Z_1 \quad (3.12)$$

$$E_2 = E_{o2} - I_2 Z_2 \quad (3.13)$$

Bu denklemlerde 1 ve 2 indisleri sırayla 1. ve 2. sistemleri temsil eder.

E_o = üretilen iç gerilim

Z = iç seri empedans ve

E = sistemlerin terminal gerilimleridir.

Eğer iki kaynak beraber bağlanırsa, terminal gerilimleri E_1 ve E_2 bara gerilimi V_{bara} 'ya eşit olmalıdır. Ayrıca, I_1 ve I_2 yüklerinin toplamı yük akımı I_L ye eşit olmalıdır. Bu şartları sağlayan terminal bağlantısı şu şekilde olur:

$$E_1 = E_2 = V_{\text{bara}} \quad (3.14)$$

ve

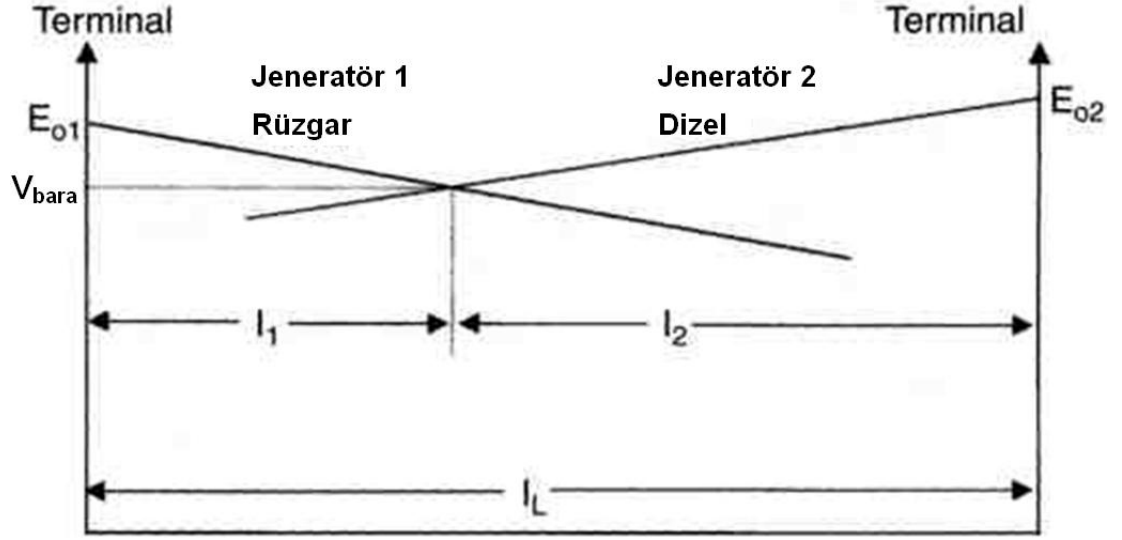
$$I_1 + I_2 = I_L \quad (3.15)$$

Yük paylaşımları I_1 ve I_2 Makinelerin iç karakteristikleri E_0 ve Z 'ye bağlı olarak belirlenir.

Bağımsız kaynaklarda yüklenme iki bilinmeyenli (I_1 ve I_2) iki denklemin cebirsel çözümüyle belirlenebileceği gibi alternatif olarak Şekil 3.38'da gösterildiği gibi grafik yardımıyla da bulunabilir. Bu yöntemde, ilk olarak iki kaynağın E ve I karakteristikleri akım ekseninin (yatay) iki yanına ayrı ayrı çizilir. İki gerilim eksenindeki uzaklık toplam yük I_L 'ye eşit olacak şekilde yerleştirilir. Paralel olarak güç besleyen kaynaklar yükü terminal voltajları tamamen aynı olacak şekilde paylaşırlar. Bu durum, grafikte iki yük çizgisinin kesiştirilmesiyle gerçekleştirilir.

Şekil 3.38'deki Kesişim noktası bara gerilimini ve yük paylaşımını belirler. İki jeneratörün I_1 ve I_2 akımları grafikten okunur.

Yük paylaşımını kontrol edebilmek için kaynakların E - I karakteristikleri kontrol edilmelidir. Serbest uyarmalı DC veya senkron jeneratör için bu kolay olmaktadır. Fakat, asenkron jeneratör için daha zordur. Çünkü, makinenin çalışmasına göre iç empedansı Z değişmektedir.



Şekil 3.38 Hibrit Sistemde Yük Paylaşımının Grafikle Belirlenmesi [28]

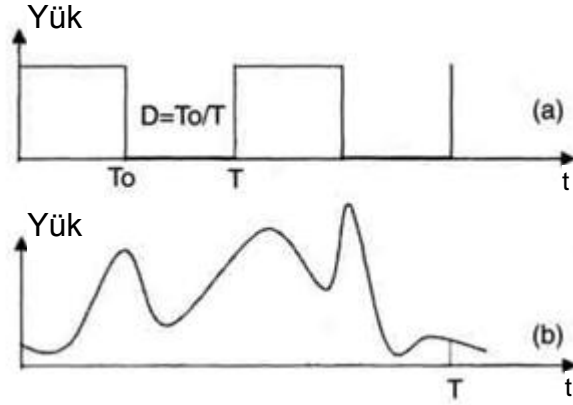
3.9 Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Boyutlandırılması

Tek başına çalışacak bir güç sisteminin kapasitesini belirlemek için ilk önce puant yük talebinin belirlenmesi tasarım için sadece tek bir bakış açıdır. Enerji tahmininin bütün bir periyot için yapılması gerekir.

3.9.1 Güç ve Enerji Tahminleri

Sistemin boyutlandırılmasına, beslenecek bütün yüklerin listesi oluşturularak başlanır. Her yük her zaman sabit olmaz veya her zaman bağlı değildir. Bu yüzden, bütün yükler tükettikleri puant (pik) watt ve bağlı iletim süresi (duty ratio) terimleri cinsinden ifade edilirler. Puant güç tüketimi kaynağa bağlantıda kullanılan iletken kalınlığını belirlemek için kullanılır. İletim oranı, bireysel yüklerin toplam enerji talebindeki etkisini belirlemek için kullanılır. Eğer yük Şekil 3.39 (a)'daki gibi temiz açma-kapama periyotlarına sahipse, bağlı iletim süresi $D=T_o/T$ olarak ifade edilir. Denklemden T_o yükün devrede olduğu süre ve T tekrarlama periyodudur. Şekil 3.39 (b)'de gösterilen düzensiz değişen yükler için bağlı iletim süresi D , periyot boyunca tüketilen enerjinin puant gücünün periyotla çarpımına oranı olarak ifade edilir [23]:

$$D = \frac{\text{Periyot Boyunca Tüketilen Enerji [watt - saat]}}{(\text{puant gücü}) \times (\text{periyot})} \quad (3.16)$$



Şekil 3.39 Yüklerin bağlı iletim süresi ve puant güçleri [23]

Bütün yüklerin puant güç tüketimleri ve çalışma oranları hesaplandıktan sonra ikisinin çarpımıyla periyot boyunca sistemdeki enerji ihtiyacı bulunur. Eğer periyot içinde akü şarj ve deşarj aralıkları gibi ayrık aralıklar varsa, yüklerin puant güçleri ve iletim oranları iki ayrı aralık boyunca ayrı ayrı hesaplanır. Örneğin, bir güneş enerjisi sisteminde 8 a.m. ile 6 p.m. arası bir aralık ve diğer aralık 6 p.m. ile 8 a.m. arası olsun. Güç tablosu Tablo 3.6’da gösterildiği gibi hazırlanır. Gereken toplam batarya deşarj miktarı= ΣE_b Wh’dir.

Tablo 3.6 Enerji Denge Analizi İçin Güç Ve Enerji Tablosu [23]

	8 a.m. - 6 p.m. Arası			6 p.m. - 8 a.m. Arası		
Yük	Batarya Şarj Durumunda			Batarya Deşarj Durumunda		
	Puant Güç(W)	İletim Oranı	Periyottaki Enerji(Wh)	Pik Güç(W)	İletim Oranı	Periyottaki Enerji(Wh)
Yük 1	P_{1a}	D_{1a}	E_{1a}	P_{1b}	D_{1b}	E_{1b}
Yük 2	P_{2a}	D_{2a}	E_{2a}	P_{2b}	D_{2b}	E_{2b}
...
Yük n	P_{na}	D_{na}	E_{na}	P_{nb}	D_{nb}	E_{nb}
Toplam	ΣP_a		ΣE_a	ΣP_b		ΣE_b

Ev ve iş yerlerinde bağlı bütün yükler aynı anda güç çekmez. Tablo 3.7’de ortalama yükü belirlemek için kullanılan talep faktörleri gösterilmiştir. Ortalama kapasite şu formülle belirlenir:

Tablo 3.7 Talep Faktörleri [23]

Hane Sayısı	Talep Faktörü
3	0,45
10	0,43
15	0,40
20	0,38
25	0,35
30	0,33
40	0,28
50	0,26
>62	0,23

Gerekli Güç Sistemi Kapasitesi = Talep Faktörü (Tablo 3.7’den) × Bağlı Yüklerin Toplamı
formülüyle bulunur.

3.9.2 Bataryaların Boyutlandırılması

Yükün enerji ihtiyacını karşılayan batarya amper-saat kapasitesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Ah = \frac{E_{bat}}{\eta_{deş} \cdot [N_{hücre} V_{deş}] \cdot DOD \cdot N_{bat}} \quad (3.17)$$

E_{bat} = bataryadan her deşarj için ihtiyaç olan enerji

$\eta_{deş}$ = deşarj sürecinin verimi (evirici, diyot ve iletkenler, vs... dahil)

$N_{hücre}$ =bir bataryadaki seri bağlı hücre sayısı

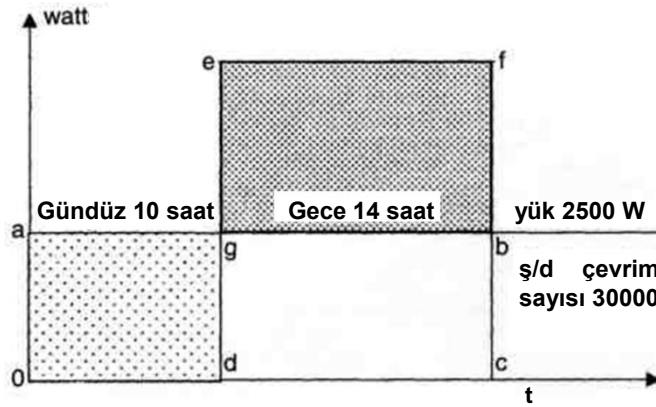
$V_{deş}$ =deşarj boyunca ortalama hücre gerilimi

DOD= döngü ömrü boyunca izin verilen maksimum deşarj derinlięi

N_{bat} = paralel bağlı batarya sayısı

3.9.3 PV Dizilerinin Boyutlandırılması

Tek başına çalışacak bir güç sisteminin boyutlandırılması için ilk kural enerjinin sadece boyutlandırılacak sistem tarafından besleneceğidir. Yükün çektiği enerjinin zayıf olduğu dönemlerde PV dizisinin daha fazla enerji üreterek yükün daha fazla enerji çektiği durumlar için dengeyi sağlayabilmesi gerekir. Çünkü, enerji açığını karşılayabilecek başka bir kaynak yoktur. Sabit yüklü bir PV sisteminin basit bir durumu Şekil 3.40'de gösterilmiştir. Şekilde gündüz süresi 10 saat ve gece süresi 14 saat gösterilmiştir. Güneş dizisi, taralı iki alan birbirine eşit olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Yani, alan *oagd* ile alan *gefb* eşit olmalıdır.



Şekil 3.40 Bir Yük Döngüsü Boyunca Enerji Denge Analizi [23]

Genel anlamda sistemin boyutlandırılması şu formülle yapılır:

$$\begin{aligned}
 & \int_{8 \text{ a.m.}}^{6 \text{ p.m.}} (\text{güneş ışınımı} \cdot \text{dönüşüm verimi}) dt = \\
 & \int_{8 \text{ a.m.}}^{6 \text{ p.m.}} (\text{yükler} + \text{kayıplar} + \text{şarj gücü} + \text{paralel güç}) dt \\
 & + \int_{6 \text{ p.m.}}^{8 \text{ a.m.}} (\text{yükler} + \text{kayıplar}) dt \tag{3.18}
 \end{aligned}$$

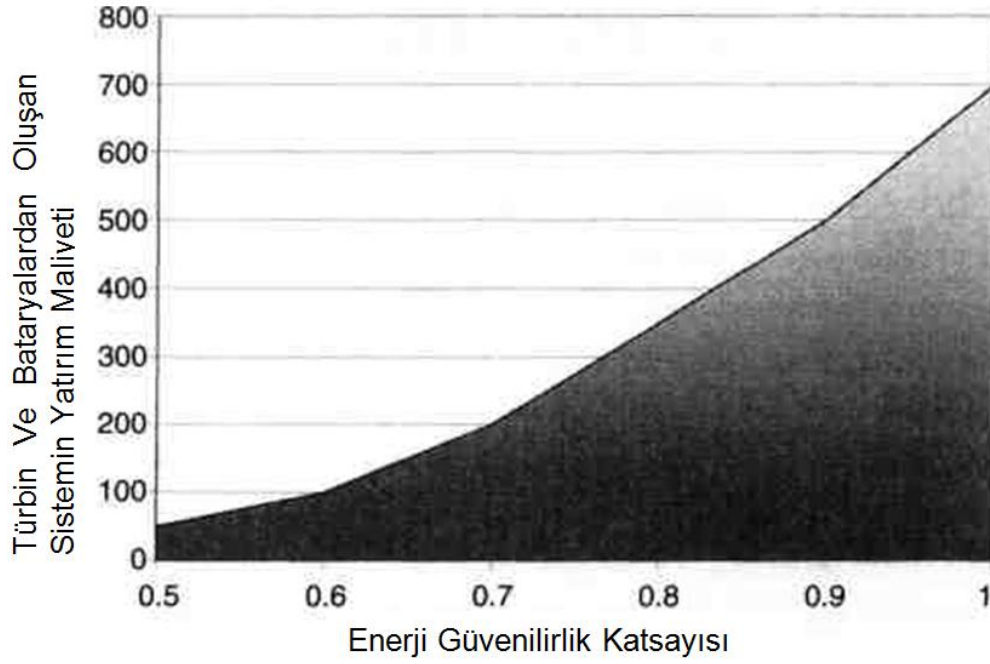
Veya, sistem boyutlandırılması ayırık zamanlı olarak (yük ve kaynak gücü sabit olmak üzere),

$$\begin{aligned}
 & \sum_{8 \text{ a.m.}}^{6 \text{ p.m.}} (\text{güneş ışınımı} \cdot \text{dönüşüm verimi}) dt = \\
 & \sum_{8 \text{ a.m.}}^{6 \text{ p.m.}} (\text{yükler} + \text{kayıplar} + \text{şarj gücü} + \text{paralel güç}) \Delta t \\
 & + \sum_{6 \text{ p.m.}}^{8 \text{ a.m.}} (\text{yükler} + \text{kayıplar}) \Delta t \tag{3.19}
 \end{aligned}$$

biçiminde ifade edilir.

3.9.4 Rüzgar Çiftliklerinin Boyutlandırılması

Tek başına çalışan bir rüzgar çiftliğinde, türbin sayıları ve batarya boyutları yükün gücüne bağlıdır. Bir olasılık modeli ile sistem boyutları belirlenebilir. Eğer rüzgar enerjisi sistemi şebekeye bağlıysa, böyle bir model şebekeden alınan veya şebekeye satılan enerji miktarlarını belirlemek için de kullanılabilir. Olasılık modelinde rüzgar hızı bir rastlantı değişkeni olarak alınır. Yük bağımsız bir değişken olarak anılır. Rüzgar türbini sayıları ve batarya sayıları da diğer değişkenlerdir. Bir rüzgar santralindeki bütün türbinler aynı anma değerlerine sahip olabilirler veya olmayabilirler. Bazı durumlarda donanım problemleri sebebiyle bazı türbinler birbirinden bağımsız şekilde arızalanabilirler. Sonuç model bu şartların birleşiminden oluşur.



Şekil 3.42 Bağlı Sermaye Maliyetinin, Farklı Sayılarda Rüzgar Türbinlerinden Ve Akülerden Oluşan EGK'ya Bağlı Değişiminin Grafiği [23]

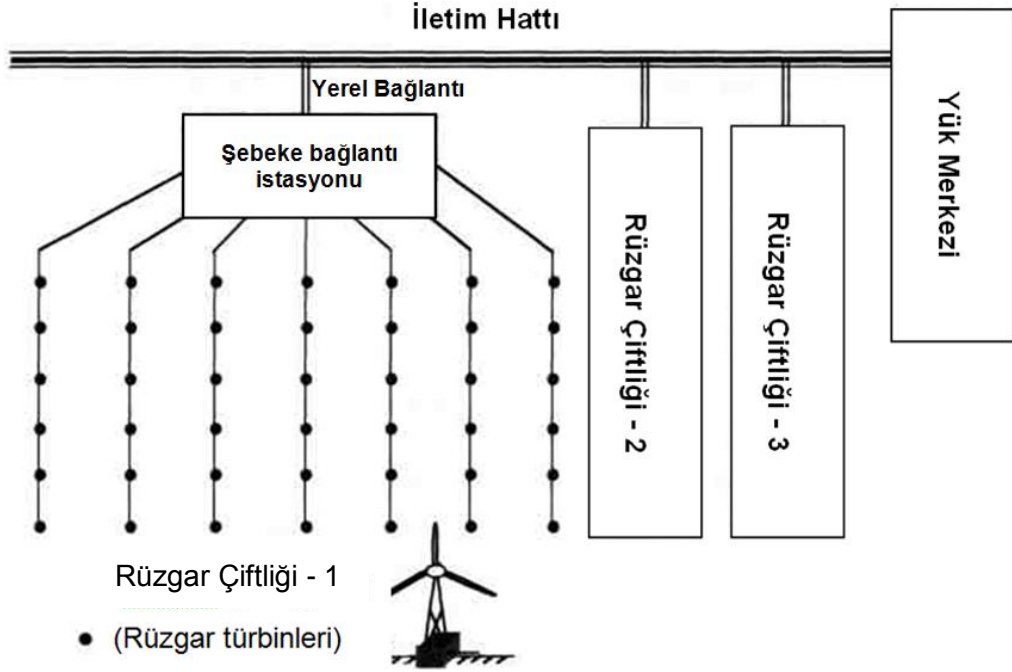
Gereğinden büyük bir *EGK* hesaplanması projenin ekonomikliğini azaltır. Bu yüzden; *EGK*, yükün bazı zamanlarda beslenememesinin maliyete etkisinin sonuçlarıyla birlikte dikkatli bir iyileştirmeden sonra seçilmelidir [23].

3.10 Dağıtılmış Üretim

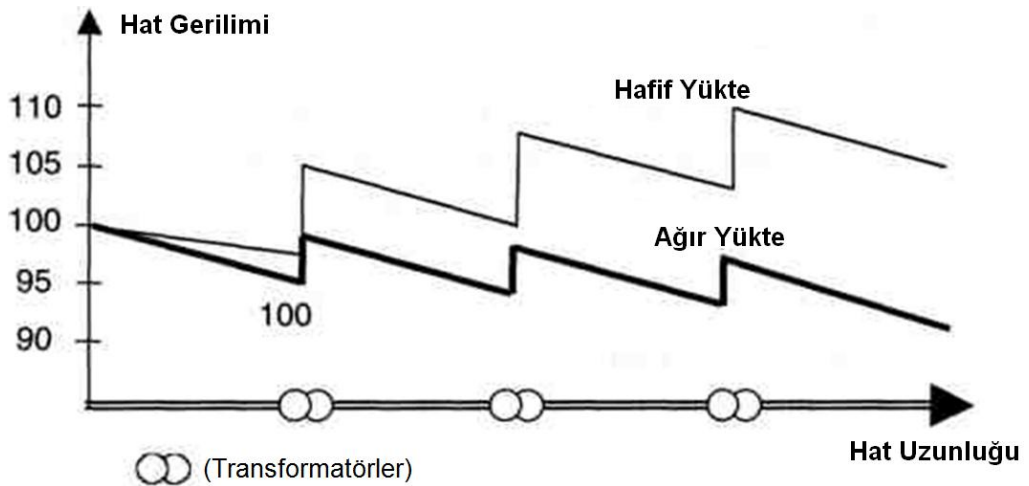
Dağıtılmış üretim (distributed generation) küçük güçlü üretim sistemlerinin güç sistemi boyunca yayılmış bir biçimde olması durumudur. Dağıtılmış üretimle şebekeye bağlı veya şebekeden ayırık siteler beslenebilir [37]. Dağıtılmış üretim sistemlerinin; modülerlik, verimlilik, düşük veya sıfır gaz salınımı, güvenilirlik gibi faydaları vardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı dağıtılmış üretim sistemlerinde yakıtın üretim kaynağına taşınmasından kaynaklanan masraflar yoktur. Çünkü, yakıt olarak rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanılır. Dağıtılmış üretimde, üretim kaynağı yüklerle daha yakın olduğu için hat kayıpları merkezi üretimdekinden daha az olur. Ayrıca, Dağıtılmış üretim sisteminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılırsa CO₂, CO ve SO₂ gibi gazların salınımı olmaz. Kaynaklardan birinde meydana gelebilecek bir arızadan dolayı sistemde çökme olmaz. Böyle bir durumda kaynaklar yükü paylaşabilir [37].

Klasik bir güç sisteminde, güç akışı iletim hatlarıyla ve indirici trafolarla dağıtım hatlarıyla merkez üretim istasyonundan son kullanıcıya doğru olur. Gerilim, üretim noktasından son kullanıcıya kadar yapılan iletimde gittikçe azalır. Fakat güneş ve rüzgar santrallerinden oluşan dağıtılmış üretim sistemleriyle, güç farklı noktalardan dağıtılmış biçimde sisteme enjekte edilir (Şekil 3.43). Böyle bir sistemde gerilim sürekli azalmaz. Şekil 3.44'deki gibi bağlantı noktasında artar ve diğer bağlantı noktasına kadar azalır [23].



Şekil 3.43 Rüzgar Çiftlikleriyle Dağıtılmış Üretim [23]



Şekil 3.44 Dağıtılmış Üretimde Gerilim Düşümü ve Yükselmesi [23]

Avrupa standardı EN-50160 'a göre alçak gerilim dağıtım noktasındaki gerilimin nominal gerilimin % ± 10 'u aralığında olması gerekir.

4. EKONOMİK ANALİZ

4.1 Önemli Finans Kriterleri

HOMER programı tarafından kullanılan ekonomik analiz kriterlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için bazı finansal terimlerin incelenmesi faydalı olacaktır.

4.1.1 Paranın Zaman Değeri

Finans yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için finans yöneticisinin çeşitli finansman ve yatırım alternatiflerini karşılaştırabilmesi gerekir. Bu alternatiflerin değerlendirilmesinde ise *paranın zaman değeri* önemli rol oynamaktadır.

Paranın zaman değeri, para akışlarının farklı zaman noktalarında olmasından kaynaklanır. Farklı zamanlarda alınan ya da verilen aynı miktardaki para, aynı değerde olmayacaktır, çünkü alınan ya da verilen paranın o günkü kullanım hakkından vazgeçilmesinin bir bedeli olmalıdır. Bu bedel, paranın değerinden doğmakta ve faiz olarak adlandırılmaktadır.

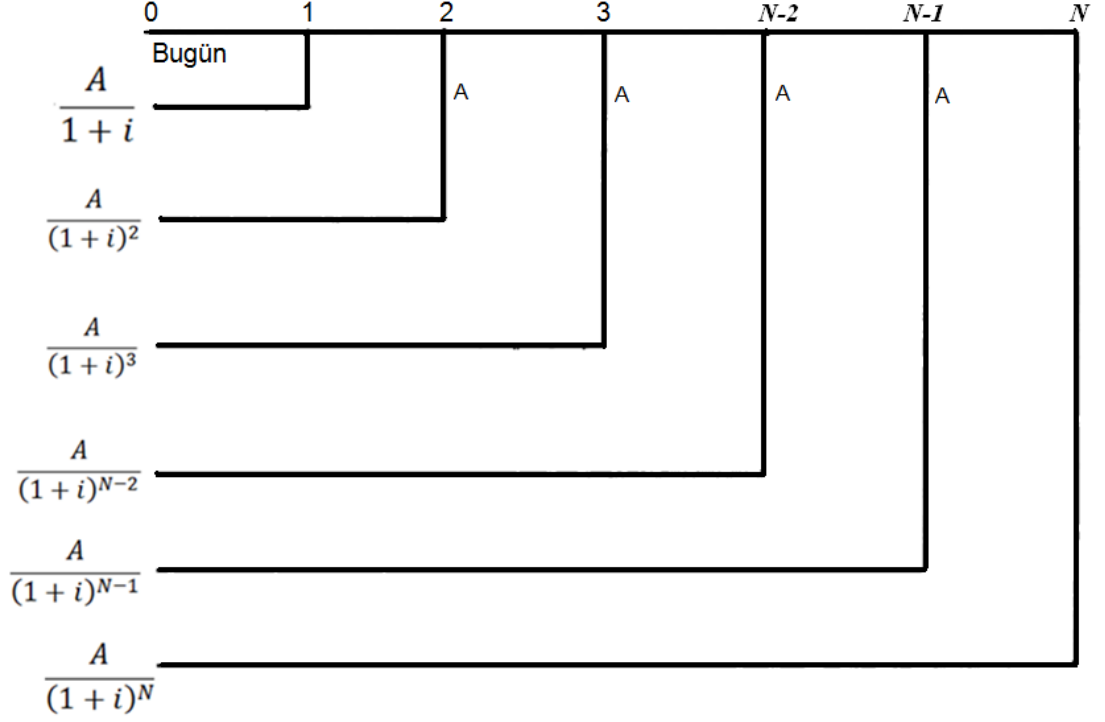
Zaman tercihindən doğan paranın zaman değeri, enflasyon nedeniyle para değerinin düşmesinden farklı bir kavramdır, çünkü enflasyon olmasa da paranın zaman değeri vardır. Diğer bir ifade ile enflasyon sıfır bile olsa, zaman tercihinin yansıtan bir bedelin olması gerekir [45].

4.1.2 Anüiteler

Eşit aralıklarla verilen ya da alınan eşit ödemeler serisine “anüite” denir. Kira ödemeleri, tahvil faizleri anüitelere örnek olarak verilebilir. Anüiteler, ödemeler serisinin başlama noktasına göre, devre başı ve devre sonu olarak gruplandırılır. Genellikle anüiteden bahsedilirken periyodik ödemelerin devre sonunda yapıldığı anüiteler kastedilmektedir. Eşit devre aralıklarının da genellikle bir yıl olduğu düşünülmektedir [45].

4.1.3 Anüitelerin Şimdiki Değeri

Belirli bir süre içerisinde her devre alınacak ya da verilecek eşit taksitlerin bugünkü değeri aşağıdaki Şekil 4.1'deki gibi hesaplanabilir.



Şekil 4.1 AŞD'nin Hesaplanması [45]

Şekilde belirtildiği gibi, taksitlerin bugünkü değeri, her bir ödemenin bugünkü değerlerinin toplanmasıyla bulunabilir. Bu yol, zaman alıcıdır. Kısaltmak için şöyle bir yol izlenebilir:

$$AŞD = \frac{A}{1+i} + \frac{A}{(1+i)^2} + \frac{A}{(1+i)^3} + \dots + \frac{A}{(1+i)^{N-2}} + \frac{A}{(1+i)^{N-1}} + \frac{A}{(1+i)^N} \quad (4.1)$$

Geometrik dizide terimlerin toplamını veren formülden faydalanarak

$$AŞD = \frac{A}{i+1} \times \frac{\left(\frac{1}{i+1}\right)^N - 1}{\left(\frac{1}{i+1}\right) - 1} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Buradan

$$AŞD = A \times \frac{(i+1)^N - 1}{(i+1)^N i} \quad (4.3)$$

bulunur.

A : anüiteyi

i : faiz oranını

N : vade sayısını belirtir.

4.2 Yıllık Gerçek Faiz Oranı

Yıllık gerçek faiz oranı (the annual real interest rate), tek seferlik maliyetler ile yıllık maliyetler arasında dönüşüm yapmak için kullanılan iskonto oranıdır. Denklem (4.4)'de belirtildiği gibi nominal faiz oranına bağlıdır [46].

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (4.4)$$

Bu denklemde;

i = gerçek(reel) faiz oranı

i' = nominal faiz oranı (borç alma faizi)

f = yıllık enflasyon oranıdır.

Türkiye için faiz oranı %15,25 (18.Şubat.2008'de açıklanan faiz oranı) ve enflasyon oranı %8,4 (2007 yılı enflasyonu) alınarak denklem (4.3)'e göre gerçek faiz oranı %6,3 bulunmuştur (18.Şubat.2008 de açıklanmış faiz oranları) [47,48].

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} = \frac{0,1525 - 0,084}{1 + 0,084} = 0,063 \text{ bulunur. HOMER programıyla yapılacak}$$

benzetimlerde bu değer kullanılacaktır (% 6,3). Çalışılan sistemlerin ekonomik kıyaslamasını yapmak için her sistemin (levelized) *Bir Değere Getirilmiş (levelized) Enerji Maliyeti* (COE) ve *Net Şimdiki Maliyeti* (NPC) hesaplanacaktır.

4.3 Bir Değere Getirilmiş Enerji Maliyeti

Bir Değere Getirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized Cost of Energy, COE), sistemin 1 yıllık toplam maliyetinin aynı süre içinde sağladığı güce oranıdır. COE'yi hesaplamak için HOMER yıllığa çevrilmiş üretim maliyetini toplam faydalı elektrik enerjisi üretim miktarına böler [46]. COE'yi ifade eden denklem aşağıdaki gibidir:

$$COE = \frac{C_{yil,top}}{E_{AC} + E_{DC} + E_{şeb,s}} \quad (4.5)$$

denklemden:

$C_{yil,top}$ = yıllığa indirgenmiş toplam sistem maliyeti [\$/yıl]

E_{AC} = beslenen AC yük miktarı [kWh/yıl]

E_{DC} = beslenen DC yük miktarı [kWh/yıl]

$E_{şeb,s}$ = şebekeye satılan elektrik miktarı [kWh/yıl]

$(C_{yil,top})$ Yıllığa indirgenmiş toplam maliyet, bütün sistem parçalarının yıllığa çevrilmiş maliyetlerinin ve diğer yıllığa çevrilmiş maliyetlerin toplamıdır. HOMER bu değeri, bir değere getirilmiş enerji maliyetini ve toplam net şimdiki maliyeti bulmak için kullanır [46].

4.4 Net Şimdiki Maliyet

Net Şimdiki Maliyet (Net Present Cost - NPC) bir projenin ne kadar kazançlı olduğu hakkında bilgi verir. Projenin NPC'si gelecek bütün para akışının gerçek faiz oranıyla indirgenmiş değeridir.

NPC metodunda, bütün gelirlerin şimdiki değeriyle bütün giderlerin şimdiki değeri karşılaştırılır. Bu para akışı farkları projenin uygun bir yatırım olması hakkında genel bilgi verir.

Toplam Net Şimdiki Maliyet HOMER'in en önemli ekonomik göstergesidir. HOMER sistemleri Net Şimdiki Maliyet değerlerine göre sıralar. Net Şimdiki Maliyet aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$COE = \frac{C_{yıl,top}}{CRF(i, R_{prj})} \quad (4.6)$$

denklemden:

$C_{yıl,top}$ = yıllığa indirgenmiş sistem maliyeti [\$/yıl]

CRF = anaparayı (kapital) geri kazanma faktörü

i = reel (gerçek) faiz oranı

R_{prj} = proje ömrü'dür.

Anaparayı geri kazanma faktörü (CRF - Capital Recovery Factor) yıllık gelir-gider akışının şimdiki değerini hesaplamak için kullanılan bir orandır. Hesaplanışı denklem (4.7)'de gösterilmiştir:

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4.7)$$

denklemden:

i = reel (gerçek) faiz oranı

N = yıl sayısı'dır.

Örnek: $i=7\%$ ve $N=5$ yıl için, anaparayı geri kazanma faktörü 0,2439'dur. %7 faizle alınan 1000 YTL'lik borç 243,9 YTL'lik 5 parça halinde yıllık ödenecektir. Bu durumda 5 parçaya bölünmüş yıllık 243,9 YTL ödemenin şimdiki net değeri 1000 YTL'dir.

4.5 Artık Elektrik

Artık elektrik (the excess electricity), yenilenebilir kaynak veya jeneratör tarafından üretilen enerjinin yükten daha büyük olmasıyla ortaya çıkan ve akülerin depolayamadığı fazla enerjidir.

Bazen artık elektrik termal yükleri beslemek amacıyla rezistans vasıtasıyla kullanılabilir. HOMER’da bu tip bir termal yükü modellemek için Kazan Girişi (Boiler Inputs) penceresi kullanılarak artık elektriğin termal yükü besleyebileceği seçeneği işaretlenir [46].

Eğer kullanılmıyorsa artık elektriğin yok edilmesi gerekir. Bunun için basit ısıtıcı veya akkor telli lambalar gibi direnç karakteristikli boş yükler (*dump load*) kullanılmalıdır. HOMER, artık elektriğin çizelgesini saatlik verilere göre yapar. Simülasyon sonuçları penceresinde saatlik ve yıllık toplam değerler gösterilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde, artık elektrik şebekeye satılarak enerji maliyeti azaltılabilir.

5. HOMER BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI

5.1 HOMER'ın Tanıtımı

Mikrogüç Optimizasyon Modeli HOMER, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji (NREL) laboratuvarı tarafından mikrogüç sistemleri tasarımı yapmak ve güç üretim sistemleri teknolojilerini karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. HOMER, güç sisteminin toplam kurulum ve işletme maliyetleri anlamına gelen fiziksel davranışını ve çalışma süresindeki maliyetini modeller. HOMER modelleme yapan kişiye teknik ve ekonomik değerlere bağlı olan birçok farklı tasarım imkânı sunar. Ayrıca, giriş verilerindeki belirsizliklerin ve değişikliklerin etkilerini anlamaya ve sayısallaştırmaya yardımcı olur.

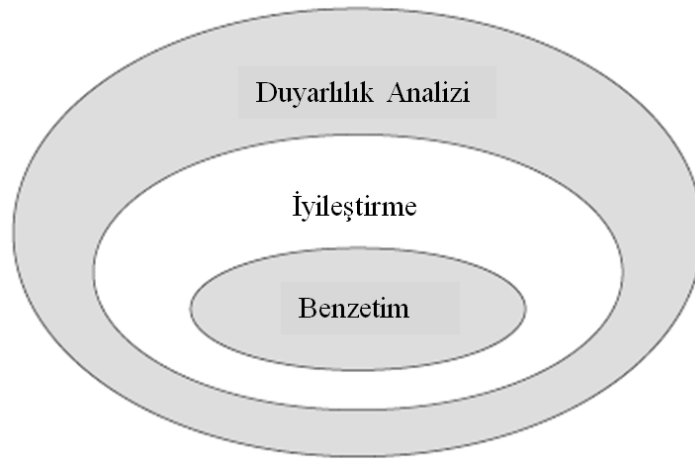
Yakındaki bir yükü karşılamak için elektrik veya ısı üreten bir sisteme mikrogüç sistemi denir. Böyle bir sistem çeşitli elektrik üretimi ve depolama teknolojileri kombinasyonlarını kullanabilir. Şebekeye bağlantılı veya şebekeden ayrı olabilir. Uzaktaki bir yükü besleyen güneş-batarya sistemi, uzaktaki (izoleli, ayrık) bir köyü besleyen rüzgar-dizel sistemi ve bir fabrikaya ısı ve elektrik sağlayan şebeke bağlantılı doğalgaz mikrotürbini mikrogüç sistemlerinin örnekleridir. Yüksek gerilim iletim sistemine elektrik sağlayan bir güç sistemi mikrogüç sistemi olarak değerlendirilmez. Çünkü belirli bir yüke yönelik değildir. HOMER şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız mikrogüç sistemlerini modelleyebilir. Elektrik ve ısı yükleri besleyen bu sistemler PV modülleri, rüzgar türbinleri, küçük hidro, biyokütle gücü, jeneratörler, mikrotürbinler, yakıt hücreleri, aküler ve hidrojen depolarından oluşabilir.

Mikrogüç sistemlerinin analiz ve tasarımı büyük sayıda tasarım opsiyonu (seçeneği) ve ana parametrelerdeki belirsizliklerden (yükün büyüklüğü ve gelecekteki yakıt fiyatları gibi) dolayı zordur. Yenilenebilir enerji kaynakları sistem tasarımını daha da zorlaştırır çünkü güç çıkışları mevsimlere göre aralıklarla değişken olabilir ve yenilenebilir kaynakların miktarları değişebilir. HOMER bu zorluklar düşünülerek tasarlanmıştır [37].

HOMER, simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve duyarlılık analizi olmak üzere üç temel görev yapar.

Simülasyon(benzetim) sürecinde, HOMER sistemin teknik açıdan mümkünliğini ve ömür boyu maliyetini tespit etmek için çeşitli parçalardan oluşan bir mikrogüç sistemi konfigürasyonunun performansını yılın her saati için modeller. Optimizasyon sürecinde, HOMER çok farklı sistem yapılandırmalarının en düşük ömür boyu maliyetli teknik sınırları karşılayacak şekilde benzetimini yapar. Duyarlılık analizi sürecinde HOMER, model giriş verilerindeki değişikliklerin veya belirsizliklerin etkilerini ayarlamak amacıyla giriş verilerinin belirli aralıklarda değer alacağı düşünülerek bu geniş alan için çoklu optimizasyonlar uygular. Optimizasyon, sistem tasarımcısının kontrolünde olan (sistemi oluşturan parçaların miktarları ve büyüklükleri gibi) değişkenlerin en uygun değerlerini tespit eder. Duyarlılık analizi ortalama rüzgar hızları veya gelecekteki yakıt fiyatları gibi tasarımcının kontrolünde olmayan değişkenlerin etkisi hakkında yardımcı olur.

Şekil 5.1’de benzetim, iyileştirme ve duyarlılık analizi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Optimizasyon yuvarlağının simülasyon yuvarlağını kapsamaması bir optimizasyonun birden çok simülasyondan oluştuğunu gösterir. Benzer şekilde, duyarlılık analizi yuvarlağının optimizasyon yuvarlağını kapsamaması bir duyarlılık analizinin birden çok optimizasyondan oluştuğunu gösterir. [37]



Şekil 5.1 Benzetim, İyileştirme ve Duyarlılık Analizi Arasındaki İlişki [37]

Giriş verilerindeki karmaşıklığı sınırlamak ve hesaplamaları hızlandırmak için ve optimizasyon ve duyarlılık analizlerini pratikleştirmek için HOMER’ın benzetim

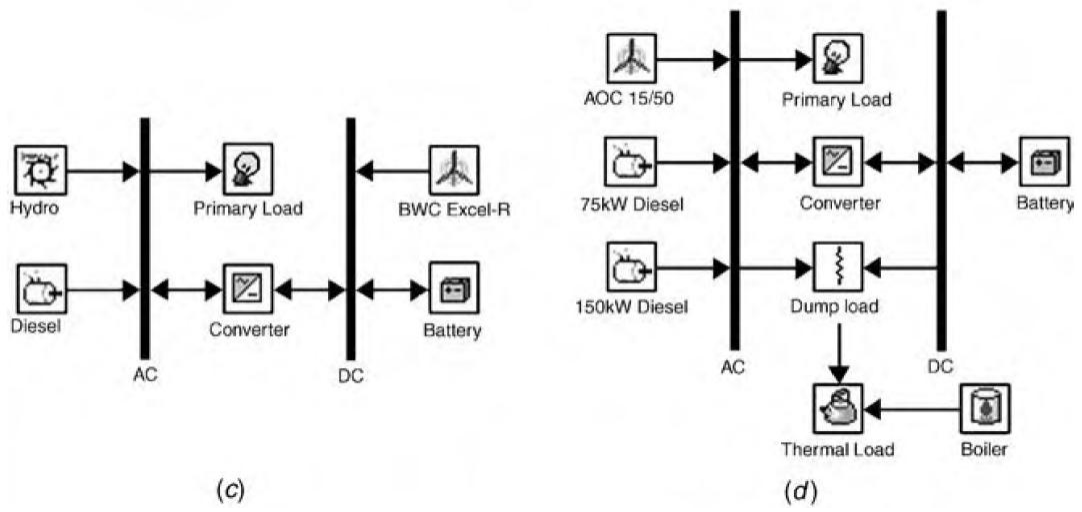
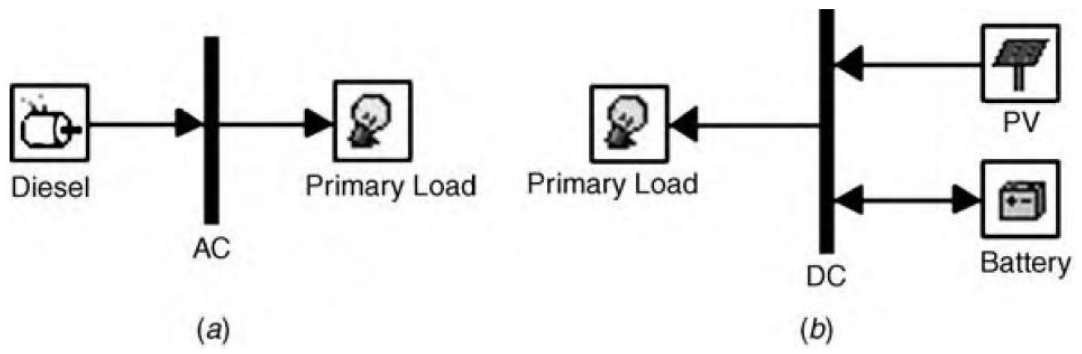
mantığı; Hybrid2, PV-DesignPro ve PV*SOL gibi benzer programlardan daha detaysızdır. Fakat, RETScreen programından daha detaylıdır. Bütün bu programlarla kıyaslandığında HOMER benzetim yapabilecek sistem çeşidi bakımından en esnek olanıdır [37].

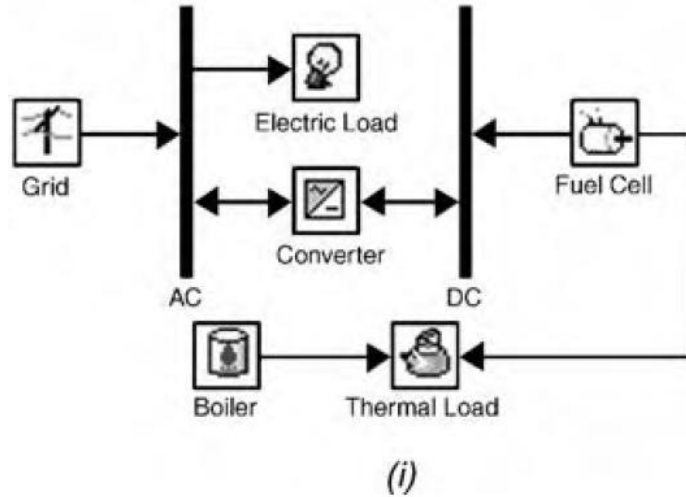
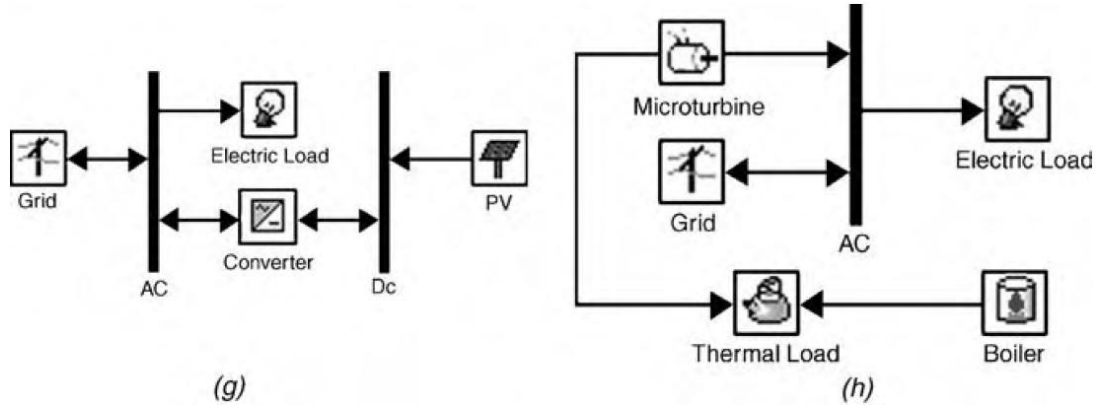
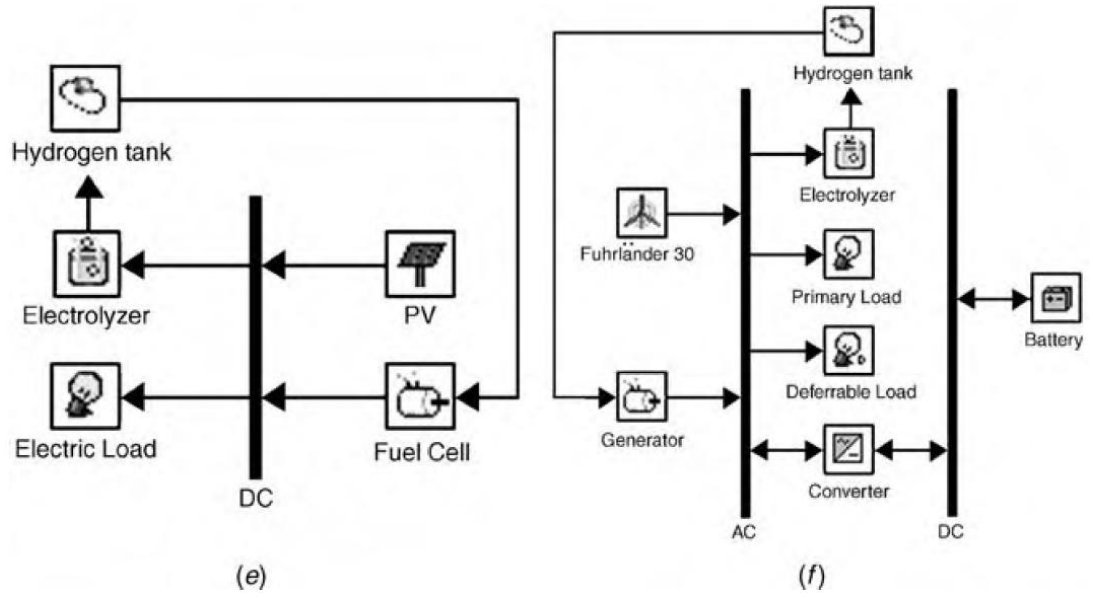
5.2 Bilgisayar Benzetimi

HOMER'in temel yeteneği bir mikrogüç sisteminin uzun süre çalışmasının benzetimini yapmaktır. Üst seviye yetenekleri de benzetim üzerine kurulu olan optimizasyon ve duyarlılık analizidir. Benzetim süreci, farklı parçalardan oluşan sistem yapılandırmasını, yani farklı miktarlarda parçalardan oluşmuş sistem kombinasyonlarının ve bu parçaların beraber çalışma biçimlerinin uzun bir çalışma süresi boyunca nasıl tanımlanacağını belirler [37].

HOMER çok çeşitli mikrogüç sistemi yapılandırmalarının benzetimini yapabilir. Bu sistemler PV dizilerinden, bir veya iki çeşit rüzgar türbininden, akarsu hidro-türbininden, üç taneye kadar farklı jeneratör tipinden, bir batarya bankından, ac-dc ve dc-ac dönüştürücülerden, elektrolizörden ve hidrojen tankından oluşabilir. Sistem; şebekeye bağlı veya şebekeden ayrı ac ve dc elektrik yüklerini ve bir ısı yükü besleyebilir. Şekil 5.2'de HOMER'in modelleyebileceği farklı tipte güç sistemlerinin örnekleri gösterilmiştir.

Benzetim sürecinin 2 amacı vardır: İlk olarak, sistemin uygunluğu, mümkünlüğü ve uygulanabilirliği belirlenir. HOMER, sistemin elektriksel ve ısı yükleri besleyebileceğini belirler (kullanıcı tarafından belirlenen kapasite açığı sınırlarına uygun olarak). İkincisi, sistemin ömür boyu maliyetini yani sistemin kurulum ve ömrü boyunca çalışma maliyetlerinin toplamını belirler. Ömür boyu maliyet değişik sistemlerin ekonomik bakımdan kıyaslanabilmesi için uygun bir ölçüttür. Bu karşılaştırma HOMER'in uygunlaştırma (optimizasyon) sürecinde yapılır.





Şekil 5.2 HOMER'ın modelleyebileceği mikrogüç sistemlerinden bazılarının Şematik Çizimleri: (a) bir alternatif elektrik yükünü besleyen dizel sistem; (b) bir dc yükü besleyen PV-akü sistemi; (c) batarya yedeklemeli ve ac-dc dönüştürücülü hibrit hidro-rüzgar-dizel sistemi; (d) elektrik ve termal yükü besleyen, rüzgar türbinin ürettiği fazla enerjiyi rezistanslı

ısıtıcıya aktaran rüzgar-dizel sistemi; (e) elektrolizörle fazla PV gücünü hidrojene çeviren ve PV gücünün yetmediği durumlarda hidrojen takında biriken hidrojeni kullanan yakıt hücreli PV-hidrojen sistemi; (f) yedekleme için hem batarya hem de hidrojen kullanan, ayrıca hidrojenin içten yanmalı motorlu jeneratörde yakıt olarak kullanıldığı bir rüzgar enerjisi sistemi; (g) şebekeye bağlı bir PV sistemi; (h) şebeke bağlantılı mikrotürbinin hem elektrik hem de ısı ürettiği kombine ısı ve güç sistemi (combined heat and power); (ı) şebeke bağlantılı, yakıt hücresinin elektrik ısı sağladığı kombine ısı ve güç sistemi [37].

HOMER farklı parçalardan oluşan bir sistemin tüm yıl boyunca çalışmasının benzetimini saatlik zaman serilerini kullanarak yapar. HOMER sistem benzetimini; saatlik basamaklar halinde, yenilenebilir güç miktarını hesaplayarak, elektrik yükü ile karşılaştırmasını yapar ve yenilenebilir enerjinin fazlalığı durumunda ne yapılması gerektiğine veya enerji açığı olması durumunda ise ilave enerji üretmenin mi şebekeden satın alınmanın mı daha iyi olacağına karar verir. Bir yıl için sonuçların hesaplanmasından sonra, HOMER beslenebilen enerji talebi oranı, yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen enerjinin toplam enerjiye oranı veya belirli gazların emisyon miktarları gibi kullanıcının belirlediği kısıtlamalara göre sistemin istenilen sınırlar içinde olup olmadığını belirler. HOMER sistemin ömür boyu maliyetinin hesaplanması için gereken yıllık yakıt tüketimi, yıllık jeneratör çalışma saati, tahmini batarya ömrü veya şebekeden satın alınan yıllık enerji miktarı gibi değerleri de hesaplar [37].

HOMER'ın, sistemin ömür boyu maliyetini göstermek için kullandığı kavram "*toplam net şimdiki maliyet*"dir (NPC). Bu tek değer, proje ömrü boyunca oluşan bütün gelirlerin ve giderlerin, gelecekte oluşan para akışının şimdiki zamana indirgenmesi yöntemiyle dahil edildiği değerdir.

Toplam net şimdiki maliyet, sistem parçalarının ilk yatırım maliyetlerini, proje ömrü boyunca oluşan parça değişim maliyetlerini, bakım ve yakıt maliyetlerini ve şebekeden alınan enerjinin maliyetini içerir. Şebekeye satışla elde edilen gelirler NPC'yi azaltır. NPC'nin hesaplanması ekonomik analiz kısmında anlatılmıştır.

Birbirinden bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan birçok güç sistemi tipi için bir saatlik bir zaman dilimi, modellemenin doğruluğu açısından yeterlidir. HOMER'ın çok daha küçük zaman dilimi gerektiren anlık elektriksel değişimleri ve diğer dinamik etkileri modellemediği unutulmamalıdır.

HOMER, yükteki artış veya yaşlanmayla birlikte batarya performansının kötüleşmesi gibi değişiklikleri de hesaplayamaz. Fakat tasarımcı tarafından duyarlılık analizi ile bu şartların etkileri analiz edilebilir [37].

5.3 İyileştirme

İyileştirme (optimizasyon) sürecinde en uygun sistem yapılandırması belirlenir. HOMER’da en mümkün veya en uygun sistem yapılandırması, kullanıcı tarafından belirlenen sınırları karşılayabilecek durumda olan ve en düşük toplam net şimdiki değere sahip olanıdır. En uygun sistem yapılandırmasını bulmak için HOMER birçok farklı sistem yapılandırmasının benzetimini yaptıktan sonra (kullanıcının belirlediği sınırlara uygun olmak üzere) uygun olanlarını toplam net şimdiki değerlerine göre sıraya koyar. En düşük net şimdiki değere sahip olan yapılandırma en uygundur.

İyileştirme sürecinin amacı tasarımcıya karar değişkenlerinin en uygun değerini vermektir. HOMER’deki olası karar değişkenleri şunlardır:

-PV dizisi büyüklüğü

-Rüzgar türbini sayısı

-Hidro enerji sisteminin varlığı(HOMER sadece bir büyüklükteki akarsu enerjisi sistemini modelleyebilir)

-Her jeneratörün büyüklüğü

-Batarya sayısı

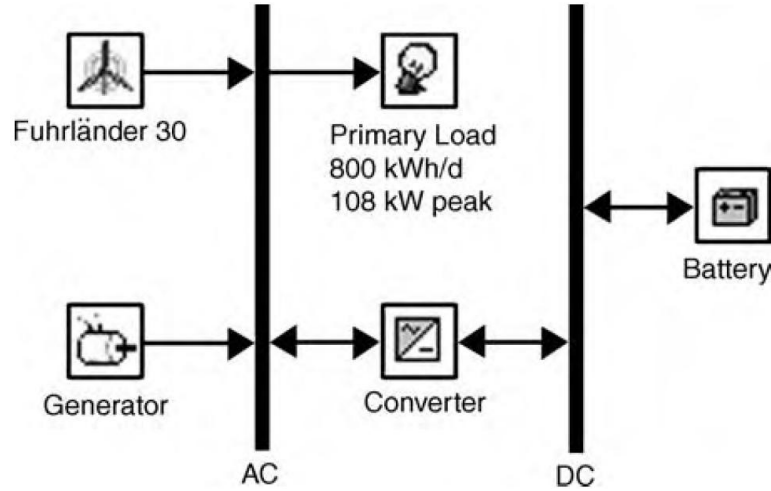
-Ac-dc dönüştürücülerin büyüklüğü

-Elektrolizör büyüklüğü

-Hidrojen deposu büyüklüğü

Optimizasyon, tasarımcıya birçok olasılıktan oluşan sistem yapılandırmasının en uygununu bulmaya yardım eder. Örneğin, mevcut dizel enerji sistemine rüzgar türbini ve batarya eklenirse oluşan model Şekil 5.3’teki gibi olur. Analizin yapılabilmesi için tasarımcının sistem parçalarının miktarlarını belirlemesi gerekir. Fakat, kullanıcının kaç sayıda türbinin, kaç sayıda bataryanın ve ne büyüklükteki bir

dönüştürücünün sistemin ömür boyu maliyetini en aza indireceğini bilmesi zordur. Bu uç değişken bu yüzden karar değişkenleri olarak adlandırılır [37].



Şekil 5.3 Rüzgar-Dizel Sistemi [37]









































































HOMER, tasarımcının farklı miktarlarda karar değişkeni girebilmesini sağlar. Şekil 5.4'teki tabloda gösterildiği gibi, kullanıcı farklı sayıda karar değişkeni kullanabilir. Şekil 5.4'teki örnekte rüzgar türbini için 5, mevcut jeneratör için 1, bataryalar için 7, dönüştürücüler için 4 farklı miktar kullanılmıştır. Bu miktarlara göre HOMER'ın benzetim yapıp değerlendireceği yapılandırma sayısı 140 'dır ($5 \times 1 \times 7 \times 4$).

	FL30 (Quantity)	Gen (kW)	Batteries (Quantity)	Converter (kW)
1	0	135.00	0	0.00
2	1		16	30.00
3	2		32	60.00
4	3		48	120.00
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				


















Şekil 5.4 140 Farklı Sistem Yapılandırmasından Oluşan Araştırma Tablosu($5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$) [37]

Şekil 5.5'de örnek rüzgar-dizel sisteminin en uygun toplam net şimdiki maliyetlerine göre sıralanması gösterilmiştir. Şekildeki tablonun birinci satırında en düşük net

şimdiki maliyetli yani en uygun sistem yapılandırması vardır. Bu sistemde 1 adet rüzgar türbini, 135 kW'lık jeneratör, 64 adet akü ve 30 kW'lık dönüştürücü vardır. İkinci sıradaki sistemde bir yerine iki adet rüzgar türbini vardır. Üçüncü sistemde ise türbin sayısı aynı olup daha az batarya vardır.

				FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
				1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
				2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
				1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
				2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
				2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
				2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
				2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
					135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
				1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
					135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
				1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
				2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
				2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
				2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
				2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
				1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613
					135	96	30	\$ 118,500	\$ 912,410	0.293	101,003	5,330

Şekil 5.5 Toplam Net Şimdiki Maliyetlere Göre Sıralanmış Optimizasyon Sonuçları Tablosu [37]

				FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
				1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
					135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
					135			\$ 0	\$ 996,273	0.320	132,357	8,760
				1	135			\$ 130,000	\$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

Şekil 5.6 Sınıflanmış Optimizasyon Sonuçları Tablosu [37]

Şekil 5.6'de optimizasyon sonuçlarının sınıflanmış listesi gösterilmiştir. Bu listede her sistem kategorisindeki en uygun yapılandırmalar gösterilerek kullanıcıya kolaylık sağlanmaktadır.

Şekil 5.6'ya göre mevcut dizel sisteme rüzgar türbini ve bataryanın eklenmesinin sistemin ömür boyu maliyetini azalttığı görülmektedir. Rüzgar türbinli sistemin yatırım maliyeti 216500 \$ olup net şimdiki maliyeti 849905 \$'dır. Bu maliyet, mevcut dizel sistemin net şimdiki maliyetinden 146368 \$ daha azdır (Dizel sistem mevcut olduğu için yatırım maliyeti sıfırdır.) [37].

5.4 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, sistem çıkışının giriş verilerindeki değişimlere ne kadar duyarlı olduğunu gösterir.

Duyarlılık analizinde kullanıcı bir giriş değişkeni için birden çok değer girer. Kullanıcının birden çok değerde girdiği değişkene “*duyarlılık değişkeni*” denir. Karar değişkeni olmayan bütün değişkenler HOMER’da duyarlılık değişkeni olabilir. Şebeke enerjisi fiyatı, yakıt fiyatı, reel faiz oranı veya PV dizisinin ömrü duyarlılık değişkeni örnekleridir.

HOMER’da duyarlılık değişkenlerinin her biri ayrı bir duyarlılık durumunu belirtir. Örneğin, kullanıcı şebeke enerji fiyatı için 6 farklı değer ve reel faiz oranı için 4 farklı değer kullanırsa 24 adet ayrı duyarlılık durumu oluşur. HOMER her duyarlılık durumu için ayrı optimizasyon süreçleri uygular ve sonuçları tablo ve grafik biçimlerinde gösterir.

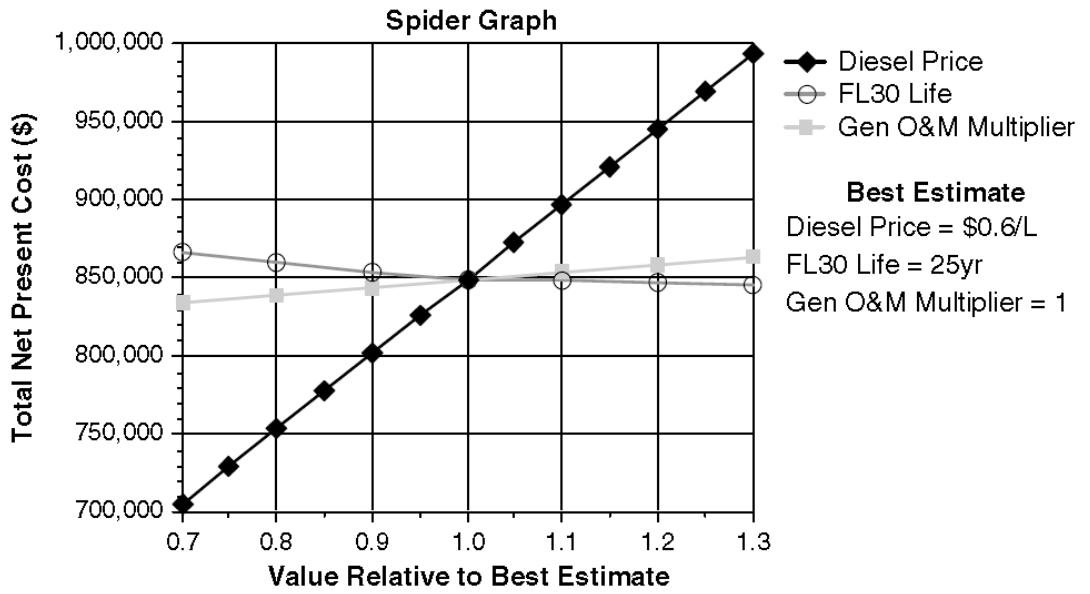
Duyarlılık analizinin öncelikli görevi belirsizliklerle ilgilenmektir. Kullanıcı, emin olmadığı değişkenleri belirli aralıklarda değişecek biçimde kullanabilir ve sonuçların farklı değerlere göre nasıl değiştiğini görebilir [37].

5.4.1 Belirsizliklerle İlgilenilmesi

Duyarlılık analizi, belirsizliklere rağmen kullanıcının karar vermesini kolaylaştırır. Örneğin, önceki bölümdeki rüzgar-dizel sistemi analizi düşünülün. Bu örnek analizde, tasarımcı tarafından dizel fiyatının litresinin 25 yıl (proje süresi) boyunca 0,60 \$ olacağı düşünüldü. Dizel fiyatı belirsiz bir değişken olup rüzgar türbin ömrü, rüzgar hızları, dizel motorun bakım masrafları gibi diğer değişkenler de belirsiz olabilir.























































Şekil 5.7’deki grafikte üç değişkene bağlı bir duyarlılık analizinin sonucu gösterilmiştir. Bu analizde modelleyici, rüzgar-dizel sistemin yapılandırmasını Şekil

5.5'deki tablonun birinci satırındaki sisteme göre düzeltmiştir, fakat üç giriş parametresi için çoklu değerler girmiştir. Bu parametreler; yakıt fiyatı, rüzgar türbini ömrü ve jeneratör işletme-bakım maliyetidir. Her değişken için tasarımcı en uygun tahminin $\pm\%30$ aralığında değerler kullanmıştır. Üç eğrinin bağıl eğimine bakıldığı zaman toplam NPC'nin yakıt fiyatına duyarlılığının diğer iki değişkene duyarlılığından daha fazla olduğu görülmektedir. Böyle bir bilgi, sistem tasarımcısının belirsizlik aralıklarını ve uygunluk sınırlarını belirlemesine yardım eder [37].



Şekil 5.7 Üç Değişkene Bağlı Bir Duyarlılık Analizinin Grafiği [37]

Bir duyarlılık analizi, optimizasyonu kapsayabilir. Şekil 5.8'de rüzgar-dizel örnek sistemin ikinci bir duyarlılık analizi sonucu gösterilmiştir. Tasarımcı Şekil 5.7'de gösterilen analizle hangi belirsiz değişkenin daha önemli olduğunu öğrenen tasarımcı, Şekil 5.8'deki analizde farklı yakıt fiyatları kullanarak modelleme yapmıştır. Bu yöntemle en uygun sistem tasarımındaki NPC'nin yakıt fiyatıyla değişimi belirlenmiştir. Şekil 5.8'deki sonuçlarda yakıt fiyatının artmasıyla birlikte en uygun sistemin dizel-batarya sisteminden rüzgar-dizel –batarya sistemine dönüştüğü görülmektedir. Yakıt fiyatının daha da artmasıyla rüzgar türbini sayısının arttığı görülmektedir. Şekil 5.8'deki ok, 0,60 \$/L yakıt fiyatlı senaryo için en uygun durumu gösteren satıra dikkat çekmektedir.

Diesel (\$/L)					FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Total NPC
0.420						135	48	30	\$ 688,679
0.450						135	48	30	\$ 721,987
0.480					1	135	64	30	\$ 753,695
0.510					1	135	64	30	\$ 777,748
0.540					1	135	64	30	\$ 801,800
0.570					1	135	64	30	\$ 825,852
→ 0.600					1	135	64	30	\$ 849,905
0.630					2	135	64	30	\$ 872,093
0.660					2	135	64	30	\$ 889,525
0.690					2	135	64	30	\$ 906,957
0.720					2	135	64	30	\$ 924,389
0.750					2	135	64	30	\$ 941,821
0.780					2	135	64	30	\$ 959,253

Şekil 5.8 Yakıt Fiyatına Göre En Uygun Sistem Yapılandırmalarını Gösteren Duyarlılık Sonuçları [37]

Şekil 5.9’da 0,42 \$/L Yakıt Fiyatlı Duyarlılık Durumu İçin Optimizasyon Sonuçları gösterilmiştir. 0,60 \$/L fiyatlı durumdaki en uygun sistem yapılandırması, bu sefer toplam net şimdiki maliyeti 705590 \$ ile 3. sırada yer almıştır [37].

				FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Total NPC
					135	48	30	\$ 688,679
					135	64	30	\$ 690,550
				1	135	64	30	\$ 705,590
				1	135	48	30	\$ 705,704
					135	32	30	\$ 708,090
					135	96	30	\$ 718,337

Şekil 5.9 0,42 \$/L Yakıt Fiyatlı Duyarlılık Durumu İçin Optimizasyon Sonuçları [37]

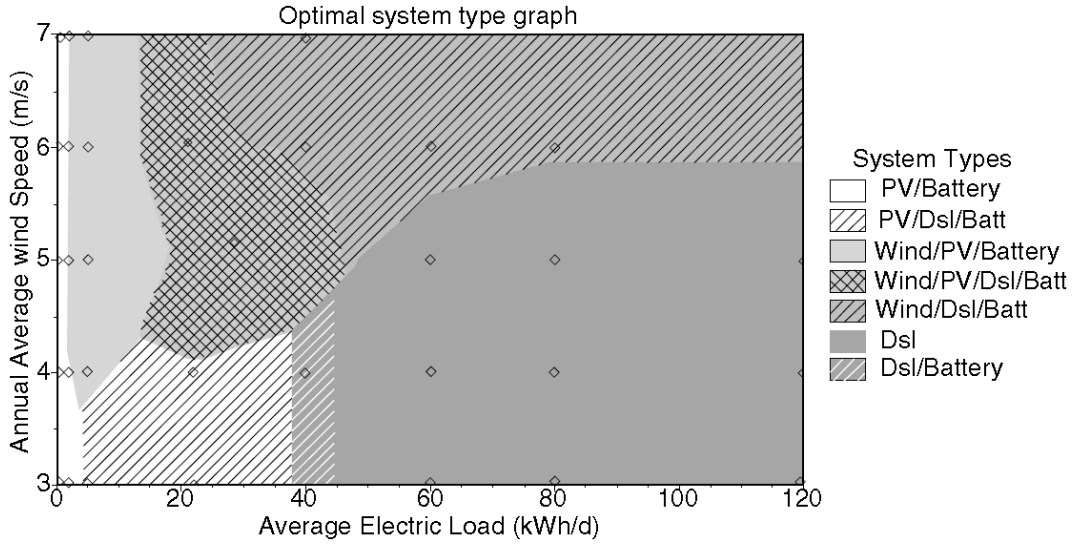
5.4.2 Saatlik Veri Kümelerinde Duyarlılık Analizi

HOMER'in en önemli yeteneklerinden birisi de elektrik yükü ve güneş, rüzgar, akarsu veya biyokütle kaynakları gibi saatlik veri kümeleri üzerinde duyarlılık analizi yapabilmesidir. HOMER'da böyle bir duyarlılık analizi yapmak için ölçekleme değişkenleri kullanılır. Her bir veri kümesi, belirli ortalama değere sahip 8760 değer içerir. Fakat tasarımcı bu veri kümelerinin ortalamalarını aşağıya veya yukarıya doğru ölçeklendirebilir. Örneğin, kullanıcı yıllık ortalaması 120 kWh/gün olan saatlik yük verisini, ölçekleme değişkeniyle 100,150 ve 200 kWh/gün yapabilir. Bu durumda HOMER yük verilerini ölçeklendirerek birincisini 100 kWh/gün, ikincisini 150 kWh/gün ve sonuncusunu 200 kWh/gün yapacaktır. Bu ölçekleme sürecinde günlük yük şekli, mevsimsel yapı ve herhangi bir istatistiksel özellik değiştirilmeden yük verisi kümesinin genlikleri değiştirilir. HOMER yenilenebilir kaynak verilerini de aynı biçimde ölçekler [37].

Şekil 5.10'da yükün değişimi ve yıllık ortalama rüzgar hızının değişimi ile yapılan duyarlılık analizinin sonuçları gösterilmiştir. Bu örnekte tasarımcı ortalama elektrik yükü için sekiz ve yıllık ortalama rüzgar hızları için beş farklı değer kullanmıştır. Grafiğin eksenleri bu iki değişkene karşılık gelmektedir. 40 adet duyarlılık durumunun her biri için, HOMER 5000 den fazla sistem yapılandırması için optimizasyon gerçekleştirmiştir. Grafikteki dörtgenler bu duyarlılık durumlarını gösterir ve her dörtgenin rengi o duyarlılık durumu için en uygun sistem tipini

belirir. Örnekte ortalama yükün 22 kWh/gün ve ortalama rüzgar hızının 4 m/s olduğu durum için en uygun sistemin PV-dizel-batarya sistemi olduğu görülmektedir. HOMER, dörtgenler arasındaki bütün noktadaki en uygun sistem tipini belirlemek için iki boyutlu lineer interpolasyon (sayısal analiz) kullanır [37].

Şekil 5.10'daki grafikte bu analizde düşünülen değerlere göre, çok küçük sistemler için rüzgar hızına bağlı olmadan PV-batarya sisteminin en uygun olduğu görülmektedir. Yüksek rüzgar hızlarında, yük miktarının artmasıyla en uygun sistem tipinin rüzgar-PV-batarya, rüzgar-PV-dizel-batarya ve son olarak rüzgar-dizel-batarya olduğu görülmektedir [37].



Şekil 5.10 En Uygun Sistem Tipi Grafiği [37]

Bu bölümde anlatılan yöntemlerin kullanılmasıyla, HOMER'dan daha etkin biçimde yararlanılır. Sonraki bölümde; HOMER programı kullanılarak, Gökçeada için farklı senaryolarda sistem maliyetleri incelenecektir.

6. GÖKÇEADA İÇİN SENARYOLAR

Bu bölümde Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının farklı seçeneklerle karşılanması için çeşitli senaryolar düşünülerek her bir senaryo için enerji maliyeti ve toplam net şimdiki maliyet bulunacaktır. Bu tezdeki para birimleri dönüşümleri ve yakıt fiyatları için Tablo 6.1'deki değerler kullanılacaktır. Bu değerler 04/04/2008 tarihinde alınan değerlerdir.

Tablo 6.1 Benzetimlerde Kullanılacak Değerler [49,50]

Dolar (YTL)	Euro (YTL)	Motorin (YTL)	Motorin (\$)
1,286	2,022	2,89	2,247278

HOMER benzetimlerinde kullanılacak sistem maliyetleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Benzetimlerde; personel giderleri, nakliye masrafları, arsa kirası veya bedeli, vergiler ve diğer masraflar ihmal edilmiştir. PV paneller, aküler, eviriciler ve şarj regülatörleri gibi parçalar ideal çalışma durumlarında masrafsız olmalarına rağmen; benzetimlerde senelik işletme ve bakım maliyetleri için 10 \$ kullanılacaktır. İşletme ve bakım maliyetlerinin gerçekte belirsiz değerler olduğu düşünülürse, bu yaklaşımla işletme ve bakım masrafları ihmal edilmeyerek, benzetimlerde kullanılabilir.

Senaryolarda sistemlerin ekonomik açıdan kıyaslaması yapılmış olup; kararlılık, enerji kalitesi ve harmonikler gibi ölçütler ihmal edilmiştir. Şebekeye bağlantılı sistemlerde, sistem kararlılığı ve güvenilirliği açısından bağlantı noktasının (trafo merkezinin) kısa devre gücü de önemli bir etkidir ve senaryolarda ihmal edilmiştir.

Tablo 6.2 Benzetimlerde Kullanılacak Sistemlerin Maliyetleri

		Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme&Bakım Maliyeti (\$/yıl)
PV Panel	1 kW	7000	7000	10
Akü	1 adet	1500	1500	10
Konvertör (Evirici+Doğrultucu+Şarj Regülatörü)	1 kW	1000	1000	10
Dizel Jeneratör	150 kW	30000	24000	3 (\$/saat)

6.1 Ada Çalışması

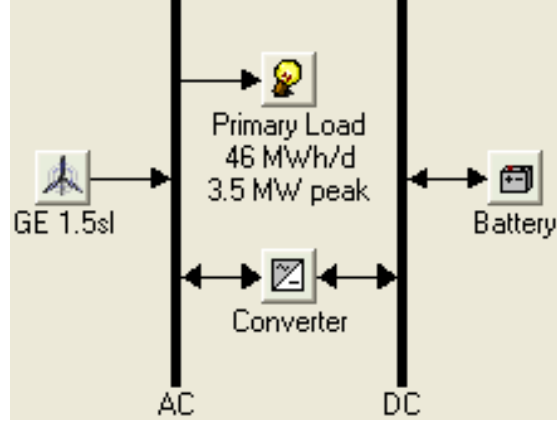
Ada çalışması durumunda Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının tamamıyla yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması durumu için benzetimler yapılmıştır. Ayrıca dizel jeneratör ile ada çalışması durumu da bu bölümde incelenecektir.

6.1.1 Rüzgar Enerjisi Sistemi

Rüzgar hızları günün her zamanı için türbinlerin elektrik üretmeye başlayacağı hıza erişmeyebilir. Ayrıca rüzgar hızının elektrik ihtiyacını karşılayacak güç için yeterli olmayacağı durumlar olabilir. Bunun için ada çalışması durumunda yedek güç için akü-konvertör sisteminin de kullanılması gerekir.

Ayrıca yapılan deneme amaçlı benzetimlerde rüzgar hızının her zaman yeterli olmadığı ve buna bağlı olarak sadece rüzgar türbini kullanılarak yükün tamamının beslenemediği görülmüştür.

6.1.1.1 GE 1.5l Türbini Kullanılarak Yapılan Benzetim



Şekil 6.1 Sistemin HOMER modeli

GE 1.5l türbininin anma gücü 1,5MW dır. Yatırım maliyetinin kW başına 1000\$ olduğu öngörülerek bir türbin için maliyet $1500 \times 1000 = 1500000$ \$ olarak düşünülmüştür. Senelik işletme-bakım maliyeti olarak da yatırım maliyetinin 2% si (30000\$) düşünülmüştür [17].

Homer programının çıktıları aşağıda verilmiştir.

Sistem Yapısı

Wind turbine: 7 GE 1.5sl
Battery: 9,500 Hoppecke 20 OPzS 2500
Inverter: 3,500 kW
Rectifier: 3,500 kW

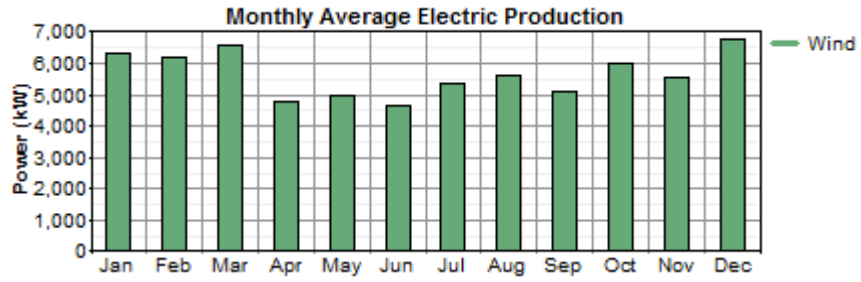
Maliyet Özeti

Total net present cost: 32,537,056 \$

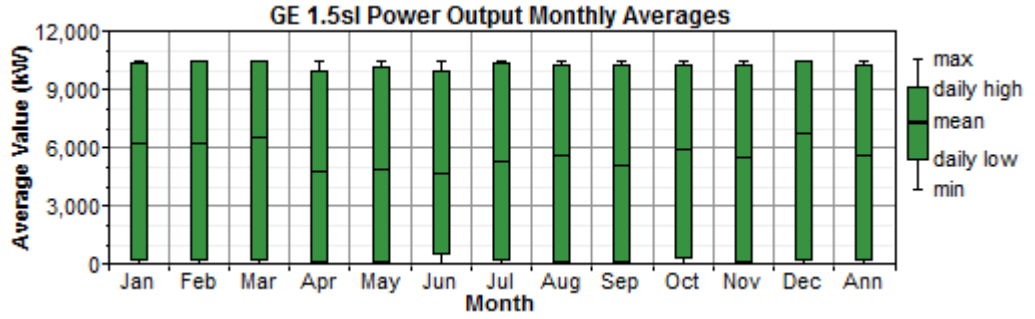
Levelized cost of energy: 0.174 \$/kWh

Tablo 6.3 Maliyet Açılımı

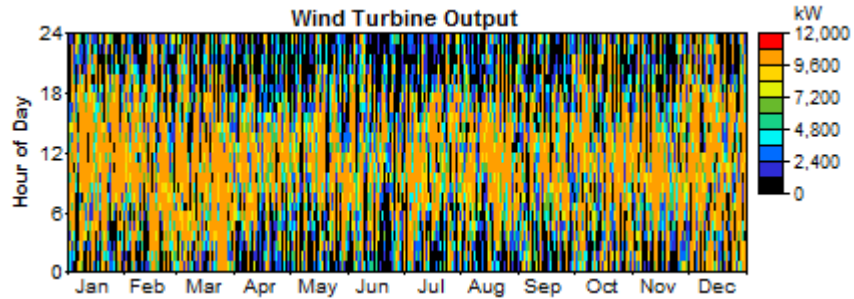
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
GE 1.5sl	10,500,000	937,858	0	210,000	0	1,147,858
Battery	14,250,000	1,272,807	42,919	95,000	0	1,410,726
Converter	3,500,000	312,619	0	35,000	0	347,619
Totals	28,250,000	2,523,284	42,919	340,000	0	2,906,203



Şekil 6.2 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

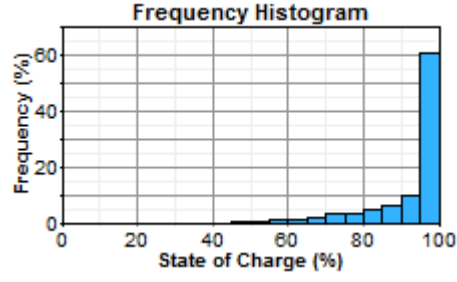


Şekil 6.3 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları

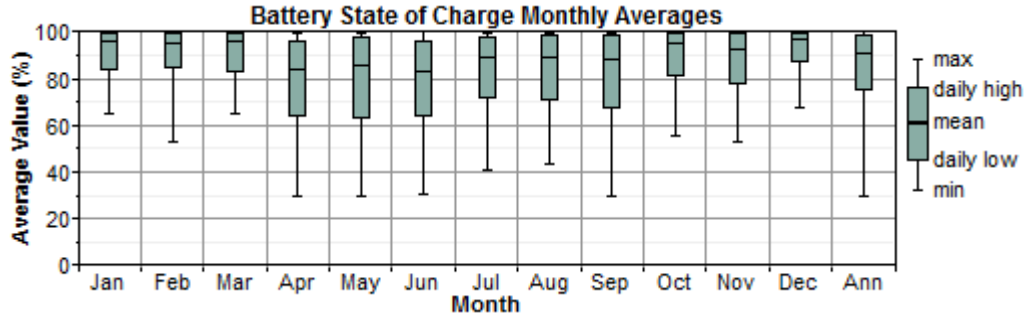


Şekil 6.4 Rüzgar Türbini Çıkışı

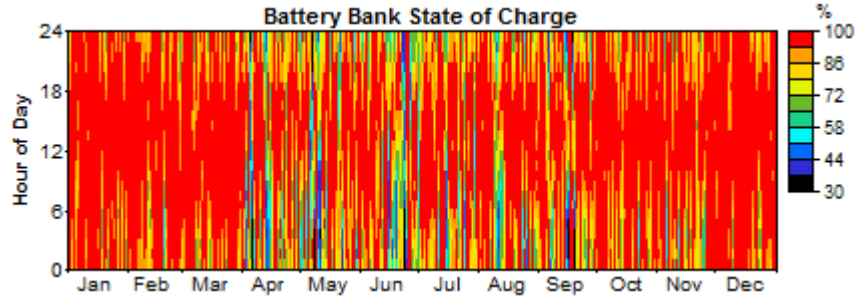
Bataryalar



Şekil 6.5 Batarya Şarj Durumları

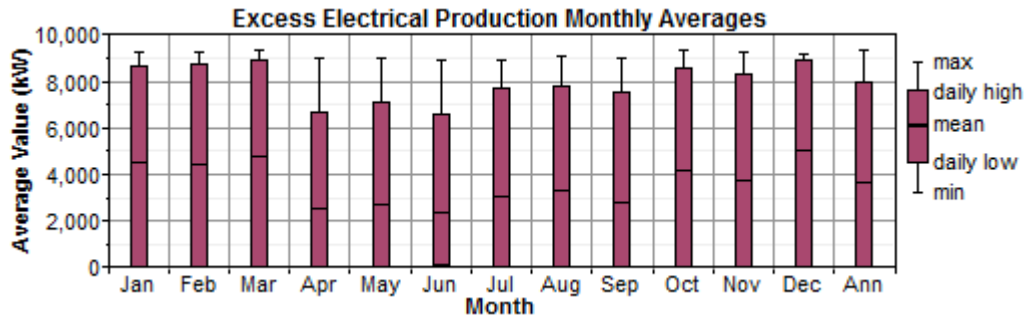


Şekil 6.6 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları

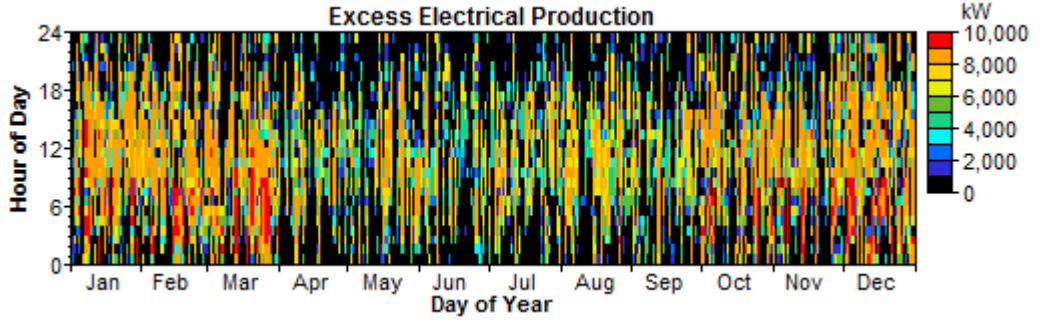


Şekil 6.7 Batarya Şarj Durumları

Artık Elektrik



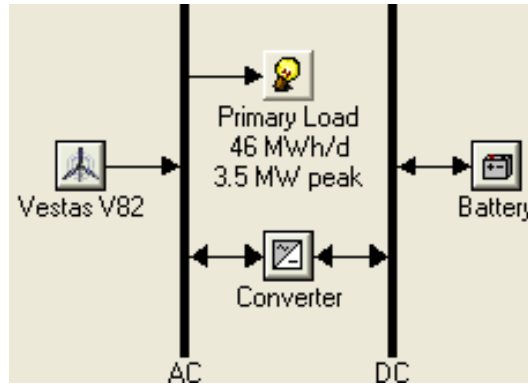
Şekil 6.8 Artık Elektrik Aylık Ortalamaları



Şekil 6.9 Artık Elektrik Miktarı

6.1.1.2 Vestas V82 Türbini Kullanılarak Yapılan Benzetim

Vestas V82 türbininin anma gücü 1,65 MW dır. Yatırım maliyetinin kW başına 1000\$ olduğu öngörülerek bir türbin için maliyet $1650 \times 1000 = 1650000$ \$ olarak düşünülmüştür. Senelik işletme-bakım maliyeti olarak da yatırım maliyetinin 2% si (33000\$) kullanılmıştır [17].



Şekil 6.10 Sistemin HOMER modeli

Homer programının çıktıları aşağıda verilmiştir.

Sistem Yapısı

Wind turbine:	5	Vestas V82
Battery:	11,000	Hoppecke 20 OPzS 2500
Inverter:	3,700	kW
Rectifier:	3,700	kW

Maliyet Özeti

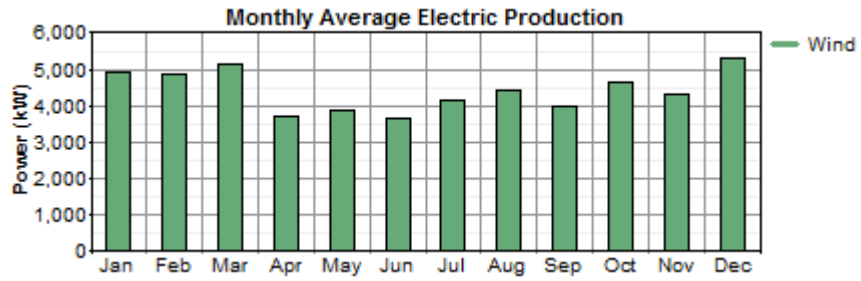
Total net present cost: 31,943,068 \$

Levelized cost of energy: 0.171 \$/kWh

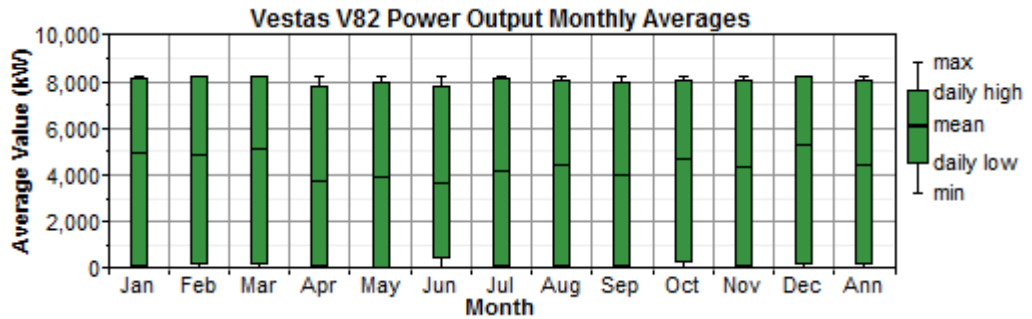
Maliyet Açılımı

Tablo 6.4 Maliyet Açılımı

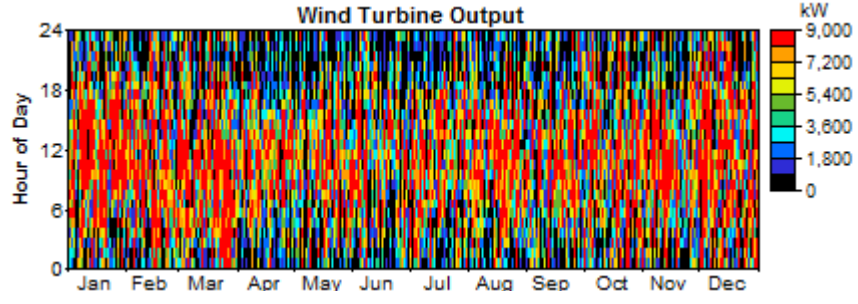
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
Vestas V82	8,250,000	736,888	0	165,000	0	901,888
Battery	16,500,000	1,473,777	0	110,000	0	1,583,777
Converter	3,700,000	330,483	0	37,000	0	367,483
Totals	28,450,000	2,541,148	0	312,000	0	2,853,148



Şekil 6.11 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

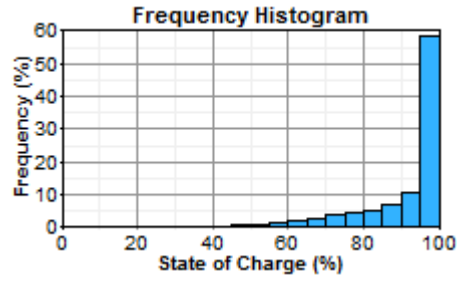


Şekil 6.12 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları

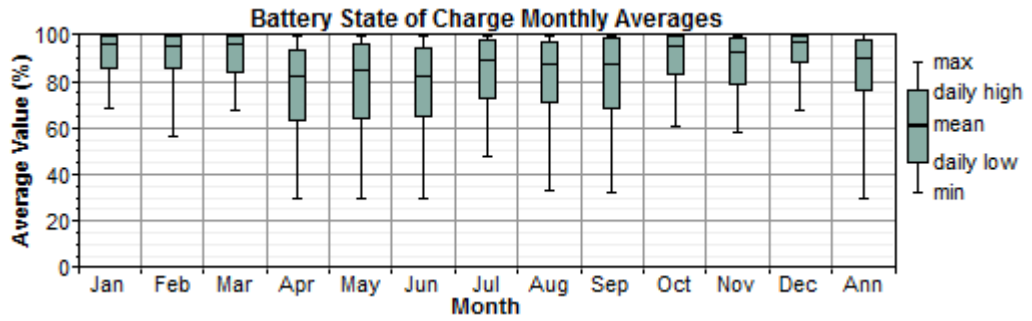


Şekil 6.13 Rüzgar Türbini Çıkışı

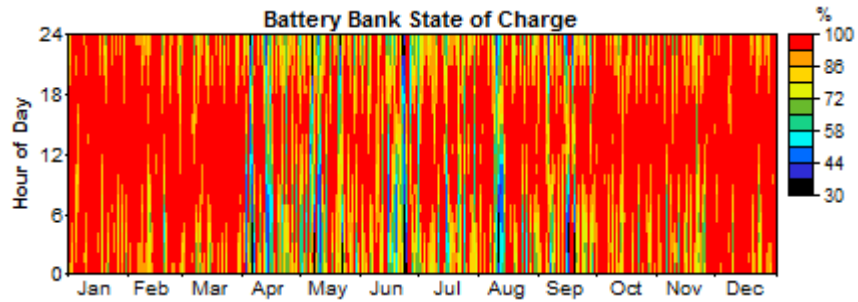
Batarya



Şekil 6.14 Batarya Şarj Durumları

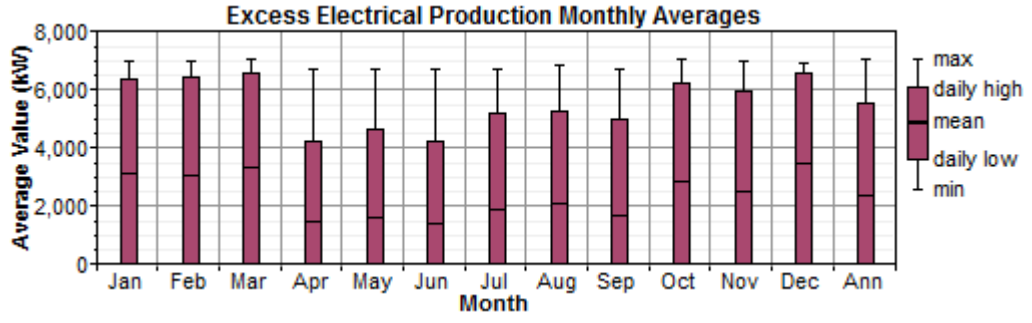


Şekil 6.15 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları

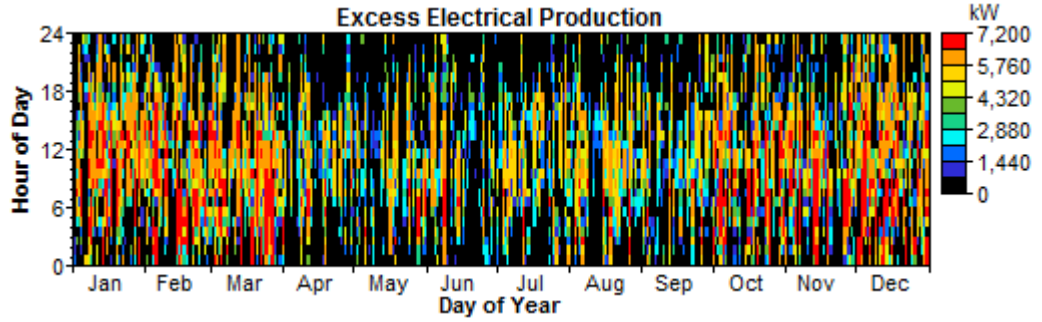


Şekil 6.16 Batarya Şarj Durumları

Artık Elektrik



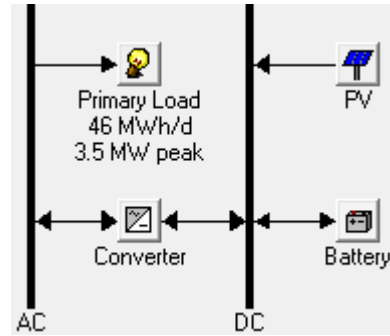
Şekil 6.17 Artık Elektrik Aylık Ortalamaları



Şekil 6.18 Artık Elektrik Miktarı

6.1.2 Güneş Enerjisi Sistemi

Bu senaryoda yükün sadece güneş enerjisi ile beslenebilmesi durumu için benzetim yapılmıştır.



Şekil 6.19 Sistemin HOMER modeli

Homer programının çıktıları verilmiştir.

Sistem Yapısı

PV Array: 25,000 kW

Battery: 32,750 Hoppecke 20 OPzS 2500

Inverter: 3,200 kW

Rectifier: 3,200 kW

Maliyet Özeti

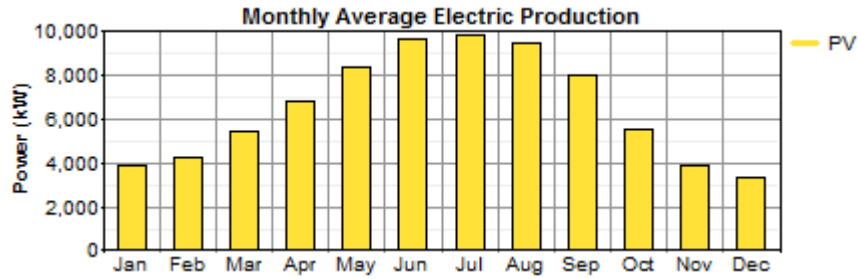
Total net present cost: 223,835,376 \$

Levelized cost of energy: 1.200 \$/kWh

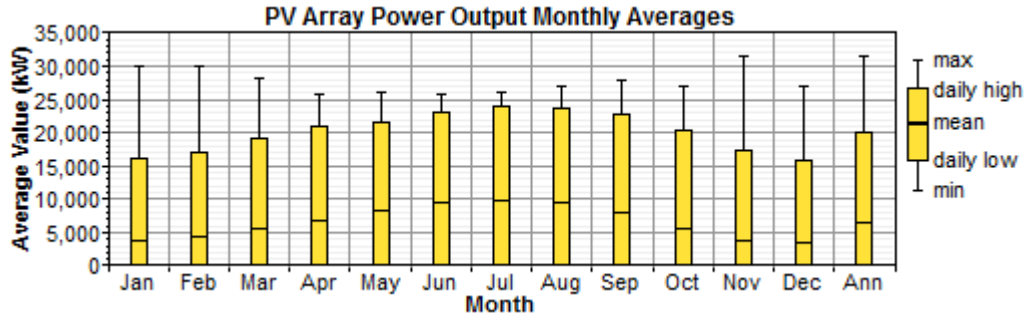
Maliyet Açılımı

Tablo 6.5 Maliyet Açılımı

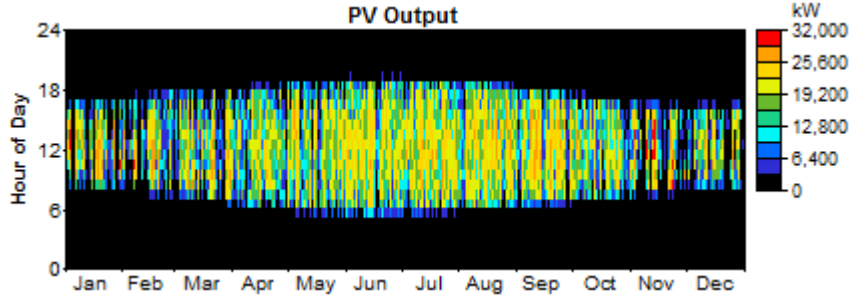
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV Array	175,000,000	15,630,963	-921,193	250,000	0	14,959,770
Battery	49,125,000	4,387,835	0	327,500	0	4,715,335
Converter	3,200,000	285,823	0	32,000	0	317,823
Totals	227,324,992	20,304,620	-921,193	609,500	0	19,992,928



Şekil 6.20 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi

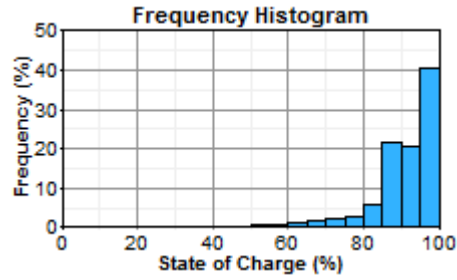


Şekil 6.21 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları

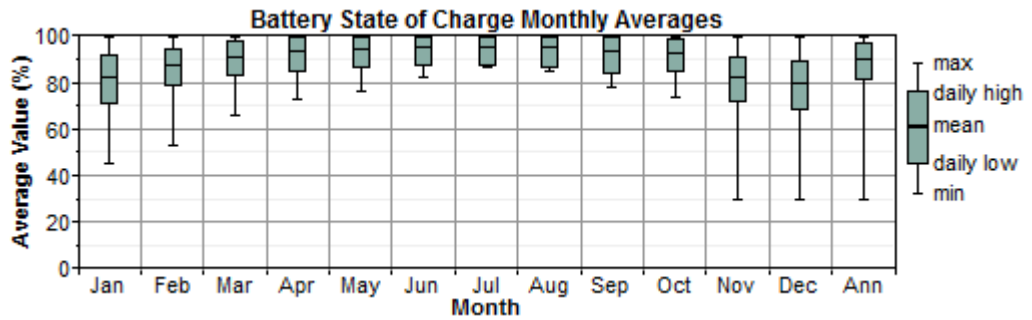


Şekil 6.22 PV Çıkışı

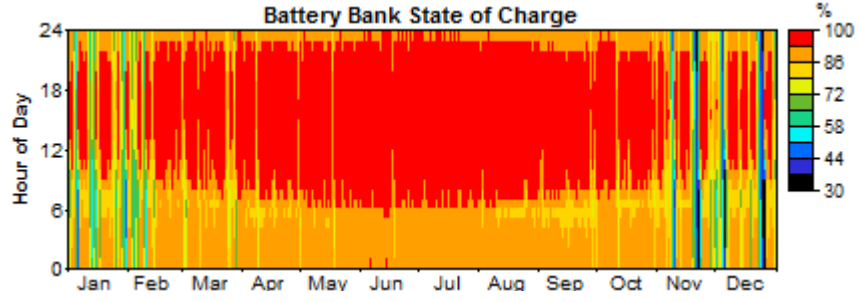
Batarya



Şekil 6.23 Batarya Şarj Durumları

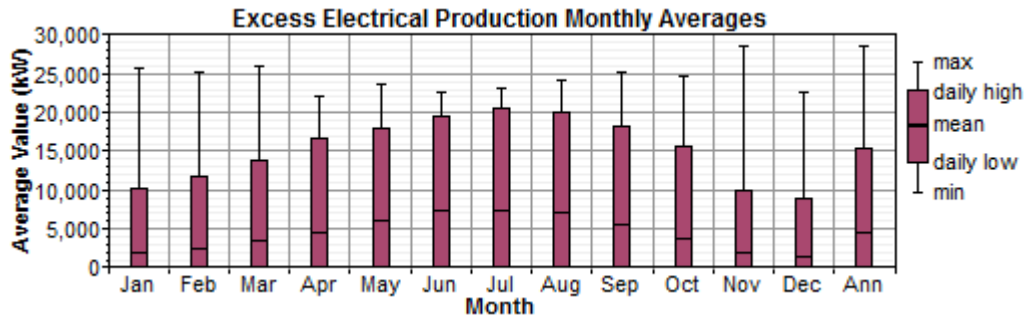


Şekil 6.24 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları

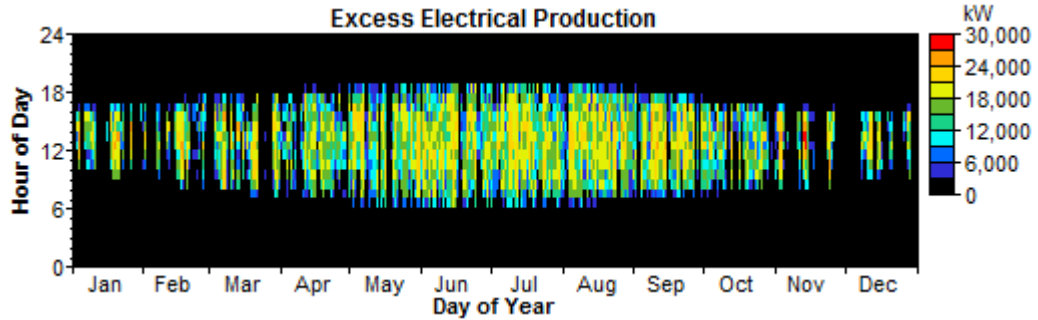


Şekil 6.25 Batarya Şarj Durumları

Artık Elektrik



Şekil 6.26 Artık Elektrik Aylık Ortalamaları



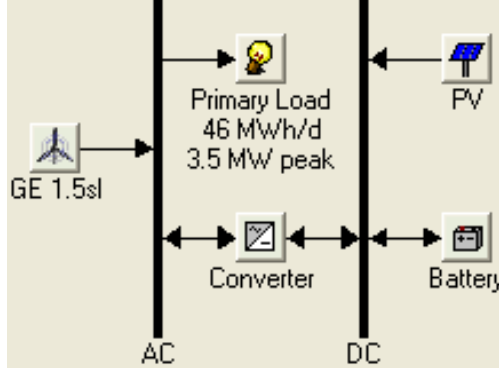
Şekil 6.27 Artık Elektrik Miktarı

6.1.3 Rüzgar-Güneş Hibrit Enerji Sistemi

Rüzgar-fotovoltaik hibrit enerji sisteminde fotovoltaik sistemin ekonomiklik açısından artı sağlamadığı görülmüştür. Yapılan benzetimlerde rüzgar-fotovoltaik hibrit sistemin enerji maliyetinin, sadece rüzgar enerjisi sisteminden oluşan senaryodaki maliyetten daha ucuz olmadığı görülmüştür.

6.1.3.1 PV + GE 1.sl Türbini Kullanılarak Yapılan Benzetim

Bu senaryoda rüzgar enerjisi ile PV sistemi birlikte kullanılmıştır.



Şekil 6.28 Sistemin HOMER modeli

Homer programının çıktıları aşağıda verilmiştir.

Sistem Yapısı

PV Array:	500	kW
Wind turbine:	6	GE 1.5sl
Battery:	10,000	Hoppecke 20 OPzS 2500
Inverter:	3,000	kW
Rectifier:	3,000	kW

Maliyet Özeti

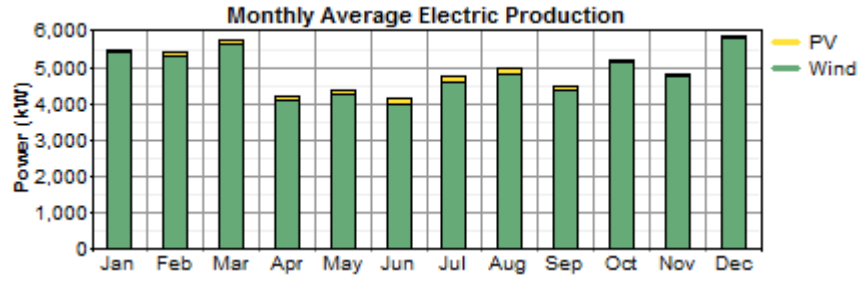
Total net present cost: 34,014,936 \$

Levelized cost of energy: 0.182 \$/kWh

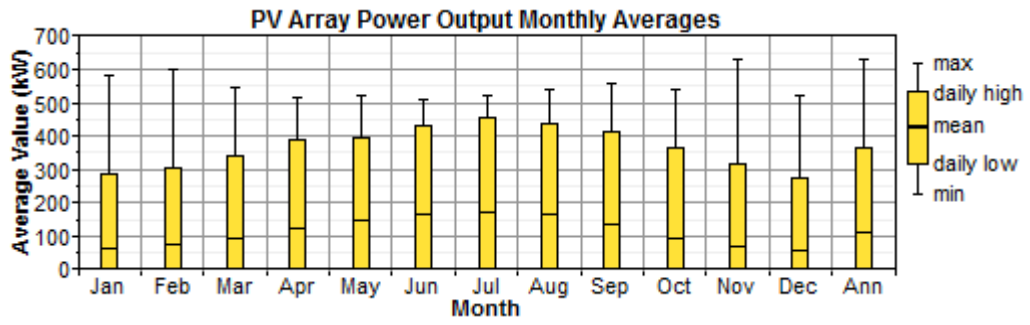
Maliyet Açılımı

Tablo 6.6 Maliyet Açılımı

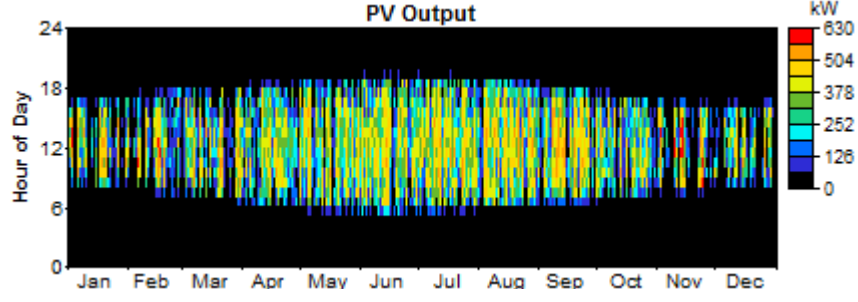
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV Array	3,500,000	312,619	-18,424	5,000	0	299,195
GE 1.5sl	9,000,000	803,878	0	180,000	0	983,878
Battery	15,000,000	1,339,797	17,377	100,000	0	1,457,174
Converter	3,000,000	267,959	0	30,000	0	297,959
Totals	30,500,000	2,724,254	-1,047	315,000	0	3,038,207



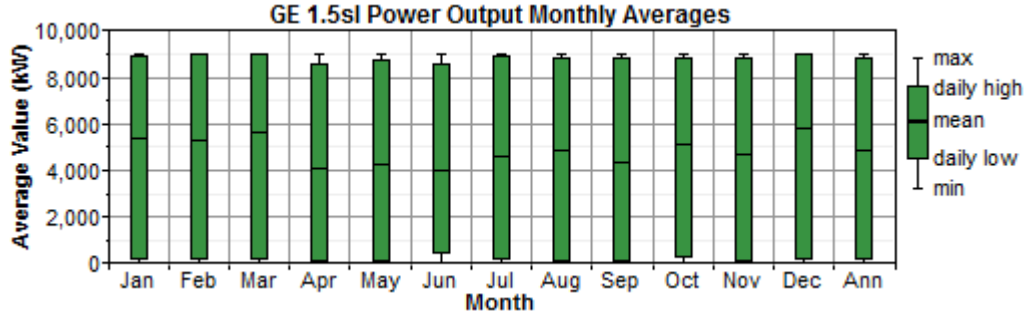
Şekil 6.29 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi



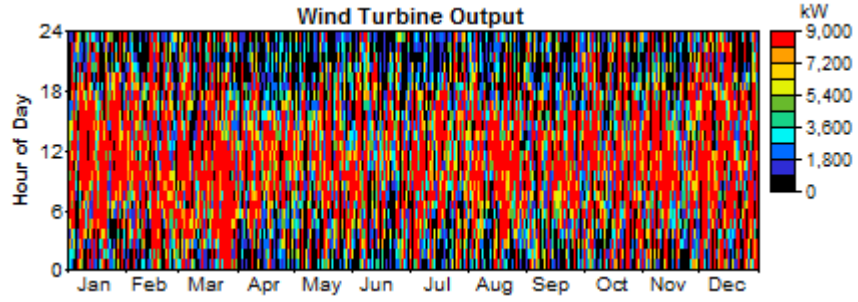
Şekil 6.30 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları



Şekil 6.31 PV Çıkışı

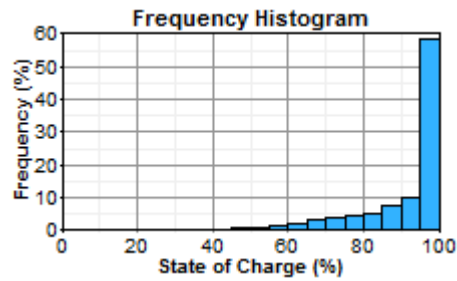


Şekil 6.32 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları

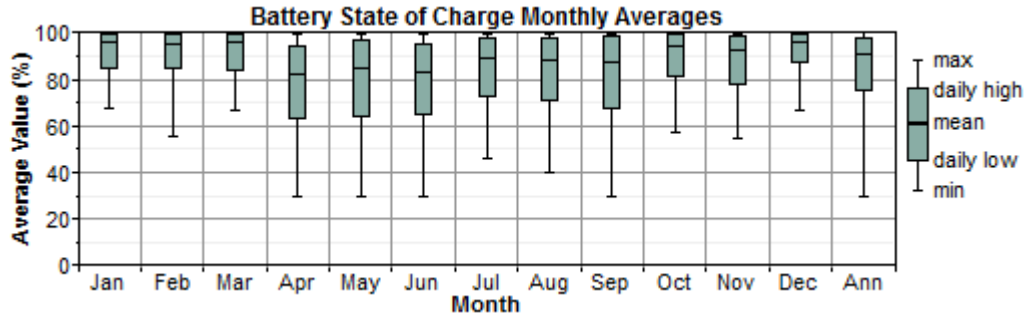


Şekil 6.33 Rüzgar Türbini Çıkışı

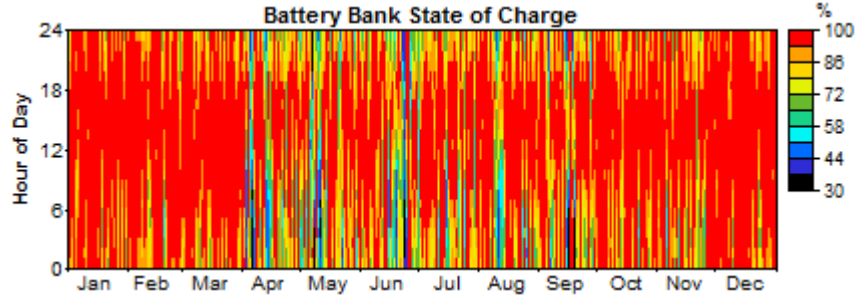
Batarya



Şekil 6.34 Batarya Şarj Durumları

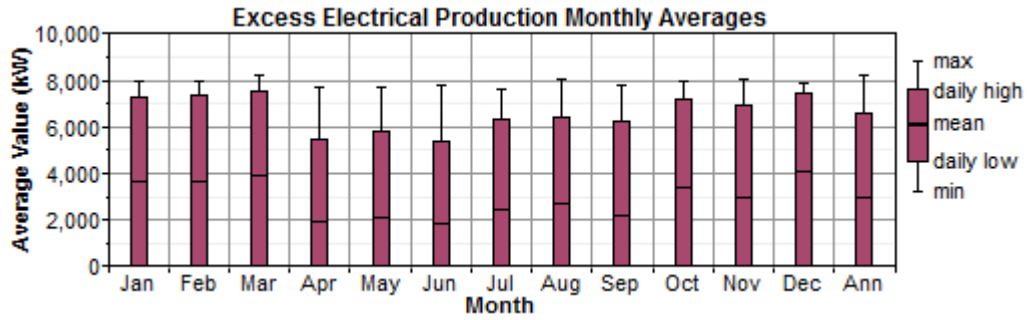


Şekil 6.35 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları

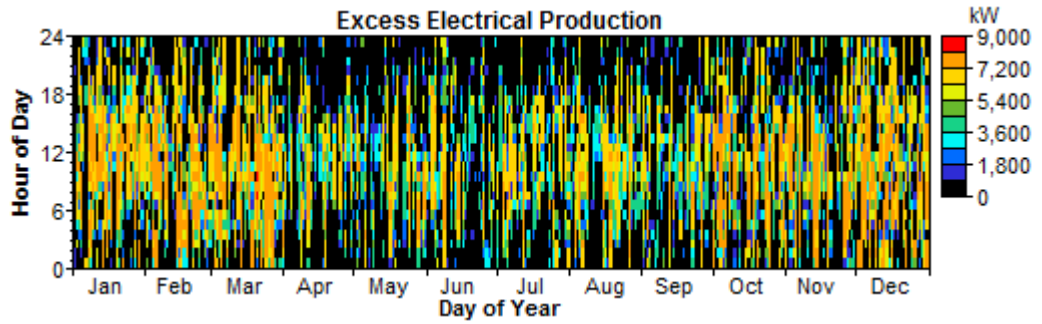


Şekil 6.36 Batarya Şarj Durumları

Artık Elektrik



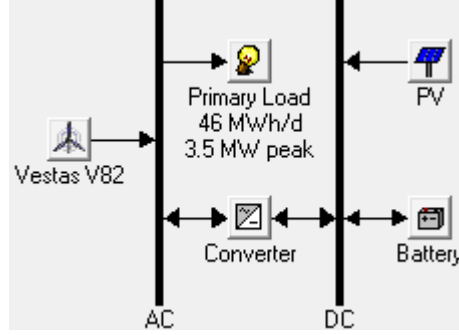
Şekil 6.37 Artık Elektrik Aylık Ortalamaları



Şekil 6.38 Artık Elektrik Miktarı

6.1.3.2 PV + Vestas V82 Türbini Kullanılarak Yapılan Benzetim

Bu senaryoda rüzgar enerjisi ile PV sistemi birlikte kullanılmıştır.



Şekil 6.39 Sistemin HOMER modeli

Homer programının çıktıları aşağıda verilmiştir.

Sistem Yapısı

PV Array: 500 kW

Wind turbine: 5 Vestas V82

Battery: 10,000 Hoppecke 20 OPzS 2500

Inverter: 3,500 kW

Rectifier: 3,500 kW

Maliyet Özeti

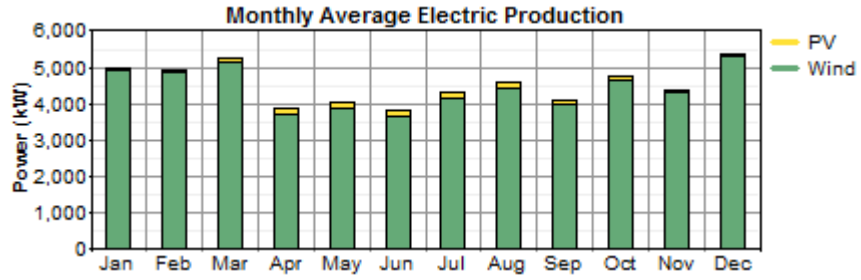
Total net present cost: 33,771,228 \$

Levelized cost of energy: 0.181 \$/kWh

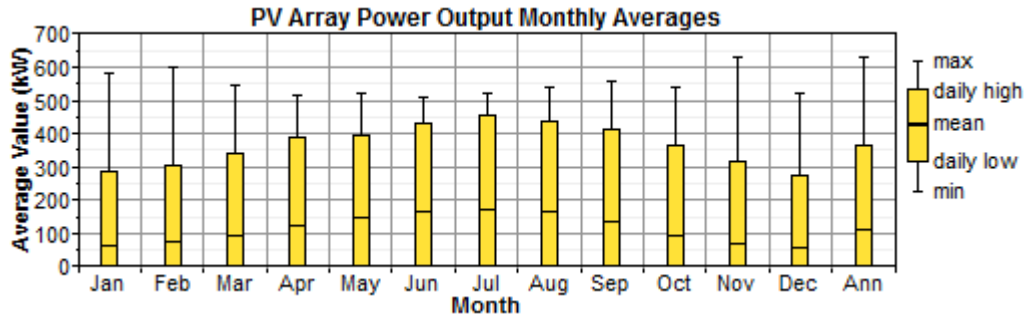
Maliyet Açılımı

Tablo 6.7 Maliyet Açılımı

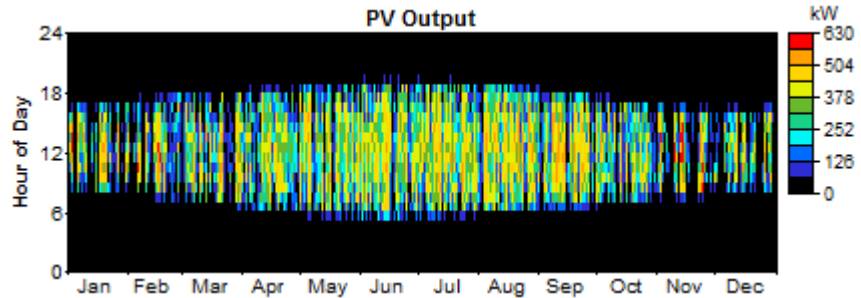
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV Array	3,500,000	312,619	-18,424	5,000	0	299,195
Vestas V82	8,250,000	736,888	0	165,000	0	901,888
Battery	15,000,000	1,339,797	27,939	100,000	0	1,467,736
Converter	3,500,000	312,619	0	35,000	0	347,619
Totals	30,250,000	2,701,924	9,515	305,000	0	3,016,439



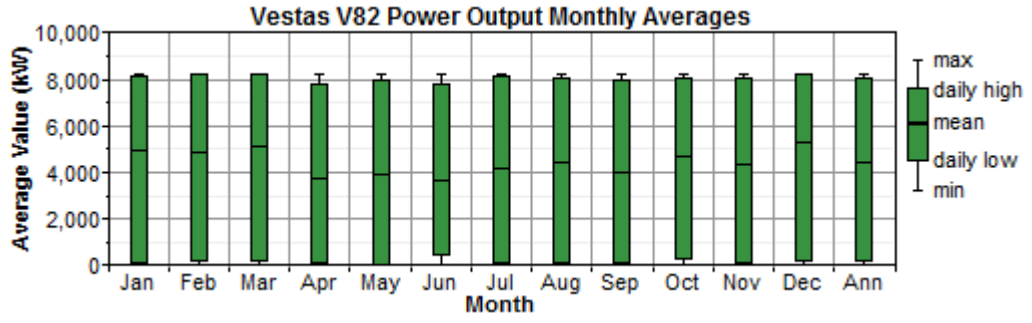
Şekil 6.40 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi



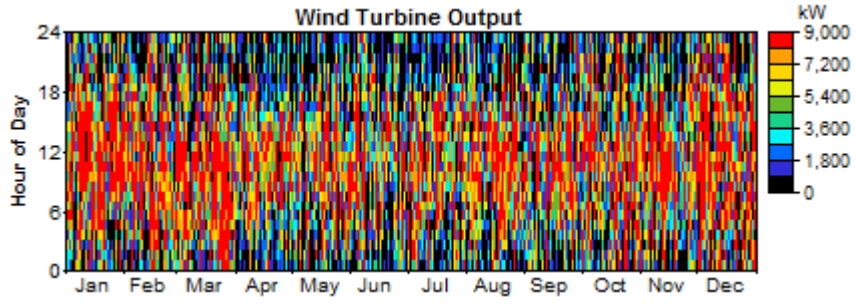
Şekil 6.41 PV Çıkışının Aylık Ortalamaları



Şekil 6.42 PV Çıkışı

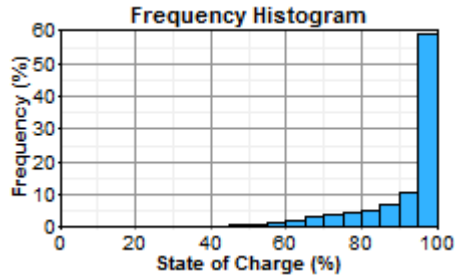


Şekil 6.43 Rüzgar Türbini Çıkışının Aylık Ortalamaları

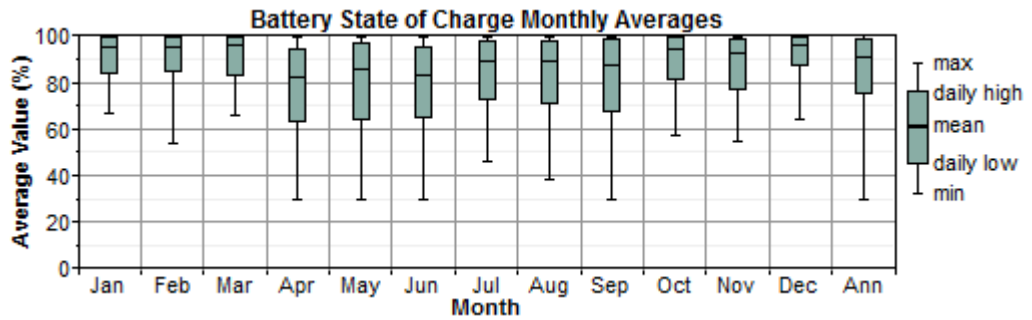


Şekil 6.44 Rüzgar Türbini Çıkışı

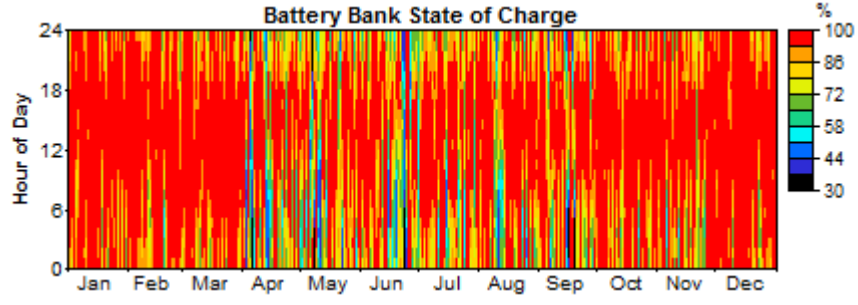
Batarya



Şekil 6.45 Batarya Şarj Durumları

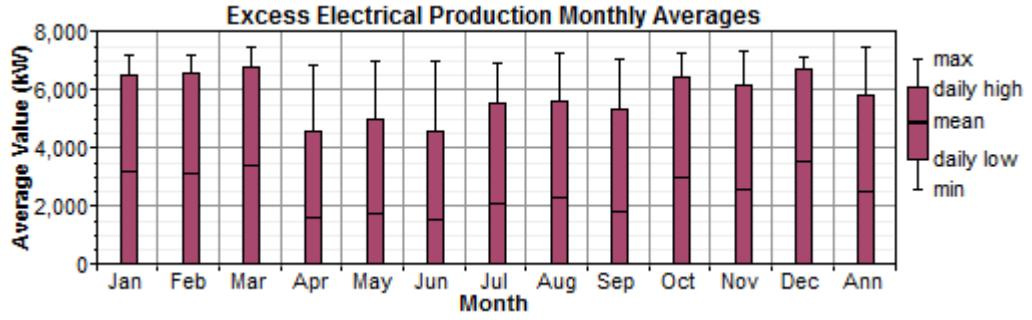


Şekil 6.46 Batarya Şarj Durumlarının Aylık Ortalamaları

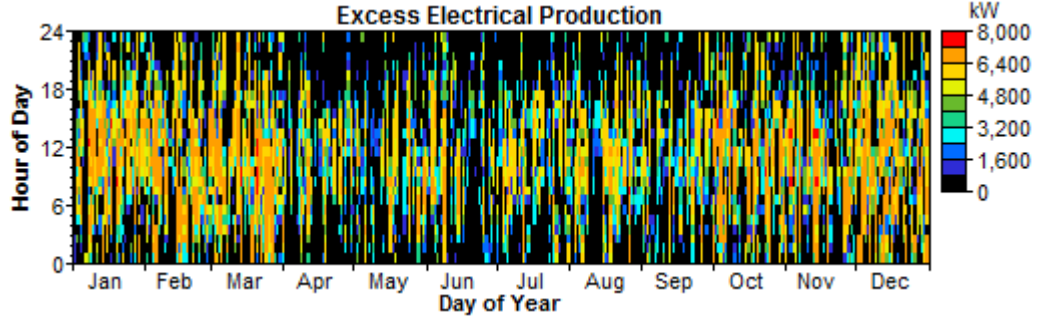


Şekil 6.47 Batarya Şarj Durumları

Artık Elektrik



Şekil 6.48 Artık Elektrik Aylık Ortalamaları



Şekil 6.49 Artık Elektrik Miktarı

6.1.4 Dizel Jeneratör

Bu senaryoda, Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının tamamıyla dizel jeneratörlerle karşılanması durumunun benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçlarında, açığa çıkan gaz emisyonları da verilmiştir.

HOMER çıktıları aşağıdadır:

Sistem Yapısı

Generator 1: 3,300 kW

Maliyet Özeti

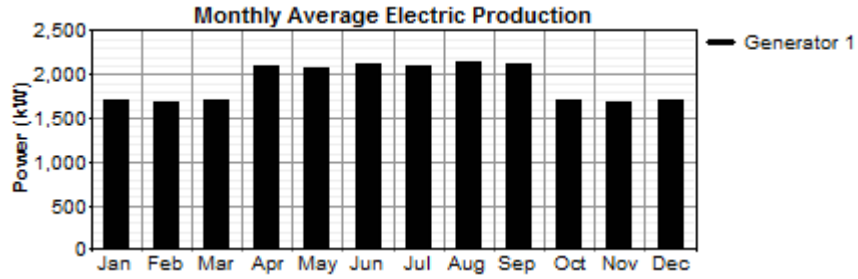
Total net present cost: 144,860,688 \$

Levelized cost of energy: 0.776 \$/kWh

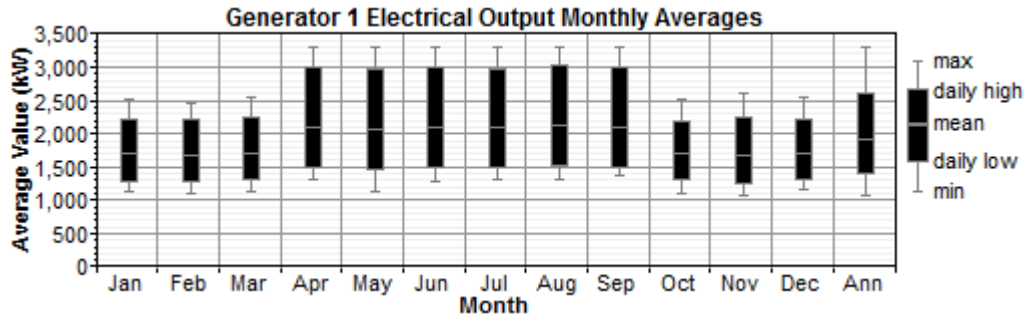
Maliyet Açılımı

Tablo 6.8 Maliyet Açılımı

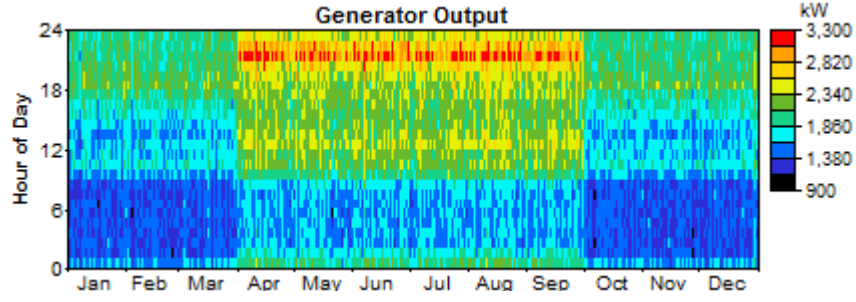
Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
Generator 1	660,000	58,951	160,743	578,160	12,141,072	12,938,926
Totals	660,000	58,951	160,743	578,160	12,141,072	12,938,926



Şekil 6.50 Aylık Ortalama Elektrik Üretimi



Şekil 6.51 Dizel Jeneratör Çıkışı Aylık Ortalamaları



Şekil 6.52 Dizel Jeneratör Çıkışı

Emisyonlar

Tablo 6.9 Oluşan Gaz Emisyonları

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	14,228,501
Carbon monoxide	35,121
Unburned hydrocarbons	3,890
Particulate matter	2,648
Sulfur dioxide	28,573
Nitrogen oxides	313,388

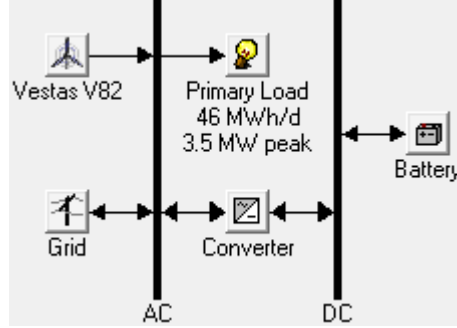
6.2 Şebeke Bağlantılı Çalışma

Yenilebilir enerji kaynaklı elektrik üretim sisteminin şebekeye bağlantılı çalışması durumunda yedek güç için akü-konvertör sistemine gerek kalmayacaktır. Üretilen enerjinin yükü karşılayamadığı koşullarda şebekeden enerji satın alınacak ve üretim fazlası enerji de şebekeye satılabilecektir. Bu sayede, daha ekonomik bir sistem kurulabilecektir. Şebeke bağlantılı çalışma durumlarında kullanılacak sistemlerin boyutlandırılması için ada çalışması senaryosundaki büyüklükler referans alınacaktır. Bu yöntemin amacı; şebekede meydana gelebilecek herhangi bir arıza olması durumunda, yükün karşılanabilmesini garantilemektir.

Şebeke ile bağlantılı çalışma durumunun ekonomik analizi için şebekeye satılan ve şebekeden satın alınan elektrik fiyatının belirlenmesi gerekir. 10.05.2005 tarihinde

6.2.1.2 Vestas V82 + Şebeke

Bu kısımda Vestas V82 rüzgar türbini kullanılmıştır.



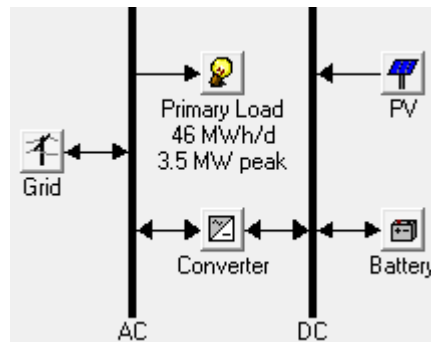
Şekil 6.55 Sistemin HOMER modeli

	V82	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	5			25000	\$ 8,250,000	-1,514,594	\$ -8,706,983	-0.047	0.91
	5	11000	3700	25000	\$ 28,450,...	-1,367,594	\$ 13,138,796	0.070	0.91

Şekil 6.56 Benzetim Sonuçları

6.2.2 PV + Şebeke

Ada çalışması senaryosunda kullanılmış olan PV panel ve konvertör miktarı kullanılınca üretilen fazla enerjinin enerjinin çoğu satılamamaktadır. Fazla enerjinin daha fazla satılabilmesi için konverter miktarı artırıldı (3450 kW 'idi). Konverter büyüklüğü 29000 kW olunca en uygun enerji maliyeti elde edilmiştir. Artık elektrik miktarı 5,75 % 'a düşürülmüştür. Konvertör sayısı daha fazla artırılırsa artık enerji daha da azaltılmaktadır; fakat enerji maliyeti daha fazla olmaktadır. Ayrıca, yedek enerji şebekeden karşılandığı için akü kullanılmaması durumu da değerlendirilmiştir.



Şekil 6.57 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
				30000	\$ 0	1,547,680	\$ 17,327,400	0.093	0.00
		32750	28000	30000	\$ 77,125,...	2,155,180	\$ 101,253,...	0.542	0.00
	25000		28000	30000	\$ 203,000,...	-3,251,072	\$ 166,601,...	0.892	0.87
	25000	32750	28000	30000	\$ 252,124,...	-2,923,574	\$ 219,393,...	1.175	0.87

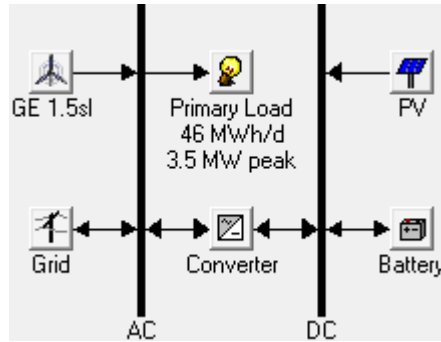
Şekil 6.58 Benzetim Sonuçları

6.2.3 PV + Rüzgar Türbini + Şebeke

Bu senaryoda güneş ve rüzgar enerjili melez sistemlerin şebeke bağlantılı çalışma durumları incelenmiştir.

6.2.3.1 PV + Rüzgar Türbini (GE 1.5sl) + Şebeke

Bu kısımda GE 1.5sl rüzgar türbini kullanılmıştır.



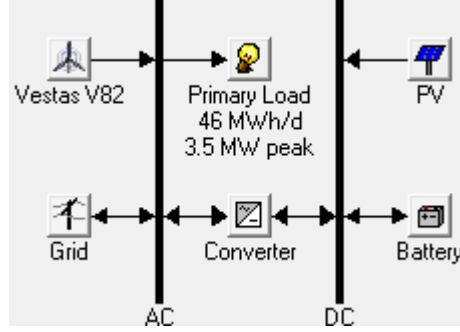
Şekil 6.59 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	1.5sl	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
		6			30000	\$ 9,000,000	-1,792,339	\$ -11,066,5...	-0.059	0.91
	500	6		3000	30000	\$ 15,500,000	-1,852,405	\$ -5,239,017	-0.028	0.92
		6	10000	3000	30000	\$ 27,000,000	-1,662,340	\$ 8,388,903	0.045	0.91
	500	6	10000	3000	30000	\$ 30,500,000	-1,752,405	\$ 10,880,557	0.058	0.92
					30000	\$ 0	1,547,680	\$ 17,327,400	0.093	0.00
	500			3000	30000	\$ 6,500,000	1,476,860	\$ 23,034,520	0.123	0.06
			10000	3000	30000	\$ 18,000,000	1,677,680	\$ 36,782,844	0.197	0.00
	500		10000	3000	30000	\$ 21,500,000	1,576,860	\$ 39,154,096	0.210	0.06

Şekil 6.60 Benzetim Sonuçları

6.2.3.2 PV + Rüzgar Türbini (Vestas V82) + Şebeke

Bu kısımda Vestas V82 rüzgar türbini kullanılmıştır.



Şekil 6.61 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	V82	Batt.	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
		5			30000	\$ 8,250,000	-1,514,594	\$ -8,706,983	-0.047	0.91
	500	5		3500	30000	\$ 15,250,000	-1,569,608	\$ -2,322,899	-0.012	0.91
		5	10000	3500	30000	\$ 26,750,000	-1,379,594	\$ 11,304,441	0.061	0.91
	500	5	10000	3500	30000	\$ 30,250,000	-1,469,608	\$ 13,796,674	0.074	0.91
					30000	\$ 0	1,547,680	\$ 17,327,400	0.093	0.00
	500			3500	30000	\$ 7,000,000	1,481,860	\$ 23,590,500	0.126	0.06
			10000	3500	30000	\$ 18,500,000	1,682,680	\$ 37,338,824	0.200	0.00
	500		10000	3500	30000	\$ 22,000,000	1,581,860	\$ 39,710,072	0.213	0.06

Şekil 6.62 Benzetim Sonuçları

6.3 Yedek Güç İçin Dizel Jeneratör Kullanılması Durumu

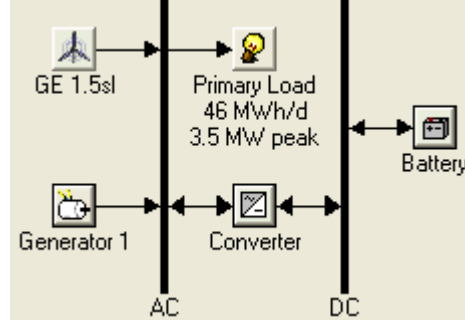
Bu senaryoda yedek güç için gerçek hayatta sıkça kullanılan dizel jeneratörlerin kullanılması durumları modellenmiştir.

6.3.1 Rüzgar+Dizel

Bu senaryoda rüzgar-dizel hibrit sistemler için benzetimler yapılmıştır.

6.3.1.1 Rüzgar Türbini (GE 1.5sl) + Dizel Jeneratör

Bu kısımda GE 1.5sl rüzgar türbini kullanılmıştır.



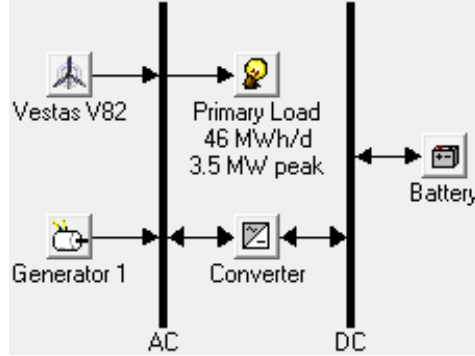
Şekil 6.63 Sistemin HOMER modeli

	1.5sl	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
	6	1000	10000	3000	\$ 27,200,000	408,401	\$ 31,772,346	0.170	1.00	20,954	136
	7		10000	3200	\$ 28,700,000	342,459	\$ 32,534,076	0.174	1.00		
	9	3000			\$ 14,100,000	3,804,655	\$ 56,695,876	0.304	0.94	1,469,774	3,232

Şekil 6.64 Benzetim Sonuçları

6.3.1.2 Rüzgar Türbini (Vestas V82) + Dizel Jeneratör

Bu kısımda Vestas V82 rüzgar türbini kullanılmıştır.

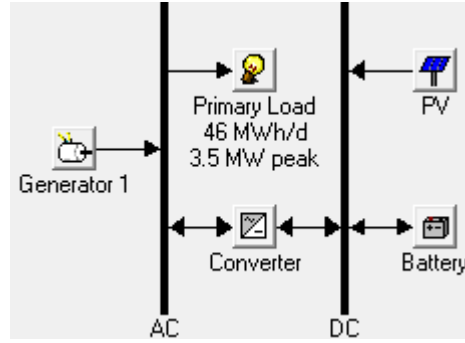


Şekil 6.65 Sistemin HOMER modeli

	V82	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
	5	1650	9000	3000	\$ 25,080,000	546,155	\$ 31,194,596	0.167	1.00	57,196	201
	6		10000	3200	\$ 28,100,000	333,553	\$ 31,834,374	0.171	1.00		
	8	3000			\$ 13,800,000	3,764,749	\$ 55,949,104	0.300	0.94	1,457,921	3,140

Şekil 6.66 Benzetim Sonuçları

6.3.2 PV+Dizel



Şekil 6.67 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
	2000	2400	1300	2500	\$ 18,930,000	8,869,466	\$ 118,230,128	0.634	0.27	3,673,430	6,112
		2400	700	700	\$ 2,230,000	11,660,395	\$ 132,776,600	0.712	0.00	4,943,849	8,760
	2000	3300		2000	\$ 16,660,000	10,971,725	\$ 139,496,448	0.747	0.26	4,571,198	8,703
		3300			\$ 660,000	12,879,975	\$ 144,860,688	0.776	0.00	5,403,237	8,760

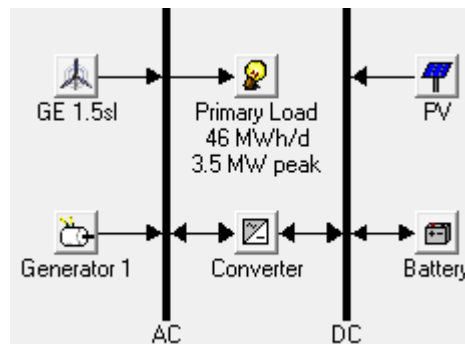
Şekil 6.68 Benzetim Sonuçları

6.3.3 PV+Rüzgar+Dizel

Bu senaryoda, güneş-rüzgar-dizel hibrit sistemlerin benzetimi yapılmıştır.

6.3.3.1 PV+ Rüzgar Türbini (GE 1.5sl) + Dizel Jeneratör

Bu kısımda GE 1.5 sl rüzgar türbini kullanılmıştır.



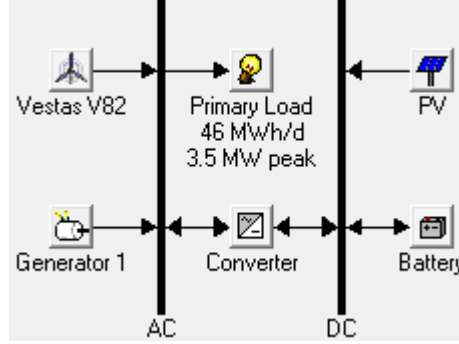
Şekil 6.69 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	1.5sl	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
			6 1000	10000	3000	\$ 27,200,000	408,401	\$ 31,772,346	0.170	1.00	20,954	136
			6	11000	3500	\$ 29,000,000	325,000	\$ 32,638,614	0.175	1.00		
	500		5 1000	10000	3000	\$ 29,200,000	395,195	\$ 33,624,496	0.180	1.00	22,162	141
	500		6	10000	3000	\$ 30,500,000	313,941	\$ 34,014,800	0.182	1.00		
			9 3000			\$ 14,100,000	3,804,655	\$ 56,695,876	0.304	0.94	1,469,774	3,232
	500		9 3000		600	\$ 18,200,000	3,691,762	\$ 59,531,960	0.319	0.94	1,425,086	3,168
	2000		2100	4000	2200	\$ 22,620,000	8,914,970	\$ 122,429,576	0.656	0.23	3,798,406	6,990
			2400	900	700	\$ 2,530,000	11,665,095	\$ 133,129,224	0.713	0.00	4,945,132	8,760
	2000		3300		1500	\$ 16,160,000	11,245,612	\$ 142,062,816	0.761	0.23	4,694,001	8,737
			3300			\$ 660,000	12,879,975	\$ 144,860,688	0.776	0.00	5,403,237	8,760

Şekil 6.70 Benzetim Sonuçları

6.3.3.2 PV+ Rüzgar Türbini (Vestas V82) + Dizel Jeneratör

Bu kısımda Vestas V82 rüzgar türbini kullanılmıştır.



Şekil 6.71 Sistemin HOMER modeli

	PV (kW)	V82	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
			5 1650	9000	3000	\$ 25,080,000	546,155	\$ 31,194,596	0.167	1.00	57,196	201
			6	10000	3500	\$ 28,400,000	337,402	\$ 32,177,458	0.172	1.00		
	500		5 1000	9000	2700	\$ 28,150,000	437,126	\$ 33,043,940	0.177	1.00	30,832	212
	500		5	10000	3500	\$ 30,250,000	314,501	\$ 33,771,060	0.181	1.00		
			7 3000			\$ 12,150,000	3,942,680	\$ 56,291,164	0.302	0.93	1,544,215	3,356
	500		7 3000		600	\$ 16,250,000	3,814,461	\$ 58,955,660	0.316	0.93	1,493,290	3,275
	1000		2100	4500	2000	\$ 16,170,000	10,202,944	\$ 130,399,384	0.698	0.12	4,331,582	8,067
			2400	4500	700	\$ 7,930,000	11,704,468	\$ 138,970,032	0.745	0.00	4,946,633	8,760
	1000		3300		900	\$ 8,560,000	11,943,669	\$ 142,278,064	0.762	0.12	4,994,488	8,760
			3300			\$ 660,000	12,879,975	\$ 144,860,688	0.776	0.00	5,403,237	8,760

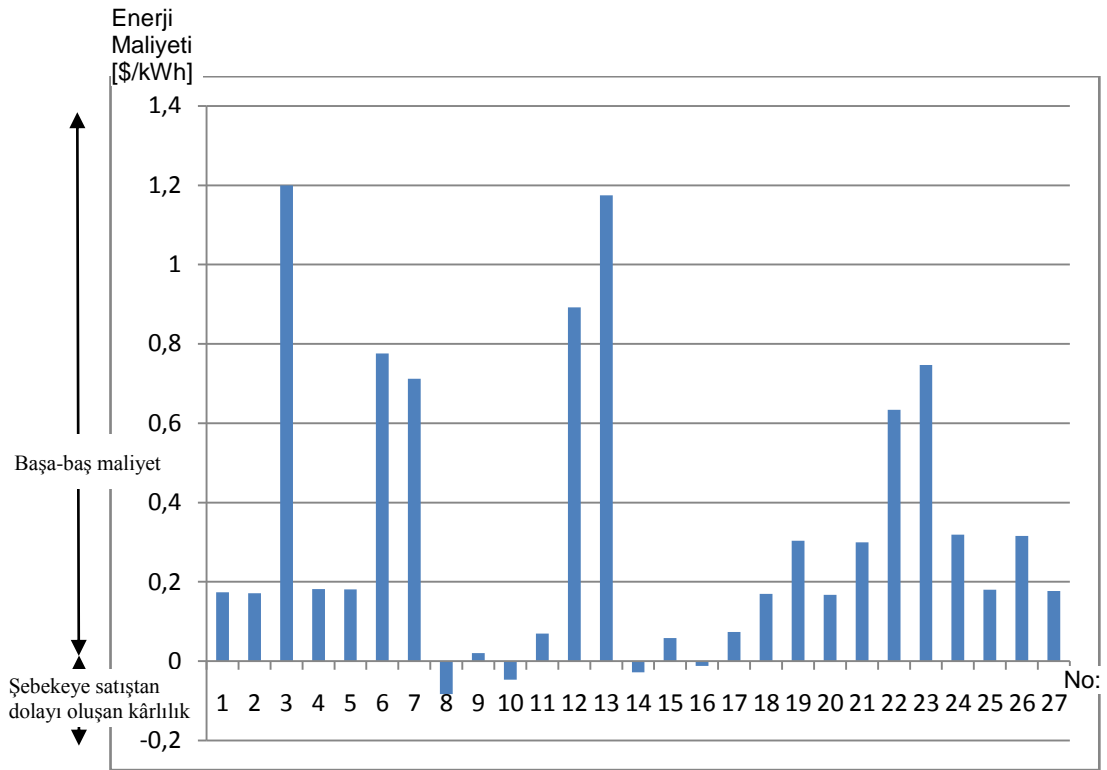
Şekil 6.72 Benzetim Sonuçları

6.4 Senaryolarla İlgili Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan bilgisayar benzetimlerinin sonuçları Tablo 6.10'da toplu halde gösterilmiştir. Bu tablodaki enerji maliyeti değerleriyle oluşturulan grafik, Şekil 6.73'de verilmiştir. Tablodaki negatif değerler, gelirlerin giderlerden daha büyük olduğu senaryolar için oluşmaktadır. Bu senaryolarda, fazla enerjinin şebekeye satılmasıyla elde edilen gelirler, toplam giderlerden fazladır.

Tablo 6.10 Senaryo sonuçlarının tabloda toplu halde gösterilmesi

	Senaryo No:	Sistem Tipi	RT (adet)	PV (kW)	Dizel Jeneratör (kW)	Akü (adet)	Konvertör (kW)	Toplam Net Şimdiki Maliyet (\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Oranı (%)
1	6.1.1.1.	RT	7	-	-	9500	3500	32.537.056	0,174	100
2	6.1.1.2.	RT	5	-	-	11000	3700	31.943.068	0,171	100
3	6.1.2.	PV	-	25000	-	32750	3200	223.835.376	1,200	100
4	6.1.3.1.	PV+RT	6	500	-	10000	3000	34.014.936	0,182	100
5	6.1.3.2.	PV+RT	5	500	-	10000	3500	33.771.228	0,181	100
6	6.1.4.	Dizel	-	-	3300	-	-	144.860.688	0,776	0
7		Dizel	-	-	2400	700	700	132.776.600	0,712	0
8	6.2.1.1.	RT+Şebeke	7	-	-	-	-	-15.505.178	-0,083	93
9		RT+Şebeke	7	-	-	9500	3500	3.700.266	0,020	93
10	6.2.1.2.	RT+Şebeke	5	-	-	-	-	-8.706.983	-0,047	91
11		RT+Şebeke	5	-	-	11000	3700	13.138.796	0,070	91
12	6.2.2.	PV+Şebeke	-	25000	-	-	28000	166.601.872	0,892	87
13		PV+Şebeke	-	25000	-	32750	28000	219.393.472	1,175	87
14	6.2.3.1.	PV+RT+Şebeke	6	500	-	-	3000	-5.239.017	-0,028	92
15		PV+RT+Şebeke	6	500	-	10000	3000	10.880.557	0,058	92
16	6.2.3.2.	PV+RT+Şebeke	5	500	-	-	3500	-2.322.899	-0,012	91
17		PV+RT+Şebeke	5	500	-	10000	3500	13.796.674	0,074	91
18	6.3.1.1.	RT+Dizel	6	-	1000	10000	3000	31.772.346	0,170	99,9
19		RT+Dizel	9	-	3000	-	-	56.695.876	0,304	94
20	6.3.1.2.	RT+Dizel	5	-	1650	9000	3000	31.194.596	0,167	99,9
21		RT+Dizel	8	-	3000	-	-	55.949.104	0,300	94
22	6.3.2.	PV+Dizel	-	2000	2400	1300	2500	119.061.616	0,634	27
23		PV+Dizel	-	2000	3300	-	2000	139.496.448	0,747	26
24	6.3.3.1.	PV+RT+Dizel	9	500	3000	-	600	59.531.960	0,319	94
25		PV+RT+Dizel	5	500	1000	10000	3000	33.624.496	0,180	100
26	6.3.3.2.	PV+RT+Dizel	7	500	3000	-	600	58.955.660	0,316	93
27		PV+RT+Dizel	5	500	1000	9000	2700	33.043.940	0,177	100



Şekil 6.73 Senaryo sonuçları tablosuna göre enerji maliyetleri grafiği

Ada çalışması senaryosu için en uygun sistemin rüzgar enerjili sistem olduğu, PV-rüzgar sistemlerinde PV panellerinin eklenmesinin maliyeti arttırdığı, dizel sistemin PV sistemden daha ucuz olduğu ve PV sistemin (güneş takip sistemi kullanılarak verimin artırılması ve güneş takip sisteminin maliyetinin ihmal edilmesine rağmen) en pahalı sistem olduğu görülmektedir. Ayrıca, dizel sistemde aküler kullanılırsa dizel jeneratörlerin daha yüksek verimde çalıştırılmasıyla birlikte enerji maliyetinin aküsüz sisteme göre daha az olduğu görülmektedir.

Şebeke bağlantılı çalışma senaryosu için, rüzgar türbinli sistemde akü-evirici sisteminin maliyetine rağmen şebekeye satışlarla birlikte maliyetin 2 \$ Cent (0,02 \$) olduğu, akü-evirici sistemi kullanılmazsa enerji maliyetinin şebekeye satışlarla birlikte negatife düştüğü yani; şebekeye satışla elde edilen gelirlerin toplam giderlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Rüzgar türbini sayısı arttırıldıkça, daha fazla enerji üretimi ile birlikte şebekeye satışların da arttığı ve böylece enerji maliyetinin daha da azaldığı görülmüştür (Fazla enerjinin tamamının şebekeye satılabileceği varsayılmıştır). Bu senaryodaki türbin sayısı, ada çalışması için

Gökçeada'yı besleyebilecek türbin sayısı olup, şebeke bağlantılı çalışma için pratikte bu sayı arttırılırsa enerji maliyeti daha az olacaktır.

Rüzgar türbinli sisteme, PV panel eklenmesinin şebeke bağlantılı senaryoda da maliyeti düşürmediği görülmektedir. Şebekeye bağlı PV sisteminde akülerin kullanılmamasıyla bile, enerji maliyeti rüzgar enerjisi maliyetine yaklaşmamıştır (PV sisteminde şebekeye satış yapabilmek için evirici kullanılmak zorundadır).

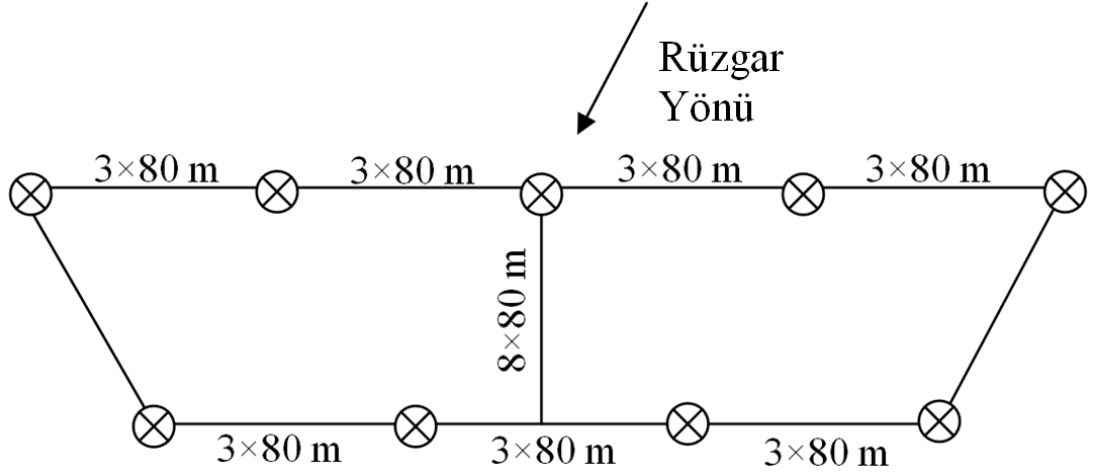
Şebekeye bağlantısı olmayan çalışma durumları arasında, en düşük enerji maliyetine sahip olan sistemin rüzgar-dizel-batarya-konvertör sistemi olduğu görülmüştür. Buradaki enerji maliyeti, rüzgar-batarya-konvertör senaryosundaki maliyete yakın olup jeneratör çok az kullanılmıştır.

6.5 Alan İhtiyacı

Senaryolarda, benzetimi yapılan sistemler için alan ihtiyacı, en büyük boyutlu senaryolara göre yapılmıştır. Örneğin, PV panel alanı için sadece güneş enerjisi kaynaklı sistemdeki miktarlar kullanılmıştır.

6.5.1 Rüzgar Türbinleri İçin Alan İhtiyacı

Benzetim sonuçlarına göre en fazla 9 adet rüzgar türbini gereklidir. Bu türbinler Gökçeada'nın Aydıncık bölgesine tek sıra halinde yerleştirilirse yan yana dizilimde 3 rotor çapı mesafe kullanılırsa yaklaşık 9×80 m uzunluğunda bir bölge gerekir. Türbinler iki sıra halinde yerleştirilirse yaklaşık $(4+3) \times (3 \times 80) \times (8 \times 80) / 2 = 537600$ m² lik bir alan gereklidir (rotor çapı 80 m alınmıştır). Gökçeada Aydıncık Yarımadasında, yaklaşık 8000000 m² alan mevcut olduğu için, rüzgar türbinleri için gereken alan bu bölgede yer sağlanabilir. Şekil 6.74'de rüzgar türbinlerinin yerleşimi gösterilmiştir. Hakim rüzgar yönü için Kuzey-Doğu yönü alınmıştır.



Şekil 6.74 Rüzgar türbinlerinin yerleşimi

6.5.2 PV Paneller İçin Alan İhtiyacı

Güneş enerjili ada çalışması senaryosu için gerekli PV panel gücü 25000 kW dır.

Buna göre yer ihtiyacı aşağıda verilmiştir:

PV panel boyutu 1kW için 7,5 m² alınır

PV paneller için gereken alan: $7,5 \times 25000 = 187500 \text{ m}^2$

PV panelleri için Aydıncık bölgesinin kullanılması zorunlu değildir. Güneş panellerinin Gökçeada merkezine yakın yerlerde kullanılması, yüklere daha yakın olunması açısından daha uygun olmaktadır. Böylece, hat kayıpları da azaltılmış olur.

6.5.3 Aküler İçin Alan İhtiyacı:

Güneş enerjili ada çalışması senaryosu için gereken akü miktarı 32750 adet bulunmuştur. Buna göre yer ihtiyacı aşağıda verilmiştir:

20 OPzS 2500 model Akülerin Boyutu: $0,215 \times 0,49 \times 0,815 \text{ m}^3$

Aküler için gereken alan: $0,215 \times 0,49 \times 32750 = 3450 \text{ m}^2$

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, bir bölgenin enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanabilmesi için çalışmalar yapılmış olup, bu kapsamda Ege Denizi'nde bulunan Türkiye'nin en büyük adası olan Gökçeada seçilmiştir.

Gökçeada'nın seçilmesinin nedenleri şunlardır:

-Gökçeada, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından ülkemizin en önemli bölgelerindedir.

-Ada olduğu için Gökçeada'nın elektrik ihtiyacı tek enerji nakil hattıyla karşılanmaktadır. Bu durum, enerjinin sürekliliği açısından risklidir. İletim hattında meydana gelebilecek bir arıza nedeniyle tüm ada elektriksiz kalabilir. Adanın elektrik ihtiyacının alternatif kaynaklarla adada üretilmesi, elektrik enerjisinin sürekliliğini artırır.

-Gökçeada ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen rüzgar hızı verileri, HOMER programında kullanılmak için uygun durumdadır.

-Rüzgar enerjisi potansiyeli fazla diğer bir ada olan Bozcaada'da rüzgar santrali mevcut olmasına rağmen, Gökçeada'da henüz kurulu rüzgar santrali bulunmamaktadır.

Gökçeada'nın elektrik ihtiyacını karşılayacak yenilenebilir enerjili hibrit veya hibrit olmayan sistem tasarımının en uygununa karar verebilmek için, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından yapılan HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) (Version 2.52 Beta) programı kullanılmıştır. HOMER giriş verilerini elde etmek için, kullanılan sistemler hakkında bilgiler toplanmıştır. Bu bilgiler, sistemleri oluşturan parçaların teknik özellikleri, yatırım maliyetleri ve bakım maliyetleri gibi verilerdir.

Temiz enerji sistemleri; güneş, rüzgar, yakıt hücreleri ve biyokütle enerjisi gibi sistemlerden oluşabilir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve/veya rüzgar enerjisi kullanılması düşünülerek bilgisayar benzetimleri yapılmıştır.

Ayrıca, çeşitli durumlarda dizel jeneratör kullanılması da senaryolara eklenmiştir. Dizel jeneratör kullanılmasıyla oluşan gaz emisyonları da verilmiştir. HOMER programıyla yapılan benzetimlerde; en ucuz elektrik maliyetinin hesaplanmasına, en düşük toplam net şimdiki maliyete indirgenmiş yenilenebilir sistemlerin bulunmasına ve sistem yapılarının incelenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Gökçeada'nın yazlık ve kışlık yük karakteristiklerini belirlemek amacıyla; TEİAŞ'ın Gökçeada'yı besleyen çıkışının 05/01/2007 ve 08/08/2007 tarihlerindeki güç değerleri, saatlik olarak alınmıştır. TEİAŞ'tan alınan saatlik verilerle yük profilleri HOMER programında oluşturulmuştur. Bu yöntemle, daha gerçekçi yük profilleri oluşturulmuştur. Bu teze benzer diğer çalışmalarda ise, nüfus sayısı kullanılarak kişi başı yük tüketimleri için varsayımlar yapılarak, ortalama bir yük oluşturulduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise, sistemin mümkün olduğunca gerçek zamanlı çalışması amaçlanmıştır. Örneğin; yük miktarının fazla üretimin az olduğu bazı zamanlar için akülerden besleme yapmak gibi durumlar da modellere yansıtılabilmektedir. Bununla beraber, HOMER programında, en küçük zaman dilimi 1 saattir. Bu yüzden, 1 saatten küçük anlık değişimlerle ilgili analizler yapılamamıştır.

Benzetim sonuçlarına göre, Gökçeada için rüzgar enerji santralının uygun bir yatırım olacağı görülmüştür. Özellikle; şebekeye enerji satışının olduğu senaryo sonuçlarına göre, Gökçeada'nın enerji ihtiyacından daha fazla üretilen enerjinin şebekeye satılmasıyla, elde edilen gelirlerin toplam giderlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla beraber, pratikte rüzgar santralini kuracak tüzel kişilerin, santralde üretilen enerjinin hepsini satacağı için üretilen bütün enerjinin satışı yapılarak enerji maliyeti daha da düşük olacaktır. Ayrıca, santralin gücünün Gökçeada'yı beslemeye yetmediği anlarda santral şebekeden enerji satın almayacaktır; çünkü Gökçeada'nın yükü şu anki mevcut duruma göre şebekeden beslenmektedir. HOMER programıyla gerçekleştirilen, şebekeye bağlı durum senaryosunda, maliyeti arttıran bu dezavantajlara rağmen benzetim yapılmıştır. Bu sebeplerden dolayı, şebekeye satışı senaryonun maliyeti gerçek hayatta daha düşük olacaktır.

Şebeke bağlantılı senaryolarda, üretim fazlası enerjinin tamamının şebekeye satıldığı düşünülmüştür. Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun 6. Maddesine göre şebekeye satışlar için çeşitli kolaylıklar ve güvence verilmiştir. Bununla birlikte, pratikte bunun sağlanabilmesi için EPDK'nın serbest piyasa üzerinde denetimlerini arttırması gerekir.

PV panelli senaryo sonuçlarına göre, Gökçeada'da güneş enerjisi sistemlerinin şu anki yüksek PV panel ve akü maliyetleri düşünüldüğünde, tercih edilecek kadar ucuz bir enerji kaynağı olmadığı görülmektedir. PV hücre maliyetlerinin azaltılması için yerli Ar-Ge çalışmalarının teşvik edilmesi gerekmektedir. PV panellerde, gümrük vergisi ve KDV gibi vergilerin azaltılması, panel maliyetlerini azaltarak ülkemizde PV panel kullanımını artırabilir. Bununla beraber, PV panel ithalatının artmasıyla ülkemizin dış açığının da artacağı unutulmamalıdır. Ülkemizin ekonomik planlamasıyla ilgilenen kurumlarımızın bu tür dengelere dikkat etmeleri gerekmektedir.

Ayrıca; ülkemizde yenilenebilir enerjinin bireysel kullanımının artması için bazı Avrupa ülkelerinde kullanılan, üretilen fazla enerjinin şebeke tarafından satın alınması yöntemi uygulanmalıdır. Bu uygulama için verilen fiyatın son kullanıcı için teşvik edici ve cazip 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 [5].

Bu çalışmada, rüzgar santrallerinin veya güneş enerjisi sistemlerinin(eviriciyle) şebekeye bağlantılarında meydana gelen harmonikler ve enerji kalitesi konularına değinilmemiştir. Bu konular da enerjinin kalitesi ve güvenilirliği açısından önem arz etmektedir.

Teknolojinin daha da gelişmesiyle birlikte; hidrojenin elde edilmesinin ve depolanmasının ucuzlaması, ve yakıt hücreli sistemlerin de yaygınlaşması olasıdır. Yakıt hücreli sistemlerin yaygınlaşmasıyla enerjinin depolanması için kurşun-asit, nikel-kadmiyum, vs... gibi çevreye zararlı maddelerin kullanıldığı akülerin kullanımı azalacaktır. 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 düşünmeyip, bu kaynakların insan sağlığı ve çevre açısından önemine de dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak; bu tez çalışmasında yenilenebilir enerjili sistemler tanıtılmış ve HOMER programıyla yapılan benzetimlerde, Gökçeada'nın elektrik ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanmasının uygun bir yatırım olacağı görülmüştür. Benzetim sonuçlarına göre, gereken alan ihtiyacının da Gökçeada'da mevcut olduğu belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.kuresel-isinma.org>
- [2] http://www.norwin.dk/Building_integration.htm
- [3] <http://www.inhabitat.com/>
- [4] **Durak, M.**, 2005, Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler ve Türkiye İçin Öneriler, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 2005, Mersin
- [5] Temiz Dünya Ekoloji Derneği Güneş Enerjisi Teşvik Yasası Çağrısı (6-9 Mart 2008 Güneş Enerjisi Teknolojileri Fuarı)
- [6] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, www.epdk.gov.tr
- [7] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>
- [8] <http://www.ruzgarenerjisibirligi.org.tr>
- [9] Google Earth Programı
- [10] <http://www.gokceadarehberi.com>
- [11] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Poyraz>
- [12] **Artar,H.**, 2005 Gökçeada rüzgar enerji potansiyelinin incelenmesi ve enerji dönüşüm analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] **Manwell, J. F. ve McGowan, J. G.ve Rogers A. L.**, 2002. Wind Energy Explained, John Wiley & Sons Ltd., 44-60
- [14] **Eskin, N., Artar, H., Tolun, S.**, 2006. Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- [15] **Camerlynck, J.**, 2004. Modelling of Renewable Energy Systems in the Maldives, Utrecht University
- [16] **Şen, Ç.**, 2003. Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

- [17] <http://www.windpower.org>
- [18] **R. Gasch, R., Twele, J.** 2002. Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation. Solarpraxis AG, Berlin.
- [19] **Güneş,İ.,** 2006. Bir Rüzgar Türbininin Modellenmesi, Simulasyonu Ve Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [20] **Yerebakan, M.,** 2001. Rüzgar Enerjisi, Su Matbacılık Ltd Şti., İstanbul.
- [21] **Ceylan, M.,** 2006. Muğla Bölgesi'nde Mermer Endüstrisinin Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin, Matlab Paket Programı İle Rüzgar Çiftliği Tasarım Çalışması, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [22] **Özpinar, M.,** 2007. Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Yapay Sinir Ağları yöntemiyle Enerji Üretiminin Modellenmesi Ve Planlanması, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **Patel, Mukund R.,** 2006. Wind and solar power systems : design, analysis, and operation. Taylor & Francis, Boca Raton.
- [24] **Blaabjerg, F., Chen, Z.,** 2006. Power electronics for modern wind turbines. M&C Publishers, U.S.A.
- [25] **Hansen, L., Helle, L.,** 2001. Conceptual survey of Generators and Power Electronics for Wind Turbines, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
- [26] <http://www.gepower.com/>
- [27] <http://www.vestas.com/>
- [28] **Patel, Mukund R.,** 1999. Wind and solar power systems, Boca Raton. CRC Press.
- [29] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>
- [30] **Bahtiyar, B.** 2006, Fotovoltaik Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım Ve Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [31] http://www1.eere.energy.gov/solar/pv_systems.html
- [32] http://www.fvgenenergy.com/photovoltaic_eng/how_pv_cell_works.html
- [33] **Godfrey, B.,** 2004. Renewable Energy: power for a sustainable future, Oxford University Press, United Kingdom,

- [34] <http://www.sharp-world.com>
- [35] <http://www.solazone.com.au/tracker.htm>
- [36] **Henryson, M., Svensson. M., 2004.** Renewable Power for the Swedish Antarctic Station Wasa. *Yüksek Lisans Tezi*, Department of Energy Technology, Stockholm.
- [37] **Farret, Felix A.** 2006. Integration of alternative sources of energy. Wiley-Interscience
- [38] <http://www.mutlu.com.tr/>
- [39] Electrotech Fuarı (Mart 2008 İstanbul)
- [40] **Markvart, T., Castaner, L., 2003.** Practical handbook of photovoltaics : fundamentals and applications. Elsevier Advanced Technology, New York.
- [41] <http://www.solarbuzz.com/Inverterprices.htm>
- [42] <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=703>
- [43] <http://www.borusanmakina.com/BorusanGucSistemleri/Products/DieselGenerators.aspx>
- [44] http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/dizel_motorlar/dizel_jenarator.htm
- [45] **Aydın, N., Başar, M., Coşkun, M., 2006.** Finansal Yönetim, Eskişehir
- [46] HOMER Programı Yardım Dosyaları
- [47] <http://www.fxstreet.com/fundamental/interest-rates-table>
- [48] <http://www.tcmb.gov.tr/>
- [49] <http://www.bigpara.com>
- [50] <http://gm.poas.com.tr/pompafiyat>

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adapazarı'nda tamamladı. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. de göreve başladı. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen SEDAŞ Genel Müdürlüğü İşletme-Bakım Müdürlüğünde görevine devam etmektedir.