

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BIYOKÜTLE-RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM  
SİSTEMİ KULLANILARAK KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
KAYALI YERLEŞKESİNİN TEKNO-EKONOMİK AÇIDAN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sibel DURSUN**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY**

**MART 2016**



**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BIYOKÜTLE-RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM  
SİSTEMİ KULLANILARAK KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
KAYALI YERLEŞKESİNİN TEKNO-EKONOMİK AÇIDAN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sibel DURSUN  
(1148204103)**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY**

**MART 2016**




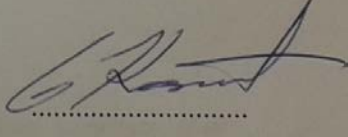
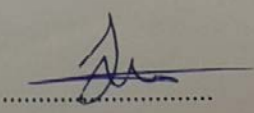
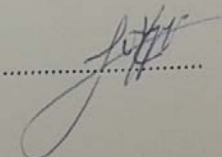
Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148204103 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sibel DURSUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“BİYOKÜTLE-RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ KULLANILARAK KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI YERLEŞKESİNİN TEKNO-EKONOMİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY  
Kırklareli Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** Yrd. Doç. Dr. Engin HÜNER  
Kırklareli Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Gökhan KOÇYİĞİT  
Trakya Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR  
Enstitü Müdür V.



**Teslim Tarihi : 12 Şubat 2016**  
**Savunma Tarihi : 24 Mart 2016**



*Beni meslek yaşamım süresince destekleyen ve bana her zaman yardımcı olan kıymetli eşim Bahtiyar DURSUN'a ve oğlum Ömer Kayra DURSUN'a ithaf ediyorum.*





Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada özgün olmayan tüm kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

İmza

Sibel DURSUN

.../.../2016



## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle her konuda bana destek olup yönlendiren değerli hocam, danışmanım Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY'e verilerin toplanması aşamasında desteklerinden ötürü Arş.Gör. Kazım ZENGİN'e ve tezin hazırlanmasında her türlü desteğinden ötürü eşim Doç.Dr.Bahtiyar DURSUN'a teşekkür ederim.

Mart 2016

Sibel DURSUN



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>BEYAN SAYFASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Tezin Kapsamı .....	2
<b>2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli .....	6
2.1.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi Potansiyeli .....	6
2.1.2 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli .....	8
2.1.3 Kırklareli’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli .....	12
2.2 Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	14
2.2.1 Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	15
2.2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	16
2.2.3 Kırklareli’de Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	19
2.3 Biyokütle Enerjisi Potansiyeli .....	21
2.3.1 Dünyada Biyokütle Enerjisi Potansiyeli .....	21
2.3.2 Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli .....	21
2.3.3 Kırklareli’de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli .....	22
<b>3. YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Rüzgar Türbin Teknolojisi .....	25
3.1.1 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler .....	29
3.1.1.1 Sabit hızlı rüzgar türbinleri .....	29
3.1.1.2 Sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinleri .....	30
3.1.1.3 Değişken hızlı rüzgar türbinleri .....	31
3.1.1.4 Tam skalalı frekans konverterli rüzgar türbinleri .....	32
3.2 Güneş Enerjisi Teknolojisi .....	34
3.2.1 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Elektrik Devresi .....	35
3.2.2 Güneş Açılımları .....	35
3.2.3 Fotovoltaiklerin Yapısında Kullanılan Malzemeler .....	39
3.2.4 Bataryalar .....	40
3.3 Biyokütle Enerji Teknolojileri .....	41
3.3.1 Fiziksel Prosesler .....	42
3.3.2 Biyolojik ve Kimyasal Prosesler .....	42

3.3.3 Termokimyasal Prosesler .....	44
<b>4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>46</b>
<b>5. HOMER YAZILIMININ TANITILMASI VE TEKNO-EKONOMİK PARAMETRELERİN İNCELENMESİ .....</b>	<b>52</b>
5.1 Simülasyon .....	54
5.2 Optimizasyon .....	55
5.3 Hassaslık Analizi.....	58
5.4 Tekno-ekonomik Analiz.....	58
<b>6. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>62</b>
6.1 Yük Profiline Modellenmesi .....	62
6.2 Enerji Kaynaklarının Modellenmesi.....	65
6.2.1 Güneş Kaynağının Modellenmesi .....	65
6.2.2 Rüzgar Kaynağının Modellenmesi .....	67
6.2.3 Biyokütle kaynağının modellenmesi.....	68
6.3 Rüzgar Türbininin Modellenmesi.....	69
6.4 Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi.....	70
6.5 Biyokütle Generatörü .....	71
6.6 Bataryanın Modellenmesi.....	71
6.7 Dönüştürücünün (Converter) Modellenmesi.....	71
6.8 Şebekenin Modellenmesi.....	72
6.9 Ekonomik Parametrelerin Belirlenmesi .....	72
<b>7. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>74</b>
7.1 Hibrit Güç Üretim Sistemleri için İşletme Karakteristikleri .....	74
7.2 Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemlerinin Değerlendirilmesi .....	75
7.2.1 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemi .....	75
7.2.2 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi .....	79
7.2.3 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Fotovoltaik/Batarya Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemi .....	83
7.2.4 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi.....	87
7.2.5 Şebekeye Bağlı Rüzgar/Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi.....	93
<b>8. SONUÇLAR .....</b>	<b>102</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>110</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>116</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AA</b>	: Alternatif Akım
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>BGS</b>	: Biyokütle Güç Üretim Sistemi
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Telerür
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan
<b>COE</b>	: Cost of Energy, Düzeltilmiş Enerji Maliyeti
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CuInS<sub>2</sub></b>	: Bakır İndiyum 2-Selenür
<b>ÇBAG</b>	: Çift Beslemeli Asenkron Generator
<b>DA</b>	: Doğru Akım
<b>DGM</b>	: Dalga Genişlik Modülasyonu
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>ESRI</b>	: Güneş Radyasyon Modeli
<b>FBGS</b>	: Fotovoltaik ve Biyokütle Güç Sistemi
<b>FS</b>	: Fotovoltaik Sistem
<b>GaAs</b>	: Galyum Arsenit
<b>GEPA</b>	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
<b>HOMER</b>	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
<b>Li-ion</b>	: Lityum-İyon
<b>Li-poly</b>	: Lityum-Polimer

<b>MATLAB</b>	: Matrix Laboratory
<b>NASA</b>	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
<b>NiCd</b>	: Nikel-Kadmiyum
<b>NiMH</b>	: Nikel-Metal Hidrit
<b>NPC</b>	: Total Net Present Cost, Toplam Bugünkü Net Maliyet
<b>NREL</b>	: National Renewable Energy Laboratory
<b>Pb-Asit</b>	: Kurşun-Asit
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>RBGS</b>	: Rüzgar ve Biyokütle Güç Sistemi
<b>REPA</b>	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>RES</b>	: Rüzgar Enerji Santrali
<b>RGS</b>	: Rüzgar Güç Üretim Sistemi
<b>RSAG</b>	: Rotoru Sargılı Asenkron Generatorler
<b>SKAG</b>	: Sincap Kafesli Asenkron Generatör
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>YEGM</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>Zn-air</b>	: Çinko-Hava



## SEMBOL LİSTESİ

$C$	: Akülerin Kapasitesi
$C_{ann,tot}$	: Toplam Yıllık Maliyet
$C_{NPC}$	: Toplam Bugünkü Maliyet
$C_p$	: Güç Katsayısı
$C_{rep}$	: Komponentin Yenileme Maliyeti
$CRF$	: Sermaye Geri Kazanım Faktörü
$E_{grid,sales}$	: Şebekeye Toplam Enerji Satışı
$E_{prim,AC}$	: AC Yük Miktarı
$E_{prim,DC}$	: DC Yük Miktarı
$f$	: Yıllık Enflasyon Oranı
$I$	: Çıkış Akımı
$I_D$	: Diyotun Doyma Akımı
$I_L$	: Gün Işığının Ürettiği Akım
$I_{SC}$	: Kısa Devre Akımı
$I_{SH}$	: Paralel Sızıntı Akımı
$i$	: Reel Faiz Oranı
$i_0$	: Nominal Faiz Oranı
$K$	: Boltzman Sabiti
$N$	: Yıl Sayısı
$R$	: Rotor Yarıçapı
$P_m$	: Türbinden elde edilen güç

$R_{comp}$	: Komponentin Ömrü
$R_{proj}$	: Proje Ömrü
$R_{rem}$	: Komponentin Kalan Ömrü
$R_s$	: Çıkış Akımına Karşı Gösterilen İç Direnç
$R_{SH}$	: Sızıntı Akımı İle İlgili Olan Direnç, Paralel Direnç
$S$	: Hurda Değeri
$T$	: Sıcaklık
$u$	: Rüzgar Hızı
$V_{OC}$	: Açık Devre Gerilimi
$Q$	: Elektron Yüğü
$\emptyset$	: Enlem Açısı
$\theta_z$	: Zenit Açısı
$w$	: Açısal Hız
$w_r$	: Rotor Açısal Hızı
$\theta$	: Güneş Geliş Açısı
$\alpha_s$	: Güneş Yükseklik Açısı
$\beta$	: Eğim Açısı
$\delta$	: Deklinasyon Açısı
$\lambda$	: Rüzgar Türbini Dönüşüm Sistemlerinde Uç Hız Oranı
$\gamma$	: Yüzey Azimut Açısı
$\gamma_s$	: Güneş Azimut Açısı
$\rho$	: Havanın Yoğunluğu

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1:</b> Türkiye'nin bölgelerine ait yıllık ortalama rüzgar hızı ve yıllık ortalama rüzgar enerji yoğunluğu.....	8
<b>Çizelge 2.2:</b> Bazı yerlere ait aylık ortalama rüzgar hız değerleri (m/s).....	9
<b>Çizelge 2.3:</b> Kırklareli'nde işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri .....	14
<b>Çizelge 2.4:</b> Kırklareli'nde inşa halindeki rüzgar enerjisi santralleri .....	14
<b>Çizelge 2.5:</b> Güneş Radyasyon Miktarı .....	15
<b>Çizelge 2.6:</b> Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	17
<b>Çizelge 2.7:</b> Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı .....	18
<b>Çizelge 2.8:</b> Türkiye'deki hayvan sayısı atık miktarı ve elde edilebilir biyogaz miktarı .....	22
<b>Çizelge 3.1:</b> PV hücrelerin verimlilik değerleri.....	40
<b>Çizelge 5.1:</b> 140 Farklı Sistem Konfigürasyonu İçeren Durum .....	57
<b>Çizelge 6.1:</b> Merkezi Derslik -2 Mevsimsel yük değerleri.....	65
<b>Çizelge 7.1:</b> Güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi .....	76
<b>Çizelge 7.2:</b> Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri .....	77
<b>Çizelge 7.3:</b> Fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı .....	78
<b>Çizelge 7.4:</b> Rüzgar hızı ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi .....	80
<b>Çizelge 7.5:</b> Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri.....	81
<b>Çizelge 7.6:</b> Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilebilir güç sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı.....	82
<b>Çizelge 7.7:</b> Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu değeri arasındaki değişimin parametrik analizi .....	84
<b>Çizelge 7.8:</b> Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri.....	85

<b>Çizelge 7.9:</b> Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı .....	86
<b>Çizelge 7.10:</b> Rüzgar hızı, güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi .....	88
<b>Çizelge 7.11:</b> Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri .....	91
<b>Çizelge 7.12:</b> Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı.....	93
<b>Çizelge 7.13:</b> Rüzgar hızı, güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi .....	94
<b>Çizelge 7.14:</b> Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri .....	98
<b>Çizelge 7.15:</b> Şebekenin aylık olarak satın alınan ve satılan enerji durumu .....	100
<b>Çizelge 7.16:</b> Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı ..	101

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	5
Şekil 2.2: Dünyada rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi .....	7
Şekil 2.3: Dünyada eklenen rüzgar kurulu kapasitesi.....	7
Şekil 2.4:Türkiye'nin 30m yükseklikteki rüzgar hız dağılımı.....	10
Şekil 2.5: Türkiye'nin yer yüzeyinden 50m yükseklikteki rüzgar potansiyeli .....	10
Şekil 2.6: Son 10 yıla ait Türkiye kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi ve her yıl eklenen kapasite değerleri.....	11
Şekil 2.7: Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı .....	12
Şekil 2.8:Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı .....	13
Şekil 2.9: Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası .....	16
Şekil 2.10: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) .....	19
Şekil 2.11: Kırklareli ilinin toplam güneş radyasyon dağılımı haritası .....	19
Şekil 2.12: Kırklareli ili ortalama güneş radyasyon verileri.....	20
Şekil 2.13: Dünyanın birincil enerji kaynaklarının dağılımı .....	21
Şekil 3.1: Rüzgar enerji dönüşüm sistemlerinin temel aşamaları.....	25
Şekil 3.2: Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri.....	26
Şekil 3.3: Rüzgar enerji dönüşüm sistemi bileşenleri.....	27
Şekil 3.4: Sabit hızlı rüzgar türbinleri .....	30
Şekil 3.5: Sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinleri.....	31
Şekil 3.6: Değişken hızlı rüzgar türbinleri.....	32
Şekil 3.7: Tam skalalı frekans konverterli değişken hızlı rüzgar türbinleri .....	33
Şekil 3.8: Fotovoltaik sistemin yapısı.....	35
Şekil 3.9: Fotovoltaik hücrenin eşdeğer elektrik devresi .....	35
Şekil 3.10: PV modülün akım-gerilim grafiği .....	36
Şekil 3.11: Maksimum gücün elde edildiği nokta .....	37
Şekil 3.12: Yılın Farklı Zamanlarındaki Dünyanın Yörüngesi Ve Deklinasyonu ....	38
Şekil 3.13: Yazın ve kışın öğle saatinde $\theta_z$ , $\delta$ ve $\emptyset$ açısı arasındaki ilişki.....	38

<b>Şekil 5.1:</b> Simülasyon, optimizasyon, ve hassaslık analizi arasındaki ilişki .....	54
<b>Şekil 5.2:</b> Sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları.....	57
<b>Şekil 6.1:</b> Merkezi Derslik-2'nin uydu görüntüsü .....	63
<b>Şekil 6.2:</b> Merkezi Derslik-2'nin fiziki dış görünüşü .....	64
<b>Şekil 6.3:</b> Merkezi Derslik -2 Günlük Yük Eğrisi .....	64
<b>Şekil 6.4:</b> Aylık ortalama güneş radyasyonu ve bulutsuzluk indeksi .....	66
<b>Şekil 6.5:</b> Derslik 2'nin rüzgar hız verileri .....	67
<b>Şekil 6.6:</b> Merkezi Derslik -2'nin rüzgar hız verilerinin Weibull Dağılımı .....	68
<b>Şekil 6.7:</b> Kırklareli'nde 3500 hayvandan elde edilebilecek biyokütle kaynağı .....	69
<b>Şekil 6.8:</b> Northern Power NW/100/19 rüzgar türbini güç eğrisi .....	69
<b>Şekil 7.1:</b> Şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi.....	75
<b>Şekil 7.2:</b> Fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi .....	78
<b>Şekil 7.3:</b> Şebekeden bağımsız Rüzgar/Biyokütle/Batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi .....	79
<b>Şekil 7.4:</b> Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi .....	82
<b>Şekil 7.5:</b> Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi .....	83
<b>Şekil 7.6:</b> Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi .....	86
<b>Şekil 7.7:</b> Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi.....	87
<b>Şekil 7.8:</b> Rüzgar/fotovoltaik/ biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminden aylık ortalama elektrik üretimi .....	92
<b>Şekil 7.9:</b> Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi .....	93
<b>Şekil 7.10:</b> Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık ortalama elektrik üretimi.....	99
<b>Şekil 8.1:</b> Biyokütle kaynağı ve güneş radyasyonu değerinin değişimini gösteren hassaslık analizi.....	103
<b>Şekil 8.2:</b> Biyokütle kaynağı ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi .	104
<b>Şekil 8.3:</b> Güneş radyasyonu değeri ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi .....	105
<b>Şekil 8.4:</b> Biyokütle kaynağının 30t/gün olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi .....	106
<b>Şekil 8.5:</b> Biyokütle kaynağının 30t/gün olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi .....	107

# **BİYOKÜTLE-RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ KULLANILARAK KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI YERLEŞKESİNİN TEKNO-EKONOMİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Günümüzde elektrik enerjisi tüketiminin her geçen yıl hızla artması, kullanılan kaynakların fosil kökenli kaynaklar oluşu, bu kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve dışa bağımlılık gibi etkenler, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemi artırmaktadır. Dahası, fosil kaynakların kullanımından dolayı açığa çıkan sera gazlarının etkisi ile meydana gelen küresel ısınma ve hava kalitesinin bozulması gibi çevresel sorunlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarını öne çıkaran diğer etkenlerdir.

Bu tez çalışmasında, Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesi Merkezi Derslik-2'nin elektrik enerjisi gereksinimini birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak karşılanabilirliği analiz edilmiştir. Kırklareli'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından en uygun enerji kaynaklarının rüzgar, güneş ve biyokütle olduğu TÜİK ve YEGM verilerinden tespit edilmiştir. Bu kapsamda Merkezi Derslik-2'nin enerji gereksiniminin rüzgar, güneş ve biyokütle enerji kaynakları kullanarak oluşturulan hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile karşılanması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla Merkezi Derslik-2'nin elektrik yükünü karşılayabilecek en uygun hibrit yenilenebilir güç üretim sistemini belirlemek için, HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yazılımı, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş olup, önerilen ve gerçek dağıtılmış üretim sistemlerinin karşılaştırmalı ekonomik analizini yapan ve sistemlerin toplam bugünkü net maliyetlerine (Total Net Present Cost) göre sıralayan bir yazılımdır. Bir sistem, yatırım maliyeti daha yüksek olmasına rağmen, sistemin ömür boyu maliyeti dikkate alındığında daha ekonomik olabilir. HOMER yazılımı incelenen sistem için belirli parametrelerin değerlerinin değiştirilebildiği hassaslık analizi (Sensitivity Analysis) de yapabilmektedir. Bu çalışmada HOMER yazılımı kullanılarak en uygun hibrit güç üretim sistemi belirlendikten sonra bu sistemin tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilecektir. Ayrıca biyokütle kaynağı (\$/ton), rüzgar hızı (m/s) ve güneş radyasyonu (kWh/m<sup>2</sup>/gün) değişkenleri kullanılarak hassaslık analizi yapılacaktır.

Tezin tamamı sekiz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde tezin amacı ve kapsamı belirtilecektir.

İkinci bölümde dünyada, Türkiye'de ve Kırklareli'nde yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinden bahsedilecektir.

Üçüncü bölümde rüzgar, güneş ve biyokütle enerji teknolojileri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Dördüncü bölümde rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç sistemleri ile ilgili literatürde yapılmış çalışmaların özeti verilecektir.

Beşinci bölümde HOMER yazılımının tanıtılması ve hibrit sistemler için tekno-ekonomik parametrelerinin belirlenmesi anlatılacaktır.

Altıncı bölümde Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesi için fotovoltaik/rüzgar/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi konfigürasyonlarında kullanılan sistem bileşenlerinin modellenmesi gerçekleştirilecektir.

Yedinci bölümde ise rüzgar/biyokütle/batarya, fotovoltaik/biyokütle/batarya, rüzgar/fotovoltaik/batarya, rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya ve şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemlerinin modellenerek tekno-ekonomik açıdan analizleri gerçekleştirilecektir.

Son bölümde ise hibrit yenilenebilir güç üretim sistemlerinin birbirlerine göre karşılaştırılmalı analizi yapılacak ve bu analizden elde edilen sonuçlar irdelenecektir.



# **EVALUATION ON TECHNO-ECONOMICALLY ANALYSIS OF KIRKLARELI UNIVERSITY KAYALI CAMPUS USING BIOMASS/WIND/SOLAR HYBRID POWER GENERATION SYSTEM**

## **SUMMARY**

Today, such factors as the rapid increase of electricity energy consumption, the fact that the used resources are fossil fuels, the limited reserve of these resources and external dependence raise the importance attached to renewable energy sources. Furthermore, such problems as global warming resulting from the greenhouse impact emerging with the use of fossil resources and the deterioration of air quality are the other factors putting renewable energy resources into the limelight.

In this thesis study, the feasibility of meeting electric energy need of Kırklareli University Kayalı Campus Central Classroom-2 using more than one renewable energy resources has been analyzed. It has been ascertained from TUIK and YEGM data that the most appropriate energy sources of Kırklareli with respect to renewable energy resources potential are wind, solar and biomass. In this context, a study has been carried out over how to meet the energy need of Central Classroom-2 with hybrid renewable power generation system formed by using wind, solar and biomass energy resources. For this purpose, in order to determine the most suitable hybrid renewable power system that can meet the electric load of Central Classroom-2, HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) software was developed by NREL (National Renewable Energy Laboratory), and it is a software which is advised and makes the comparative economic analysis of production systems and sorts the systems according to their total net present cost. Despite its higher investment cost, a system can be more economic considering its lifetime cost. HOMER software can also achieve sensitivity analysis for the analyzed system where the values of certain parameters can be changed. In this study, after ascertaining the most suitable hybrid power generation system through using HOMER software, the techno-economic analysis of this system will be performed. Besides, using biomass resource (\$/ton), wind speed (m/s) and solar radiation (kWh/m<sup>2</sup>/day) variables, sensitivity analysis will be conducted.

The whole thesis consists of six chapters

In the first chapter, the purpose and scope of thesis will be declared.

In the second chapter, the potential of renewable energy sources in the world, Turkey and Kırklareli have been handled.

In the third chapter, detailed information will be given about wind, solar and biomass energy technologies.

In the fourth chapter, the summary of the studies in the literature regarding wind/photovoltaic/biomass/battery hybrid renewable power systems will be presented.

In the fifth chapter, HOMER software will be introduced and the determination of techno-economic parameters for hybrid systems will be discussed.

In the sixth chapter, modelling of the system components used in photovoltaic/wind/biomass/battery hybrid power generation system configurations for Kırklareli University Kayalı campus will be achieved.

In the seventh chapter, wind/biomass/battery, photovoltaic/biomass/battery, wind/photovoltaic/battery, wind/photovoltaic/biomass/battery and network connected wind/photovoltaic/biomass/battery hybrid renewable power production systems will be modelled and their techno-economic analyses will be made.

In the last chapter, the comparative analysis of of hybrid renewable power generation systems will be made and the results to be obtained from the analysis will be scrutinized.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı Türkiye'nin kuzey batısındaki tarım ve orman şehri Kırklareli'nin tek üniversitesi olan Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesi Merkezi Derslik-2'nin elektrik enerjisi gereksinimini birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak karşılanılabilirliğini analiz etmektir. Kırklareli'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından en uygun enerji kaynaklarının rüzgar, güneş ve biyokütle enerjileri olduğu TÜİK ve YEGM verilerinden tespit edilmiştir. Bu kapsamda Merkezi Derslik-2'nin enerji gereksiniminin rüzgar, güneş ve biyokütle enerji kaynakları kullanarak oluşturulan hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile karşılanması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla Merkezi Derslik-2'nin elektrik yükünü karşılayabilecek en uygun hibrit yenilenebilir güç üretim sistemini belirlemek için, HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yazılımı, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş olup, önerilen ve gerçek dağıtılmış üretim sistemlerinin karşılaştırmalı ekonomik analizini yapan ve sistemlerin toplam bugünkü net maliyetlerine (Total Net Present Cost) göre sıralayan bir yazılımdır. Bir sistem, yatırım maliyeti daha yüksek olmasına rağmen, sistemin ömür boyu maliyeti dikkate alındığında daha ekonomik olabilir. HOMER yazılımı incelenen sistem için belirli parametrelerin değerlerinin değiştirilebildiği hassaslık analizi (Sensitivity Analysis) de yapabilmektedir. Bu çalışmada HOMER yazılımı kullanılarak en uygun hibrit güç üretim sistemini belirledikten sonra bu sistemin tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilecektir. Ayrıca biyokütle kaynağı (\$/ton), rüzgar hızı (m/s) ve güneş radyasyonu (kWh/m<sup>2</sup>/gün) değişkenlerinin (rüzgar hızı ve güneş radyasyonu), (rüzgar hızı ve biyokütle kaynağı) ve (güneş radyasyonu ve biyokütle kaynağı) şeklinde ikili kombinasyonları ve (rüzgar hızı, biyokütle kaynağı ve güneş radyasyonu) şeklinde üçlü kombinasyonu için hassaslık analizi yapılacaktır.

## 1.2 Tezin Kapsamı

Tez kapsamında Kırklareli Üniversitesinin Kayalı yerleşkesi Merkezi Derslik-2'nin elektrik enerjisi gereksinimi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanacaktır. Bu bağlamda öncelikli olarak Kırklareli'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli hakkında bilgi verilecektir. Biyokütle potansiyeli, Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınan büyükbaş hayvan sayıları dikkate alınarak gerekli hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Saatlik ortalama rüzgar ve güneş verileri ise Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nden (YEGM) elde edilecektir. Ayrıca Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesinde bulunan Merkezi Derslik-2'nin elektrik enerji gereksinimi Kırklareli Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığından temin edilecektir. Verilerin tamamı elde edildikten sonra HOMER yazılımı ile sistemin her bir bileşeni dikkate alınarak hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin modellenmesi gerçekleştirilecektir. Sistemin modellenmesinden sonra simülasyon gerçekleştirilerek sistemlerin toplam bugünkü net maliyetlerine göre sıralanacaktır. En uygun hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin tekno-ekonomik analizleri yapılacaktır. Son olarak hassaslık analizi, biyokütle kaynağı (\$/ton), rüzgar hızı (m/s) ve güneş radyasyonu (kWh/m<sup>2</sup>/gün) değişkenlerinin ikili kombinasyonları (rüzgar hızı ve güneş radyasyonu), (rüzgar hızı ve biyokütle kaynağı), (güneş radyasyonu ve biyokütle kaynağı) ve üçlü kombinasyonu (rüzgar hızı, biyokütle kaynağı ve güneş radyasyonu) için gerçekleştirilecektir.

Tezin tamamı sekiz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde tezin amacı ve kapsamı belirtilecektir.

İkinci bölümde dünyada, Türkiye'de ve Kırklareli'nde yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde rüzgar, güneş ve biyokütle enerji teknolojileri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Dördüncü bölümde rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç sistemleri ile ilgili literatürde yapılmış çalışmaların özeti verilecektir.

Beşinci bölümde HOMER yazılımının tanıtılması ve hibrit sistemler için tekno-ekonomik parametrelerinin belirlenmesi anlatılacaktır.

Altıncı bölümde Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesi için fotovoltaik/rüzgar/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi konfigürasyonlarında kullanılan sistem bileşenlerinin modellenmesi gerçekleştirilecektir.

Yedinci bölümde ise rüzgar/biyokütle/batarya, fotovoltaik/biyokütle/batarya, rüzgar/fotovoltaik/batarya, rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya ve şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemlerinin modellenerek tekno-ekonomik açıdan analizleri gerçekleştirilecektir.

Son bölümde ise hibrit yenilenebilir güç üretim sistemlerinin birbirlerine göre karşılaştırılmalı analizi yapılacak ve bu analizden elde edilen sonuçlar irdelenecektir.



## 2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, hidroelektrik, biyokütle, rüzgar ve jeotermal enerji ) yenilenebilir, tükenmeyen, çevre dostu, sürdürülebilir ve konvansiyonel enerji kaynaklarına nazaran birçok çevresel faydaya sahip olan, işletme ve bakım masraflarının az olması gibi birçok avantaja sahip kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her birinin kendine özgü avantajları vardır. Potansiyelleri ölçüsünde faydalanılan kaynaklar olması ile de ulusal niteliklerinden dolayı güvenilir kaynaklardır. Enerji güvenliği açısından ülkelerin dışa bağımlılığını azaltan bir role sahiptir. Şekil 2.1’de yenilenebilir enerji kaynaklarının türleri görülmektedir.



Şekil 2.1: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum derecede fayda sağlayabilmek için o kaynak türünün yeterli düzeyde potansiyelinin olması gerekir. Bu türdeki kaynaklardan

enerji elde etmek için kaynağın bulunduğu yerde güç üretim sisteminin kurulması gerekir.

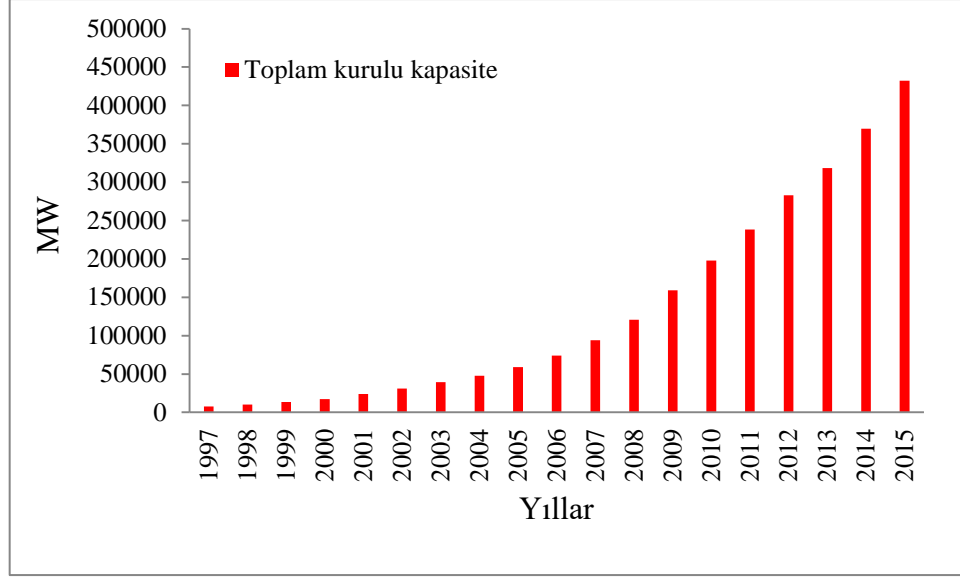
## **2.1 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli**

Rüzgar gücü, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın kullanılanı olup dünyada hızla büyüme gösteren bir enerji kaynağıdır. Bu duruma paralel olarak, dünyada rüzgar santrallerinin kurulu gücü de hızlı bir artış göstermektedir.

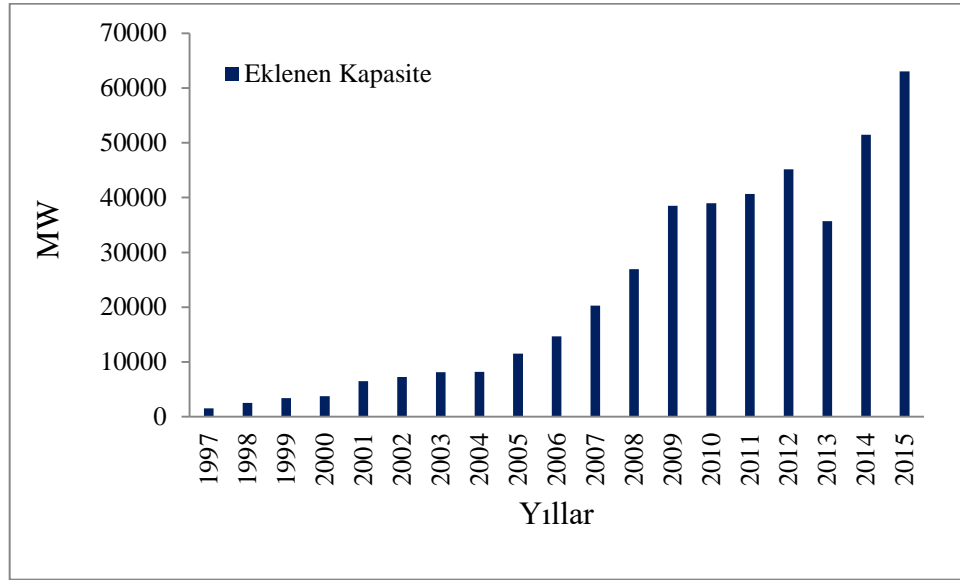
### **2.1.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi Potansiyeli**

Dünyanın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek ya da tahmin etmek oldukça zordur. Fakat yapılan birtakım bilimsel çalışmalar ile dünyanın teknik potansiyelinin sadece %10'unun kullanılmasıyla, dünya elektrik enerji gereksiniminin tamamının karşılanabileceği gösterilmiştir(Durak & S., 2008). Dünya rüzgar enerji potansiyelinin 50° kuzey ve 50° güney enlemleri arasındaki alanda 26,000 TWh/yıl olduğu, ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı 9,000 TWh/yıl'lık kapasitenin kullanılabilir olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi 1997 yılında 7480MW, 2008 yılı sonunda 121,188MW değerinde iken bu değer 2014 yılı sonunda 369,695MW'a ulaşmıştır. 2015 yılı içerisinde 63,013MW'lık eklenen kapasite ile 2015 yılı sonunda 432,708MW değerine ulaşmıştır. Şekil 2.2'de son ondokuz yıla ait rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi verilmiştir. Şekil 2.3'te ise her yıl eklenen rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi verilmiştir. Şekil 2.2 irdelendiğinde 2001 yılında %27'lik bir oran ile en fazla artışının olduğu görülmektedir. En düşük artış ise 2013 yılında %11 olarak ortaya çıkmıştır. Her yıl bir önceki yıla göre sürekli olarak artan kapasite miktarlarının yıllara göre dağılımına bakıldığında, dünya genelinde rüzgar enerjisine olan ilginin boyutları fark edilebilmektedir.





**Şekil 2.2:** Dünyada rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi



**Şekil 2.3:** Dünyada eklenen rüzgar kurulu kapasitesi

2014 yılı sonuna gelindiğinde rüzgar enerjisi kurulu kapasiteye 63,013MW'lık kapasitenin eklendiği görülmektedir. Eklenen bu kapasite 2015 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünde %17'lik bir büyüme sağlamıştır. 2012, 2013, 2014 ve 2015 sonunda rüzgar enerjisi kurulu güçlerin değişimi sırasıyla 283,068MW, 318,596MW, 369,553MW ve 432,708MW'tır(GWEC, 2016).

### 2.1.2 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiyede, rüzgar enerjisi potansiyeli üzerine yapılan çalışmaların önemi her geçen gün artarak devam etmektedir. Türkiye’nin teorik olarak yıllık rüzgar enerjisi potansiyeli çok fazla olup, elektrik tüketiminin yaklaşık iki katı olduğu belirtilmektedir. Türkiye’nin teknik rüzgar enerjisi potansiyeli 88,000MW ve ekonomik rüzgar enerjisi potansiyeli ise yaklaşık 10,000MW’tır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün raporuna göre Türkiye’de rüzgar enerjisi potansiyeli kullanılarak yaklaşık olarak 120 milyon kWh enerji elde edileceği tahmin edilmektedir. Günümüzde kurulu olarak faaliyet gösteren termal ve hidroelektrik santrallerin enerji üretiminden daha fazla enerji üretebilecek rüzgar enerjisi potansiyeli olduğunu yapılan çalışmalar göstermiştir(Alboyaci & Dursun, 2008; Balat, 2008; Hepbasli & Ozgener, 2004; Ozgur, 2008). Türkiye’nin 7 coğrafi bölgesine ait yıllık ortalama rüzgar hızı ve yıllık ortalama rüzgar enerji yoğunluğu Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Türkiye’nin bölgelerine ait yıllık ortalama rüzgar hızı ve yıllık ortalama rüzgar enerji yoğunluğu

<b>Bölge</b>	<b>Ortalama rüzgar hızı (m/s)</b>	<b>Rüzgar güç yoğunluğu (W/m<sup>2</sup>)</b>
Marmara bölgesi	3.29	51.91
Ege bölgesi	2.65	23.47
Akdeniz bölgesi	2.45	21.36
İç Anadolu bölgesi	2.46	20.14
Karadeniz bölgesi	2.38	21.31
Doğu Anadolu bölgesi	2.12	13.19
Güneydoğu Anadolu bölgesi	2.69	29.33
<b>Ortalama</b>	<b>2.58</b>	<b>25.82</b>

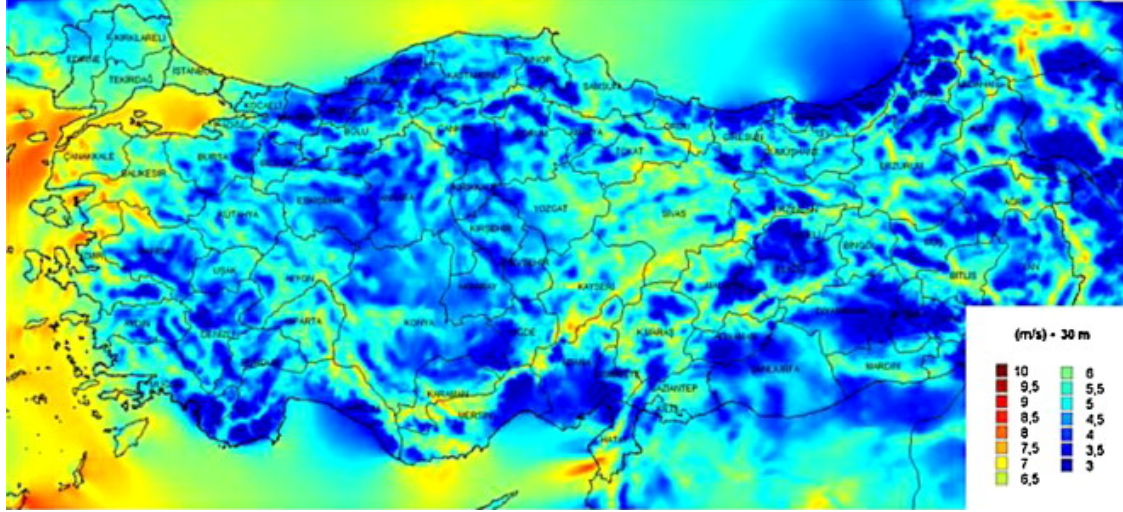
Türkiye'nin yedi bölgesi karşılaştırıldığında, rüzgar güç yoğunluğu en yüksek bölgeleri Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleridir. Dolayısıyla bu bölgelerin rüzgar hızı değerleri diğer bölgelere nazaran daha yüksektir. Ortalama rüzgar hızları 2.12m/s ile Doğu Anadolu bölgesinde en düşük iken 3.29m/s ile en yüksek rüzgar hızının Marmara bölgesinde olduğu görülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre Türkiye'nin ortalama rüzgar hızı 2.58m/s ve ortalama rüzgar güç yoğunluğu ise 25.82W/m<sup>2</sup>'dir. Rüzgar enerjisi uygulamaları için en çekici ve cazip bölgeleri Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleridir Bu bölgelerin çoğunda rüzgar hızı 3m/s'nin üzerinden olmasından dolayı rüzgar güç üretimi için uygun bölgelerdir. Bu bölgelerde yer alan bazı yerlere ait aylık ortalama rüzgar hızları Çizelge 2.2'de listelenmiştir(İlkiliç, 2012).

**Çizelge 2.2:** Bazı yerlere ait aylık ortalama rüzgar hız değerleri (m/s)

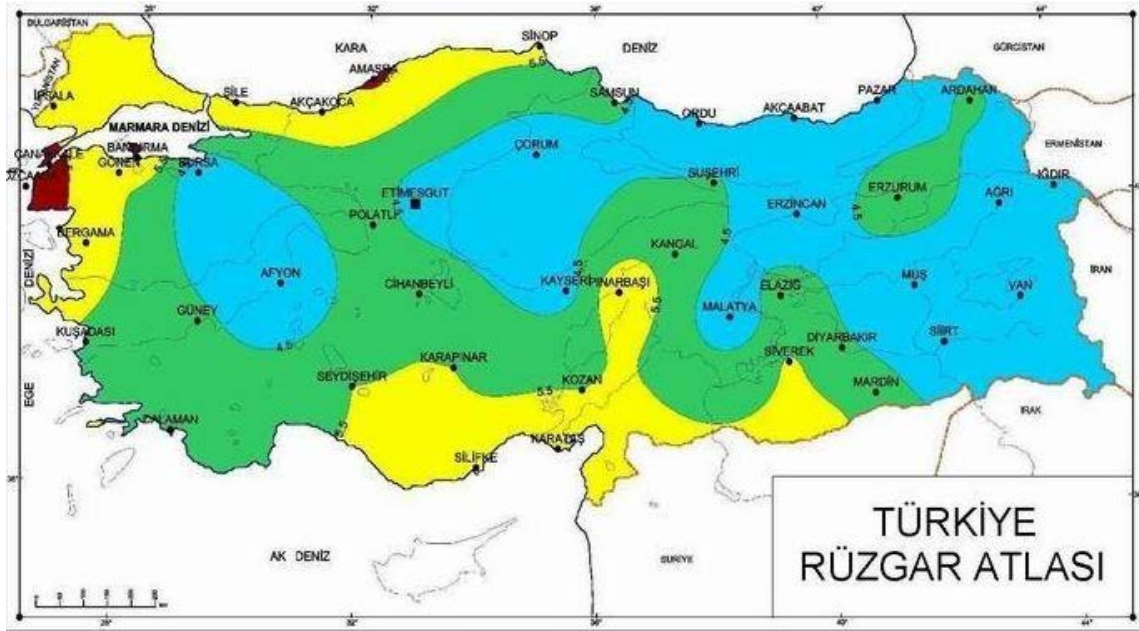
İstasyon	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort. değer
Akhisar	5.2	6.2	2.7	2.7	4.3	5.4	8.7	9.0	5.0	7.1	5.6	8.3	5.85
Bababurnu	6.0	6.0	5.9	6.0	3.0	5.3	6.2	6.4	4.5	5.7	5.9	8.2	5.75
Bandırma	-	-	8.1	6.6	6.5	6.8	8.2	9.6	6.1	8.4	8.1	12.0	8.04
Belen	4.8	4.9	5.4	6.0	5.0	9.3	11.5	10.3	8.2	5.3	5.6	5.8	7.41
Datça	4.6	5.1	4.7	4.5	6.5	5.6	8.0	9.9	6.2	5.5	5.3	5.4	5.9
Foça	5.6	5.5	5.6	5.3	4.8	5.5	5.8	6.3	4.7	5.8	6.0	7.4	5.7
Gelibolu	7.4	6.7	8.3	6.0	5.2	5.8	5.7	7.6	5.7	7.4	7.0	9.1	6.8
Gökçeada	7.7	6.9	8.1	6.7	5.3	5.9	6.2	7.8	5.7	7.5	7.6	10.8	7.2

Türkiye genelindeki ölçüm istasyonlarından alınan veriler kullanılarak, matematiksel ve istatistiksel yöntemler yardımıyla ülkemizin 10m, 30m ve 50m yüksekliklerdeki ortalama rüzgar hızları ve rüzgar güç yoğunluğu değerlerine dayanan rüzgar enerjisi potansiyel atlası (REPA) oluşturulmuştur. REPA ile ülkemiz üzerinde herhangi bir

noktanın rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. REPA'nın 30m yükseklikteki rüzgar hız verilerinin olduğu harita Şekil 2.4'te görülmektedir(REPA, 2015). Şekil 2.4'teki harita incelendiğinde rüzgar enerjisi potansiyelinin Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.



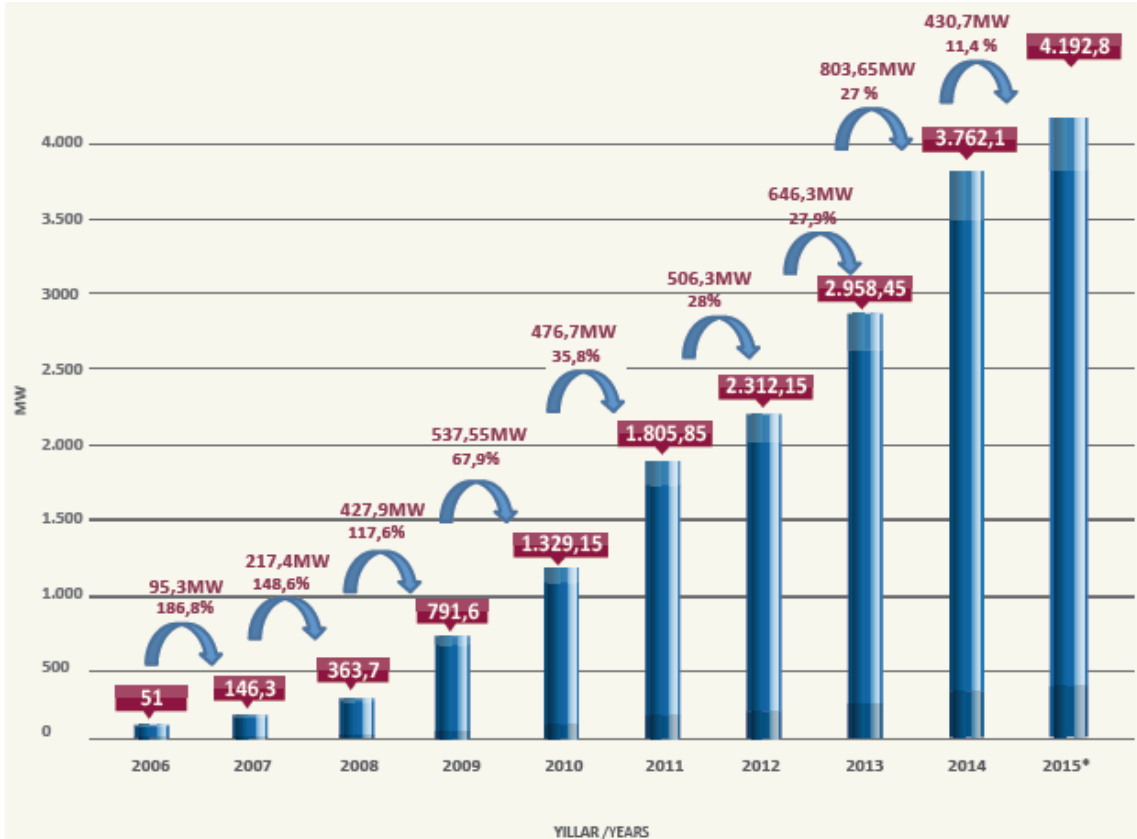
Şekil 2.4:Türkiye'nin 30m yükseklikteki rüzgar hız dağılımı



U (m/s)	> 7.5	7.5 - 6.5	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	4.5 >
P(Q/m <sup>2</sup> )	> 500	500 - 300	300 - 200	200 - 100	100 >

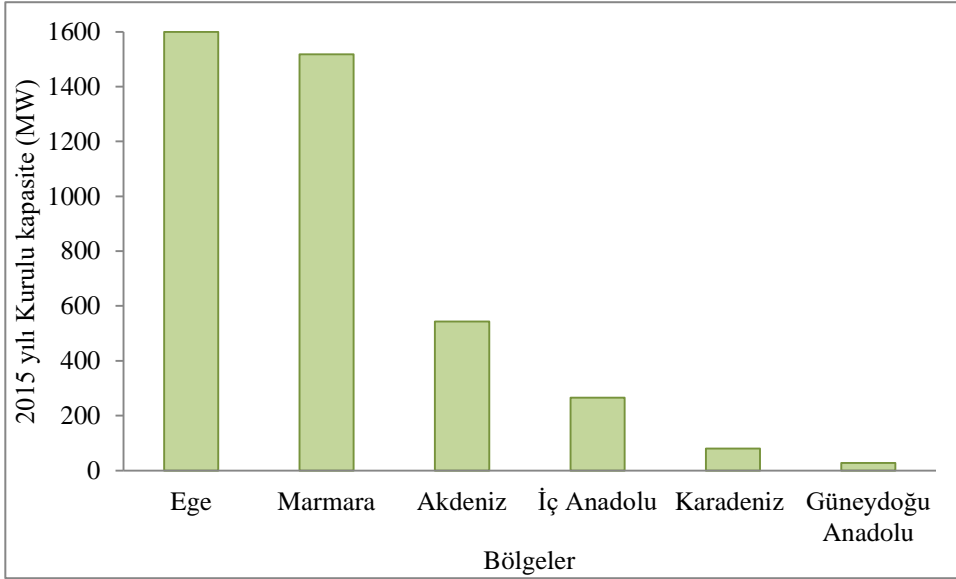
Şekil 2.5: Türkiye'nin yer yüzeyinden 50m yükseklikteki rüzgar potansiyeli

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi Türkiye'de kuzey-batı, kuzey, ve güney-batı yönlerinde özellikle batı anadolu kıyı kesimi (Çanakkale ve Balıkesir illeri) ve adalar rüzgar hızı değerlerinin oldukça yüksek olduğu yerlerdir(MGM, 2015a). Ayrıca Güneydoğu ve Akdeniz bölgelerinde Antakya, Osmaniye'nin kuzeyi, Siverek'in doğusu ve Mardin'in bazı ilçeleri de rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek yerlerdendir. Bu alanlarda teknik olarak ortalama rüzgar hız yoğunlukları  $200 - 300 \text{ W/m}^2$  olarak değişmektedir(İlkiliç & Aydın, 2015; İlkiliç, 2012). Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi incelendiğinde 1998 yılında 9MW iken 3 yıl sonunda 2001 yılına gelindiğinde bu değer 19MW'ları bulmuştur. Türkiye'de 2013, 2014 ve 2015 yıllarında rüzgar enerjisi kurulu güç üretim kapasitesi sırasıyla 2958.45MW, 3762.1MW ve 4192.8 MW olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2.6'da son 10 yıla ait Türkiye kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi ve her yıl yeni eklenen kapasite değerleri görülmektedir(TUREB, 2015).



**Şekil 2.6:** Son 10 yıla ait Türkiye kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi ve her yıl eklenen kapasite değerleri

Türkiye’de kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinde 2006 yılından sonraki artışın sebebi, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası’nın kabul edilmesi olmuştur. Bu yasa ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu yasanın sağladığı birtakım avantajlardan dolayı rüzgar enerji sektöründe ciddi yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Özellikle rüzgar enerjisi santralinden üretilen enerjinin devlet tarafından alım garantisi verilmesi de bu sektöre olan yatırımın artmasını sağlamıştır. 2015 yılı itibariyle işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı Şekil 2.7’de görülmektedir(TUREB, 2015).

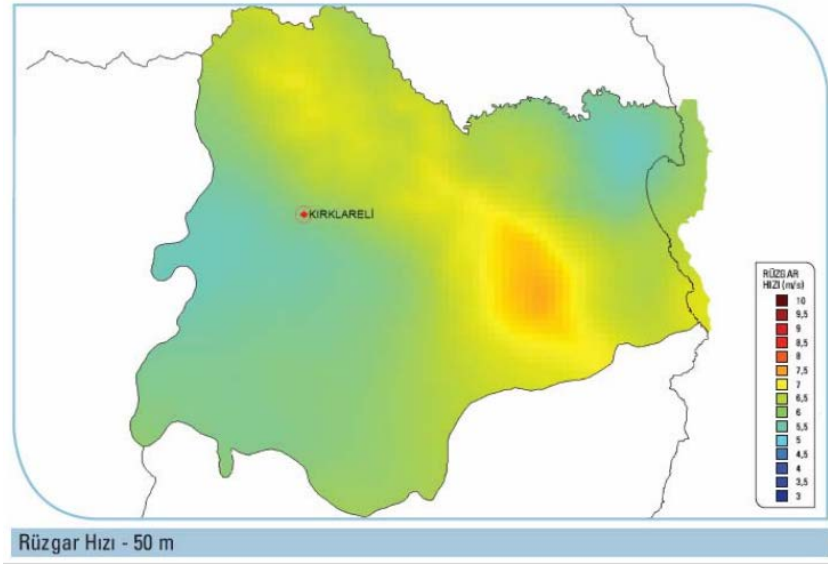


Şekil 2.7: Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı

### 2.1.3 Kırklareli’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Kırklareli ili rüzgar enerjisi potansiyeli açısından iyi kabul edilebilecek bir konumdadır. Rüzgar enerjisi potansiyel atlası olan REPA’ya göre 50m yükseklikteki ölçüm değerleri incelendiğinde (Şekil 2.8), Kırklareli ilinin rüzgar hız dağılımı 4.5m/s ile 8m/s aralığında değiştiği görülmektedir. Kırklareli ilinin ilçelerinin 50m yükseklikteki ortalama rüzgar hız değerleri Babaeski, Lüleburgaz ve Pehlivan köy ilçelerinde 6 - 7m/s aralığında,

Kofçaz ve Merkez ilçelerinde 5 - 7m/s aralığında, Pınarhisar ve Vize ilçelerinde 5.5 - 8m/s aralığında ve son olarak Demirköy'de 5.5 - 6.5m/s aralığında değişmektedir. Pınarhisar ve Vize ilçelerinde diğer ilçelere göre ortalama rüzgar hızı değer aralıkları daha yüksek olduğundan bu ilçelerde gerekli fizibilite ve etüt çalışmaları yapılarak rüzgar enerjisinden elektrik üretim amaçlı rüzgar güç üretim santrali kurulabilir. Diğer ilçelerde ise daha çok küçük ölçekli rüzgar türbinleri ile enerji üretimi sağlanabilir ya da rüzgar türbininin elektrik üretimi dışındaki bahçe sulama ya da su pompalama gibi amaçlar için kullanılan mekanik uygulamaları da gerçekleştirilebilir (Dursun & Peran, 2010).



**Şekil 2.8:**Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı

Kırklareli’nde işletmede olan ve enerji üretimi yapan rüzgar güç üretim santrali sayısı 2015 yılı sonu itibariyle iki olup toplam kurulu kapasitesi 44MW’tır. Bu iki rüzgar güç üretim santraline ait detaylı bilgiler Çizelge 2.3’te verilmektedir. 2015 yılı sonu itibariyle Kırklareli’nde inşa halindeki rüzgar güç üretim santrali sayısı üç olup bu santraller tamamlanıp işletmeye alındıklarında eklenecek kurulu kapasite gücü 149.2MW’tır. Bu durumda Kırklareli’nin toplam kurulu kapasitesi 193.2MW’lık bir kapasiteye erişecektir.

**Çizelge 2.3:** Kırklareli’nde işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri

<b>Firma ismi</b>	<b>Proje adı</b>	<b>Kurulu kapasite (MW)</b>	<b>Türbin Markası</b>	<b>Türbin Gücü (MW)</b>	<b>İşletmeye Alınma Tarihi</b>
Aysu En. San. ve Tic. A.Ş.	Karadere RES	16,00	GE	1.6	2014
Alenka Enerji Ür. ve Yat. Ltd. Şti.	Kıyıköy RES	28,00	GAMESA	2.0	2014

**Çizelge 2.4:** Kırklareli’nde inşa halindeki rüzgar enerjisi santralleri

<b>Firma ismi</b>	<b>Proje adı</b>	<b>Kurulu kapasite (MW)</b>	<b>Türbin Markası</b>	<b>Türbin Gücü (MW)</b>
Airres Elk. Ür. San. ve Tic. A.Ş	AirRES-4	57,60	SIEMENS	3,2
STEAG Rüzgar Süloğlu Enerji Ür. ve Tic. A.S.	Süloğlu RES	66,00	VESTAS	3,3
Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Zeliha RES	25,60	SIEMENS	3,2

## **2.2 Güneş Enerjisi Potansiyeli**

Güneş enerjisi doğası gereği kesikli, süreklilik arz etmeyen sadece gündüz saatlerinde faydalanabilecek bir enerji kaynağıdır. Kıtalar, ülkeler ve bölgeler arası değişiklik gösteren ve ekvatora yakın bölgelerde daha fazla faydalanılan bir kaynaktır. Potansiyeli ölçüsünde faydalanılan bu kaynak tek başına enerji üretim kaynağı olarak kullanıldığında verim alınamaktadır. Her daim ikinci bir kaynağa ya da depolama aygıtına ihtiyaç duyulmaktadır.



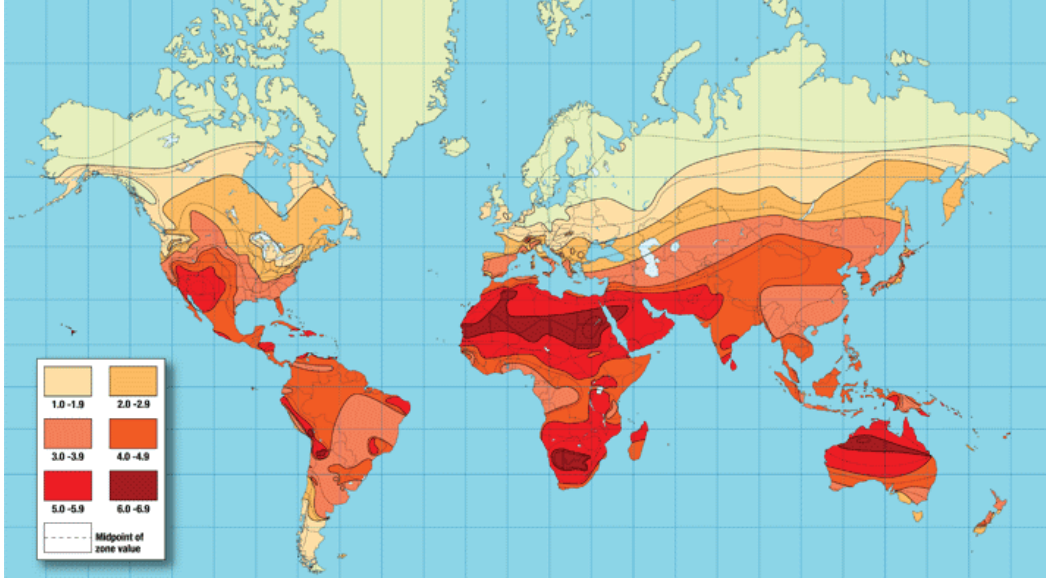
## 2.2.1 Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünyaya yaklaşık 160 km uzaklıkta bulunan atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu yani güneş sabiti yaklaşık  $1,37\text{kW/m}^2$ 'dir. Dünyada güneş enerjisinden en fazla fayda sağlayan bölge ekvatorun  $35^\circ$  kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan kısmıdır. Dünya Güneş Kuşağı olarak da adlandırılan bu bölge yılda 2000 - 3500saat güneş almakta ve güneş potansiyeli  $3.5\text{-}7\text{ kWh/m}^2/\text{gün}$  arasında değişmektedir. Dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı kurak bölgelerde  $2000 - 2500\text{ kWh/m}^2$  ve daha üst enlemlerde ise  $1000 - 1500\text{ kWh/m}^2$  arasında değişim göstermektedir. Çizelge 2.5'de dünyanın değişik bölgelerindeki güneş radyasyon verilmiştir (Aksungur, Kurban, & Basaran Filik, 2013).

**Çizelge 2.5:** Güneş Radyasyon Miktarı

Bölge	kWh/ m <sup>2</sup>
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Küresel enerji talebinde, güneş enerjisi kaynağı çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi önemli bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmektedir(Dincer, 2011). Gelişmiş ülkelerde güneş enerjisinden ısı enerjisinin kullanımı bir yana sadece güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi toplamda GW'lar seviyesine ulaşmıştır. Dünya'da güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi miktarı bir önceki yıla göre %33 artarak, 2014 yılı itibari ile 178GW seviyesine ulaşmıştır. Almanya, İspanya, İtalya, Çek Cumhuriyeti ve diğer AB ülkeleri ana fotovoltaik pazarlar olmaya başlamış olup 5,6 GW ile dünya fotovoltaik elektrik enerjisi üretiminin %77'sini karşılamaktadırlar(Dincer, 2011).



**Şekil 2.9:** Dünya güneş enerjisi potansiyel atlası

Dünya güneş enerjisi potansiyel atlasında görüldüğü üzere dünyada güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu yerler sırasıyla koyu ve açık kırmızı ile koyu ve açık kahverengi tonlarıyla boyanmış bölgelerdir. Afrika Kıtası, Avustralya Kıtası, Arabistan Yarımadası, ABD'nin batı bölgesi, Güney Amerika Kıtası'nın kuzey bölümleri en yüksek güneş radyasyon değerlerine sahip yerlerdir. Avrupa'da ise güneş enerjisi bakımından en zengin potansiyele sahip ülkeler Türkiye, Yunanistan, İtalya ve İspanya'dır(Sarıkaya, 2010).

### 2.2.2 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.7 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti ölçüm verileri elde edilmektedir. EİE tarafından yapılan çalışmada bu veriler kullanılarak Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat ve ortalama toplam ışınım şiddetinin 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve

gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir. Çizelge 2.6'da Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir(Varınca & Gönüllü, 2006).

**Çizelge 2.6:** Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	(saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.40	343
Eylül	10.60	123.28	280
Ekim	7.73	89.90	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	103
<b>Toplam</b>	<b>112.74</b>	<b>1311,00</b>	<b>2640</b>
<b>Ortalama</b>	<b>308.0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b>	<b>3.6 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7.2 saat/gün</b>

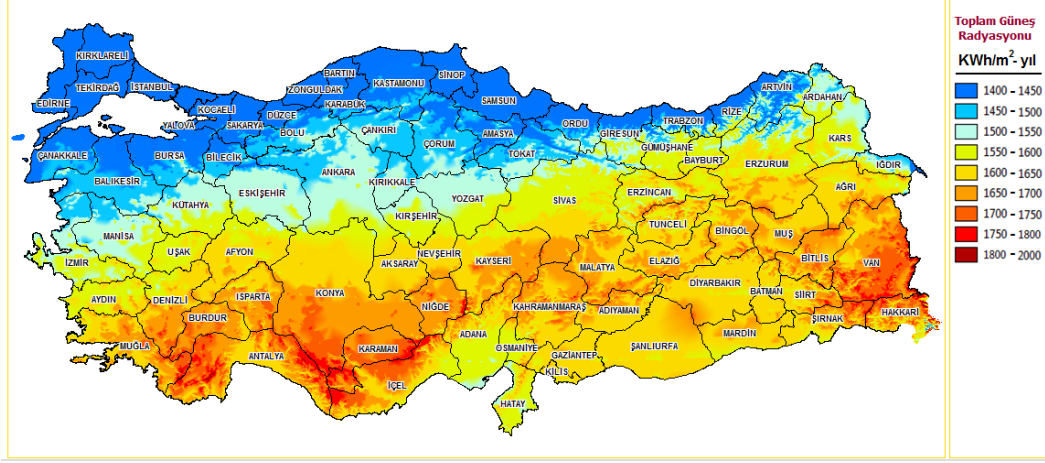
Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi olduğu ve bunu Akdeniz Bölgesinin takip ettiği görülmektedir. Çizelge 2.7'de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir. Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık aylarıdır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahilleri gelmektedir. Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz bölgesinde yılda 1120 kWh/m<sup>2</sup>'lik enerji üretilebilir ve ortalama güneşli saat miktarı ise 1971 saattir. Buna göre Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık

$10^{15}$ kWh kadardır. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır(Varınca & Gönüllü, 2006).

**Çizelge 2.7:** Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m <sup>2</sup> -yıl	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412	2.628	381	98
Ege	1304	1723	420	2.738	373	165
Marmara	1168	1529	345	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409	1971	273	82

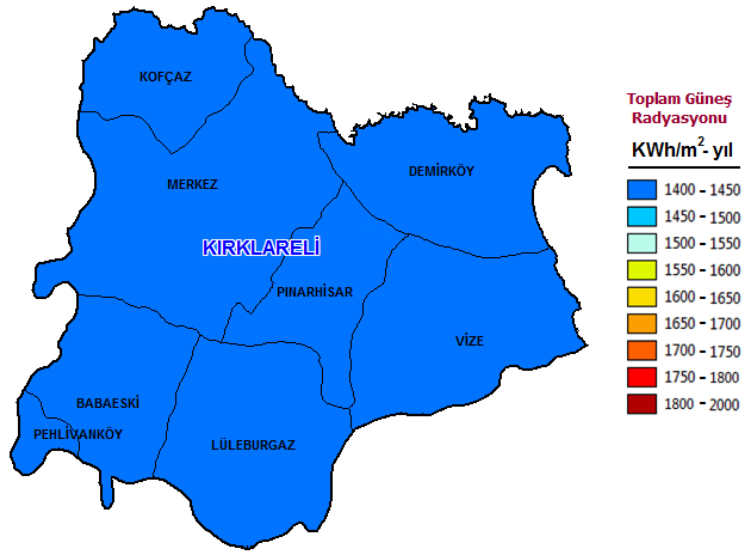
EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Bu veriler uluslararası geçerliliği kabul görmüş bir model olan ESRI Güneş Radyasyon Modeli Türkiye geneli için 500x500 metrelik çözünürlükte çalıştırılmış ve Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak haritalandırılmıştır. EİE ve DMİ istasyonlarından alınan ölçümlerden yararlanarak bu haritalar kalibre edilmiş ve 81 il için aylık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) 2010 yılında basılmış Şekil 2.10'da görülmektedir(YEGM, 2015).



Şekil 2.10: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)

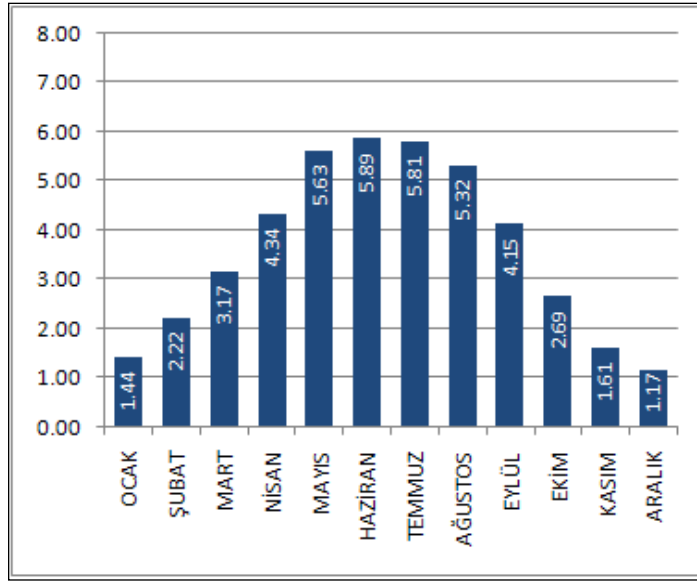
### 2.2.3 Kırklareli’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Kırklareli ilinin güneş enerjisi potansiyeli elektrik üretim amaçlı kullanımlar için yeterli değildir. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi Elektrik İşleri Etüt İdaresinin Güneş Enerjisi Potansiyel Enerji Atlası (GEPA) verilerine göre Kırklareli ili toplam güneş radyasyonu 1400-1450kWh/m<sup>2</sup>-yıl olarak belirtilmektedir. Bu değerler Türkiye’nin diğer illeri ile karşılaştırdığında güneş yönünden çok elverişli bir il olmadığı görülmektedir. Kırklareli ilinin aylık ortalama güneş radyasyonuna ait grafik Elektrik İşleri Etüt İdaresinden elde edilmiş olup Şekil 2.12’de görülmektedir(EİE, 2015c)



Şekil 2.11: Kırklareli ilinin toplam güneş radyasyon dağılımı haritası

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için güneş panelleri diğer bir söylemle fotovoltaik paneller kullanılır. Potansiyel ile güneş panellerinden üretilecek elektrik enerjisi arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Dolayısıyla, güneş enerjisi potansiyeli iyi olan bir bölgede üretilen elektrik enerjisi de fazla olacaktır. Bu durumun terside güneş enerjisi potansiyeli düşük olan bir bölgede ise üretilecek elektrik enerjisi nispeten düşük olacaktır. Bazı durumlarda potansiyelin olmadığı yerlerde güneş enerji üretim santralleri kurulup elektrik üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Fakat potansiyelin olmadığı yerde elektrik enerjisi üretiminin gerçekleşmediği ya da kısmen de olsa bir üretim gerçekleştiği görülmüş fakat sistemin verimli bir şekilde çalışmadığı gerçeği görülmüştür(Dursun & Peran, 2010).



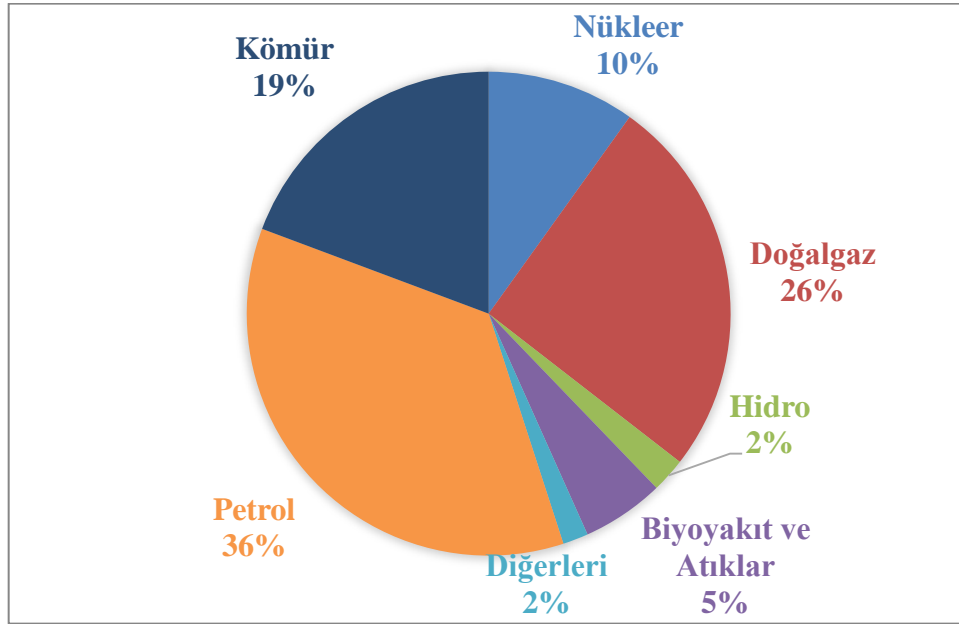
**Şekil 2.12:** Kırklareli ili ortalama güneş radyasyon verileri

Dolayısıyla potansiyelin olmadığı yerlerde güneş enerjisi güç üretim sistemleri ya da güneş güç santralleri kurulmamalıdır. Güneş enerjisi güç üretim sisteminin yine de kurulması durumunda ölü yatırım olmaktan öteye gitmemektedir. Ayrıca Kırklareli ili güneş kolektörleri kullanılarak elde edilen sıcak su uygulamaları için de uygun bir potansiyele sahip değildir. Bu tür sistemler kurulduğu takdirde verimli bir çalışma sergileyemezler(Dursun & Peran, 2010; EİE, 2015c).

## 2.3 Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

### 2.3.1 Dünyada Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

Biyoyakıtlar için tarımsal kaynaklar, bitkisel ve hayvansal atık ve artıklar önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve temiz enerji üretimi bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık % 43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik, H.H., & Karaca, 2007).



Şekil 2.13: Dünyanın birincil enerji kaynaklarının dağılımı

Şekil 2.13'te 2014 yılı sonu Dünya birincil enerji kaynakları incelendiğinde, %5'lik oranla biyoyakıtlar ve atıklardan oluşturduğu görülmektedir. Biyoyakıtlar tüm biyokütle kaynaklarını içermektedir(IEA, 2015).

### 2.3.2 Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin biyokütle kaynakları, tarım, orman, organik şehir atıkları, hayvansal atıklardan oluşmaktadır. Türkiye'nin kullanılabilir biyoenerji potansiyeli yaklaşık olarak 17Mtep olup odun ve orman artıklarından enerji üretim potansiyeli yaklaşık 7Mtep olarak tahmin edilmektedir. Orman artıkları, Türkiye'nin enerji üretiminin yaklaşık

2MTep'ini karşılama potansiyeline sahiptir. Türkiye'deki hayvan sayısı atık miktarı ve elde edilebilir biyogaz miktarı Çizelge 2.8 de verilmiştir.

**Çizelge 2.8:** Türkiye'deki hayvan sayısı atık miktarı ve elde edilebilir biyogaz miktarı

Hayvan Cinsi	Hayvan sayısı (adet)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Kuru Gübre Miktarı	Kullanılabilirlik (%)	Elde edilebilir biyogaz (m <sup>3</sup> /yıl)
İnek	12,838,285	127,645,932	16,211,033	65	2,107,434,345
Koyun	29,903,590	24,558,323	6,139,581	13	159,629,101
Kümes	264,784,050	7,731,694	1,932,924	99	382,718,866

Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanları sayıları sırasıyla yaklaşık 13, 30 ve 265 milyondur. Yıllık atık kapasiteleri sırasıyla yaklaşık 128, 25, 8 Mton'dur. Yıllık toplam kuru gübre miktarları sırasıyla 16.2, 6.1 ve 1.9 Mton'dur. Toplam kullanılabilir kuru madde miktarı sırasıyla %65, %13 ve %99 olan gübre kullanılabilirlik değerleri ile belirlenmiştir. Böylece toplam kullanılabilir kuru madde miktarı, toplam kuru madde miktarı ile kullanılabilirlik değerinin çarpımıyla hesaplanmıştır. Birim kuru maddenin biyogaza dönüşüm oranı 200 m<sup>3</sup>/ton'dur. Birim biyogazın ısı değeri ise 22.7 MJ/m<sup>3</sup>'dür. Böylece Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanlarının atıklarının yıllık toplam ısı değerleri sırasıyla yaklaşık 47.8, 3.6 ve 8.7 milyon GJ olarak bulunmuştur(Acaroglu, 2003).

### 2.3.3 Kırklareli'de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

Kırklareli'nin normal orman alanı 221,889.5ha, bozuk orman alanı ise 36,806.4ha'dır. Ormanlık alanlardan elde edilen biyokütlenin ortalama %10-15'i hasat sırasında ormanda bırakılmaktadır. Ormanda bırakılan atık biyokütlenin toplanılması maliyetli ve zorlu bir süreç olduğu için özel olarak geliştirilmiş lojistik teknikleri kullanılmaktadır. Öncelikli olarak bölgedeki ormanlarda kereste ve yakacak odun elde edilmesi sonrasında ormanda kalan atık miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. İkinci aşamada bu atıklar için en uygun lojistik tekniği seçimi yapılması ve ton başına birim atık lojistik maliyetinin hesaplanması gerekecektir. Üçüncü aşama elde edilen atıkların kalorifik



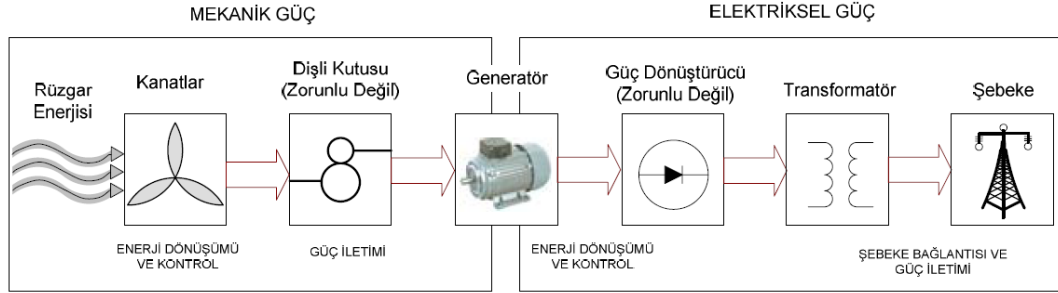
değerlerinin tespit edilmesidir. Buradaki önemli nokta da atıkların içerisindeki nem miktarıdır. Atığın içerisindeki nem miktarı arttıkça ısı değeri düşeceği için içerisindeki nemi azaltmak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler her ne kadar atığın ısı değerini yükseltiyor olsa da ek yatırım ve işletme maliyeti getirmektedir. Yıllık toplam atık potansiyeli, uygun lojistik tekniği, lojistik maliyeti ve optimum ısı değeri hesaplanması yapıldıktan sonra bölgede kurulabilecek bir tesisin yaklaşık ekonomik maliyeti hesaplanabilecektir. 2011 yılı Kırklareli'nin tarım ürünleri hasat miktarları ayçiçeği, buğday ve çeltik için sırasıyla 130,889ton, 365,081ton ve 18,473ton olarak verilmiştir. Tarımsal atık olarak hasat sonrasında elde edilen ayçiçeği, buğday, çeltik saplarının ve çeltik kabuğunun elektrik üretiminde değerlendirilmesi mümkündür. Elde edilen bu atıklar katı olarak (*biomass*), gazlaştırılmak suretiyle sentez gazı halinde, fermantasyon sonrasında elde edilecek biyogaz olarak veya piroliz sonucunda elde edilen biyoyağ şeklinde yakılması mümkündür(Dursun, 2012).



### 3. YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

#### 3.1 Rüzgar Türbin Teknolojisi

Rüzgar türbin rotoru, aerodinamik olarak dizayn edilmiş kanatları vasıtası ile rüzgar enerjisinin bir kısmını yakalayarak mekanik enerjiye çevirir. Düşük hızlı bu mekanik enerji, dişli kutusu yardımı ile yüksek generatör hız seviyesine çıkarılır. Eğer generatör yüksek kutup sayısına sahip ise, dişli kutusuna ihtiyaç duyulmayabilir. Yüksek dönüş hızına sahip bu mekanik enerji ise generatör aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Daha sonra transformatör ve iletim hatları aracılığı ile yerel elektrik şebekesine elektrik sayacı ve kesici üzerinden bağlanır. Tercih edilen rüzgar enerji sistemi topolojisine bağlı olarak, transformatörden önce güç elektroniği üniteleri ile elektrik enerjisi farklı formlarda oluşturulabilir(Tanrıöven, 2009). Bir rüzgar enerji dönüşüm sisteminin temel aşamaları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

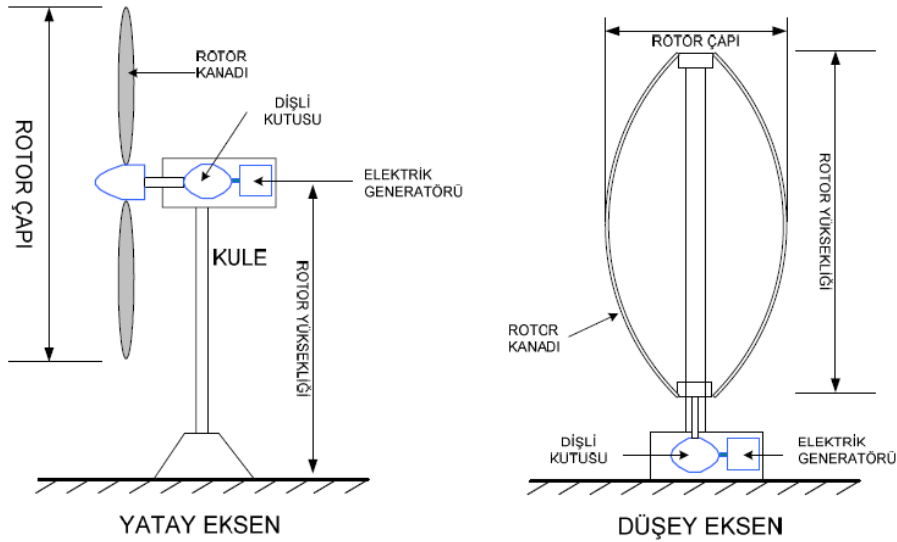


**Şekil 3.1:** Rüzgar enerji dönüşüm sistemlerinin temel aşamaları

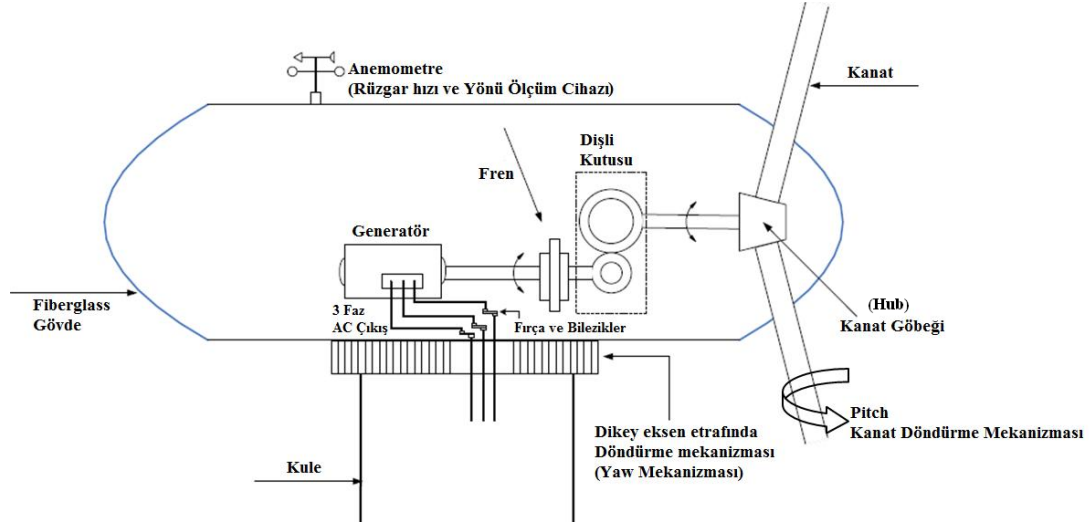
Rüzgar türbinleri, mekaniksel olarak elektrik generatörüne bağlı iki veya daha fazla kanada sahip rotorlar vasıtasıyla rüzgar enerjisini yakalar. Bu türbin yüksek bir kule üzerine monte edilerek, elde edilecek rüzgar enerji miktarı arttırılmaya çalışılır. Rüzgar türbin dizaynında genel olarak iki farklı tasarım biçimi kullanılır. Bunlar; rüzgarı her yönden yakalayabilme özelliğine sahip düşey eksenli rüzgar türbinleri ve hem rüzgar yönünde hem de rüzgara karşı çalışabilen yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Rotor

haricindeki tüm bileşenler her iki rüzgar türbini dizaynında da aynıdır. Düşey eksenli makinanın şekli bir yumurta çırpıcısını andırır. Özel yapısal üstünlüklerinden dolayı, geçmişte yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde modern rüzgar türbinlerinin çoğu yatay eksenli olarak tasarlanırlar.

Şekil 3.2’de yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinlerinin yapısı görülmektedir. Rüzgar enerji dönüşüm sistemi; rüzgar türbini, kule, gövde, kanat, anemometre rüzgar hızı ve yönü ölçüm cihazı, generatör, dişli kutusu, kanatların rüzgarın hız durumuna göre konumunu belirleyen pitch (kanat döndürme mekanizması), dikey eksen etrafında kulenin dönmesini sağlayan döndürme mekanizması veya yav mekanizması, kanatların birleştiği nokta olan kanat göbeği ve türbinin durdurulmasını sağlayan fren sisteminden oluşmaktadır. Rüzgar enerji dönüşüm sistemi bileşenleri Şekil 3.3’de görülmektedir(Tanrıöven, 2009).



Şekil 3.2: Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri



**Şekil 3.3:** Rüzgar enerji dönüşüm sistemi bileşenleri

Kule, rüzgar türbininin gövdesini taşımakta olup, yaw mekanizması ile bir arada bulunmaktadır. Yaw mekanizması, ölçüm cihazından gelen bilgi doğrultusunda rüzgar hızı ve doğrultusuna bağlı olarak düşey eksen etrafında kulenin üzerinde dönmesini sağlamaktadır. Modern rüzgar türbinleri genellikle yatay eksenli olup, 2 veya 3 kanatlı olarak üretilirler. Kanatlar üzerinde rüzgarı tutmaya yarayan kanatçıklarda rüzgar yönüne göre kanatların yönünü ayarlayan bir kanat döndürme mekanizması bulunmaktadır. Mekanik dişli ünitesi; kanatlardan gelen mekaniksel hareketi doğrudan üzerine alan, belirli bir oranda bu hareketi hızlandıran ve generatöre akuple ederek dönmesini sağlayan bir yapıdır. Generatörün dönme hareketinden dolayı üretilen elektrik enerjisi ile üç fazlı bir çıkış gerilimi elde edilir. Bu üç fazlı çıkış gerilimi, transformatör ve iletim hatları ile tüketicilerin kullanacağı seviyeye getirilir. Rüzgar enerji dönüşüm sistemleri, birçok bilim dalının ortak ilgilendiği bir çalışma konusudur. Örneğin, rüzgar türbin kanat tasarımı ve optimizasyonu aerodinamik, kule, fren ve mekanik dişli ünitesi makina mühendisliği ve inşaat mühendisliği, rüzgar türbinlerinde koruma sistemi ve kontrol mekanizması elektrik ve kontrol mühendisliği bilim dallarının ilgilendiği konulardır. Rüzgar güç sistemlerine olan ilginin artmasıyla bir ya da birkaç rüzgar türbini dikmek yerine rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır. Bu rüzgar çiftlikleri çok sayıda rüzgar türbininden oluşmaktadır. Rüzgar enerji dönüşüm sistemlerinde son zamanlarda, özellikle rüzgar türbin teknolojisinde iki büyük gelişme olmuştur. Bunlardan biri; sabit hızlı enerji üretim sistemlerinden değişken hızlı enerji üretim

sistemlerine geçiştir. Sabit hızlı enerji üretimi ile değişken hızlı enerji üretim sistemleri arasındaki fark; sabit hızlı rüzgar türbinlerinde rotor sabit hızla dönerken, değişken hızlı rüzgar türbinlerinde ise rotor hızı bir kontrol sistemi tarafından kontrol edilmek sureti ile rotor hızı değiştirilebilmektedir. Rüzgar türbin teknolojisindeki ikinci önemli gelişme, büyük ölçekli projelerde birçok rüzgar türbini kullanılarak MW mertebelerinde güç elde etmek için rüzgar çiftliklerinin kurulmasıdır. Tek bir türbin ile MW mertebesinde güç elde etmek ve rüzgar türbin maliyetini azaltmak amacıyla büyük güçlü MW mertebelerinde rüzgar türbinlerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Büyük güçlü rüzgar türbinlerinin üretimi ile gövde yüksekliği ve rotor çapı 100m'ye ulaşmıştır. Böylece düşey pozisyonda türbin kanat ucunun yerden yüksekliği 150m'ye ulaşmaktadır. MW mertebelerinde rüzgar türbinlerinin üretilmesi sonucu, kanat çapı ve gövde yüksekliğinin artması türbinden elde edilecek güç değerinin de artmasını sağlamaktadır. Rüzgar türbinlerinde rüzgardan elde edilecek güç değeri ile rüzgar hızı arasında kübik bir ilişki vardır. Rüzgar türbininden elde edilen güç değeri Denklem (2.1)'de görülmektedir.

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p u^3 \quad (2.1)$$

Burada:

$\rho$  havanın yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_p$  güç katsayısını

$u$  rüzgar hızını (m/s)

R rotor yarıçapını (m) göstermektedir.

Güç katsayısı ( $C_p$ ) rüzgar türbini dönüşüm sistemlerinde uç hız oranı ve pitch açısının bir fonksiyonudur. Rüzgar güç dönüşüm sistemlerinde güç katsayısı denklem (2.2 - 2.4)'deki gibi ifade edilir.

$$C_p(\beta, \lambda_i) = 0.4654 \left[ \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right] e^{-\frac{20.24}{\lambda_i}} \quad (2.2)$$

$$\lambda_i = \left[ \frac{1}{(\lambda + 0.08\beta)} - \frac{0.035}{(\beta^3 + 1)} \right]^{-1} \quad (2.3)$$

$$\lambda = \frac{w_r R}{u} \quad (2.4)$$

Burada:

$\beta$ , rotor kanatlarının pitch açısını (derece),  $w_r$ , açısal hızı (rpm) göstermektedir(Heier, 1998; Ro & Choi, 2005).

Rüzgardan elde edilecek gücü ifade eden formülasyon incelendiğinde, rotor çapının gücü etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu görülmektedir. Bu durumda, rüzgar türbininin kanat çapı ne kadar büyükse o kadar fazla rüzgarı süpürür ve elde edilecek güç değeri de o nispette büyür. Rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen ana faktörlerden biri de farklı rüzgar hızlarında, türbinin üretebileceği güç değeridir. Rüzgar türbinlerinin güç eğrisi genellikle rüzgar türbin üreticileri tarafından verilir. Makinenin güç eğrisi sistemin aerodinamik ve üretim verimliliğini yansıtır(Mathew, 2007).

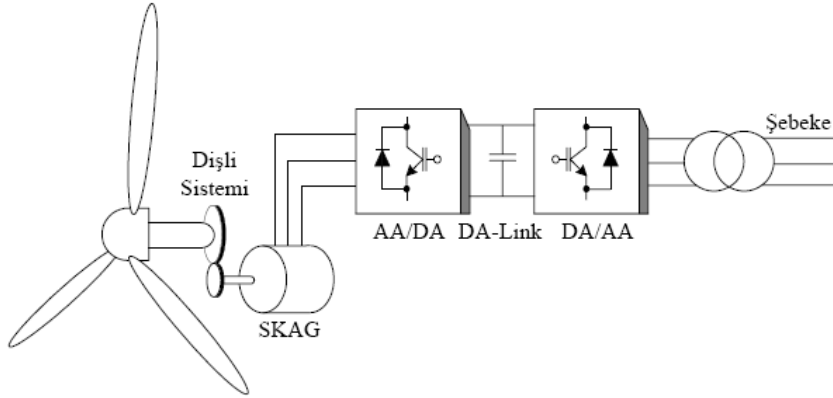
### **3.1.1 Rüzgar Türbin Tipleri ve Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler**

Rüzgar türbinleri, teknolojisi her geçen gün hızla gelişen enerji makineleridir. Türbin teknolojisinin gelişmesinin yanısıra türbin maliyetlerinin azaltılabilmesi için ARGE çalışmaları yürütülmektedir. Geçmişten günümüze rüzgar türbinlerinin gelişim süreci incelendiğinde, kanatlarda kullanılan malzemenin cinsinden generatör ve kontrol sisteminin yapısı ve tipine kadar birçok teknolojik gelişme görülmektedir.

#### **3.1.1.1 Sabit hızlı rüzgar türbinleri**

Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde generatör olarak sincap kafesli asenkron generatör (SKAG) ler kullanılır. Türbin ile generatör arasında bir dişli kutusu bulunmakta ve devir sayısı dönüştürülmektedir. Sincap kafesli asenkron makinaların rotorunda sargı olmaması yani bir uyarma devresinin olmaması gerekli reaktif enerjinin dışarıdan sağlanması anlamına gerekir. Bu tipteki rüzgar güç üretim sistemlerinde üretilen güç rotor hızına ve kaymaya bağlı olarak değişim gösterir. Rotor hız değişimleri çok küçük olup, yaklaşık %1-2 olduğundan bu tip rüzgar türbinlerine “Sabit hızlı rüzgar türbinleri” denilmektedir. Bu sistemde stator sargısı, DA linkinin iki tarafına, arka arkaya bağlı gerilim kaynaklı iki inverterden meydana gelen, dört bölgeli güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanır. Stator tarafındaki konverterin kontrol sistemi, elektromanyetik torku

regüle eder ve makinanın manyetik alan üretebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter ise sistemden şebekeye aktarılan aktif ve reaktif gücü ve aynı zamanda DA linkini regüle eder. Rüzgar güç sistemlerinde kullanılan SKAG'nin sağladığı birtakım avantajlar bulunmaktadır. Bunlar, SKAG'nin generatörünün fırçasız bir yapıda olması, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olması nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Doğrultucu, generatör için programlanabilir bir uyarım oluşturabilmektedir. İnverter, harmonik kompanzator olarak çalıştırılabilmektedir. Generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşılaştırması ve stator tarafındaki konverterin, makinanın ihtiyaç duyduğu manyetik alanı sağlamak için nominal güce göre %30-%50 oranında daha büyük ölçülerde yapılması, bu sistemin dezavantajları arasında yer alır (Ackermann, 2005).

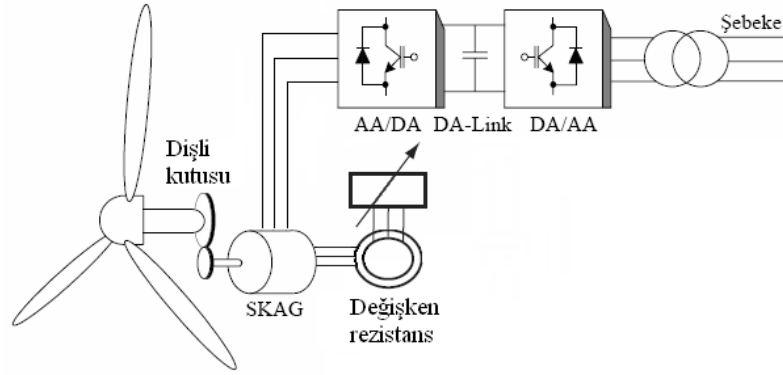


**Şekil 3.4:** Sabit hızlı rüzgar türbinleri

### 3.1.1.2 Sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinleri

Sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinleri Optislip olarak bilinen değişken rotor dirençli değişken hızlı rüzgar türbinleridir. Generatör olarak rotoru sargılı asenkron generatorler (RSAG) kullanılır. 1990'ların ortalarından beri Danimarka menşeli rüzgar türbin üreticisi Vestas firması tarafından kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinlerinin yapısı görülmektedir.



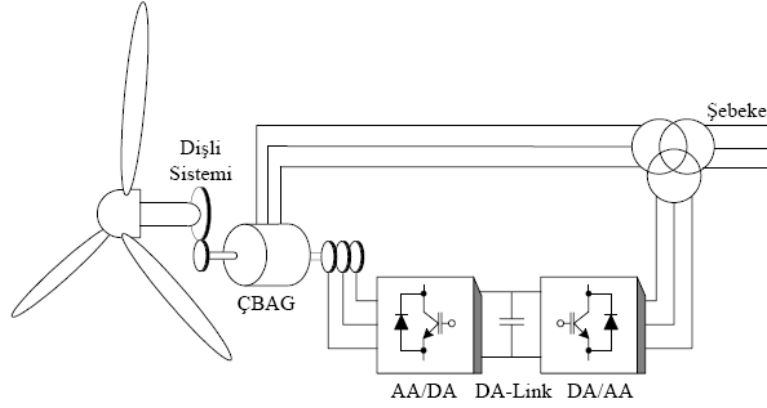


**Şekil 3.5:** Sınırlı değişken hızlı rüzgar türbinleri

Optislip yapılı değişken rotor dirençli değişken hızlı rüzgar türbinleri, rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükler, çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanılarak minimuma indirilmektedir. Generatör doğrudan şebekeye bağlanabilmekte ve kapasitör bankası ile reaktif güç kompanzasyonu sağlanmaktadır. Güç kalitesi bakımından kaliteli şebeke bağlantısı, yumuşak yol vericiler kullanılarak sağlanmaktadır. Bu türbin tipinin en önemli özelliği rotor şaftına monteli optik olarak kontrol edilebilen konverter tarafından rotor rezistansının değiştirilebilmesidir. Toplam rotor rezistansı değiştirilerek kayma ve güç çıkışı kontrol edilir. Dinamik hız kontrol aralığı, değişken rotor rezistansının büyüklüğüne bağlı olup, genellikle hız aralığı senkron hızın %1 - %10 arasındadır(Ackermann, 2005).

### 3.1.1.3 Değişken hızlı rüzgar türbinleri

Değişken hızlı rüzgar türbinleri çift beslemeli asenkron generatör (ÇBAG) yapısı olarak bilinirler. Bu konseptte, stator sargısı şebekeye doğrudan bağlanmıştır. Rotor sargısı ise iki adet back-to-back gerilim kaynaklı DGM tekniğini kullanan inverterden oluşan, dört bölgeci güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Genellikle, rotor tarafındaki konverter elektromanyetik torku regüle eder ve makinanın manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar.



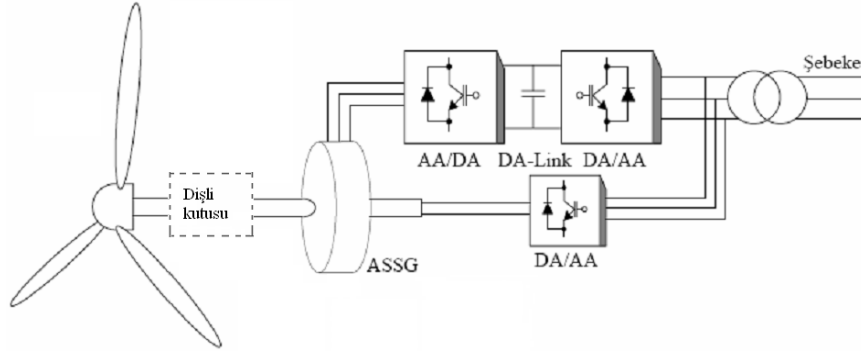
**Şekil 3.6:** Değişken hızlı rüzgar türbinleri

Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. Sadece rotorun kayma gücünü kontrol etmeye yarayan konverter sistemine sahip olduğu için toplam sistem gücünün yaklaşık %25'i oranında bir inverter kullanılmaktadır. Bu durum da, inverter maliyetini azaltır. Sistemde kullanılan filtreler toplam sistem gücünün 0.25 p.u.'lik kısmına hitap ettiği için, inverter filtrelerinin maliyeti azalmaktadır. Aynı zamanda inverter harmonikleri, toplam sistem harmoniklerinin daha küçük bir bölümünü temsil etmektedir. Ayrıca bu makina dış bozucu etkilere karşı dayanıklılık ve kararlılık göstermektedir. Optislip ile karşılaştırıldığında frekans konverterin büyüklüğüne bağlı olarak dinamik hız aralığı daha geniştir. Tipik olarak, hız aralığının %30-%40'ını kapsamaktadır. Bu konsepti cazip kılan konverterin ekonomik olmasıdır. Şekil 3.6'da kısmi skalalı frekans konverterli, değişken hızlı rüzgar türbinlerinin yapısı görülmektedir(Müller, Deicke, & W., & Rik Doncker, 2002).

### 3.1.1.4 Tam skalalı frekans konverterli değişken hızlı rüzgar türbinleri

Tam skalalı frekans konverterli değişken hızlı rüzgar türbinleri, frekans konverterler ile şebekeye bağlanan değişken hızlı rüzgar türbinleridir. Generatör olarak rotoru sargılı (alan sargılı) senkron generatör veya sabit mıknatıslı senkron generatör ve rotoru sargılı asenkron generatörler kullanılabilir. Tam değişken hızlı rüzgar türbinlerinin bazılarında dişli kutusu mekanizması bulunmamaktadır. Bu durumda, büyük kanat çaplı ve çok kutuplu direkt drive generatörler kullanılır. Enercon, Made ve Lagerwey rüzgar türbin firmalarının direkt drive konfigürasyonu kullanılarak yapılmış rüzgar türbinleri

bulunmaktadır. Şekil 3.7’de tam skalalı frekans konverterli değişken hızlı rüzgar türbinleri görülmektedir. Rotoru sargılı senkron generatörlü tam skalalı frekans konverterli rüzgar türbinlerinde stator sargısı, dalga genişlik modülasyonu (DGM) tekniğine göre anahtarlama yapabilen, çift yönlü akım akışının olabildiği (back-to-back) gerilim kaynaklı iki inverterden meydana gelmiş dört bölge bir güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder. Çıkık kutuplu alan sargılı senkron generatörün kullanılmasının en büyük faydası, makinanın güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı bir çok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu generatörlerin kutup eğimi indüksiyon makinalarına göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusu kullanılmadığı düşük hızlı çok kutuplu makinalar elde edilmesinde önemli bir özellik olabilmektedir. Ayrıca üretilen aktif ve reaktif gücü regüle etmek için, nominal rüzgar gücünün 1.2 katı büyüklüğünde konverterler kullanılması gerekmektedir.



**Şekil 3.7:** Tam skalalı frekans konverterli değişken hızlı rüzgar türbinleri

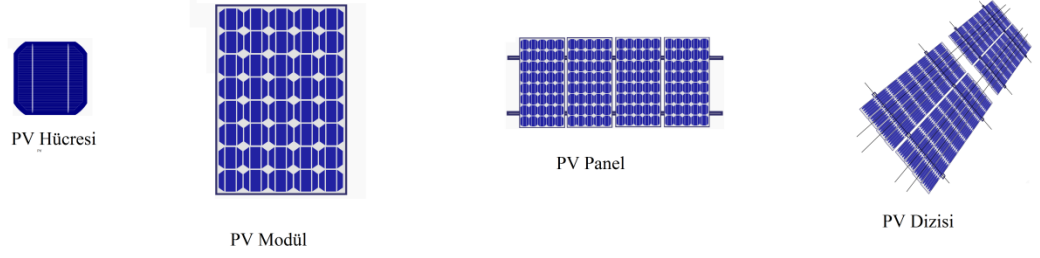
Kalıcı mıknatıslı senkron generatörlü tam skalalı frekans konverterli rüzgar türbinlerinde, stator tarafı generatör ve DA linki arasına DGM tekniğini kullanan doğrultucu yerleştirilmiştir ve inverter üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Bu sistemin avantajı; generatör ve güç elektroniği devresindeki kayıpları azaltmak için optimal çalışma noktasına yakın bir çalışmaya müsaade eden alan yönlendirmeli kontrolün kullanılmasıdır(Müller et al., 2002; Uyar, Gençoğlu, & Yıldırım, 2003).

### 3.2 Güneş Enerjisi Teknolojisi

Güneş enerjisi ısıtma ve elektrik üretiminde kullanılan önemli enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi ile ısıtma; kolektörlerle toplanan ısı enerjisinin bir akışkan yardımıyla ısıtılmak istenen ortama aktarılması şeklinde tanımlanabilir. Evlerde, yüzme havuzlarında ve sanayi tesislerinde su ısıtmak amacıyla kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri en üstte camdan yapılmış bir örtü, cam ile absorban plaka arasında boşluk, yalıtım yüzeyleri ile kasadan oluşmaktadır. Çıkış sıcaklıkları 70°C olan düzlemsel kolektörler sabit açılı, güneşi maksimum alacak şekilde yerleştirilirler. Vakumlu güneş kolektörlerinde düzlemsel güneş kolektörlerinden farklı olarak vakumlu cam borular, absorban yüzeye gelen enerjiyi artırmak için yansıtıcılar kullanılır. Çıkış sıcaklıkları 100-120°C arasındadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi fotovoltaik sistem ve yoğunlaştırıcı sistem olmak üzere temelde iki farklı prensiple sağlanır. Güneş termal güç santrallerinde, yoğunlaştırıcı sistemlerle güneş enerjisinin odaklanması sağlanarak elde edilen kızgın buhardan, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimi söz konusudur. Kullanılan kolektör tipine göre güneş enerjisini toplama yöntemleri farklıdır. Güneş tarlası, buhar ve elektrik üretim sistemlerinden oluşan parabolik oluk kolektörlü güç santrallerinde, yüksek ısıya dayanıklı termal yağ yüzeyleri yansıtıcı aynalarla kaplı kolektör odaklarına yerleştirilmiş absorban boru içinde dolaşırken ısınır. Sistemde eşanjörler yardımıyla elde edilen kızgın buhardan türbinde elektrik üretimi gerçekleşir. Yüzeyleri yansıtıcı aynalarla kaplanmış parabolik çanak kolektörlerin yüzeyine gelen güneş radyasyonu aynalar yardımıyla odaktaki Stirling motoru üzerine yoğunlaştırılır. Sıcak hava motoru olarak da bilinen Stirling motoru ısı enerjisini jeneratör için gerekli mekanik enerjiye dönüştürür. Bir diğer yoğunlaştırıcı uygulama ise merkezi alıcı güç santralidir. Güneş enerjisinin heliostat aynalar yardımıyla kule üzerindeki alıcıya yansıtılmasıyla 1000°C'de sıcaklık elde edilir. Akışkan, alıcıda ısıtılır ve buhar jeneratörüne gönderilip buhar üretilir ve üretilen buhar, buhar türbininden geçerek elektrik üretimi gerçekleştirilir(EİE, 2015b).

Güneşten elektrik üretiminde fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemler temelde PV panel, batarya, dönüştürücüden oluşmaktadır. PV paneller yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken

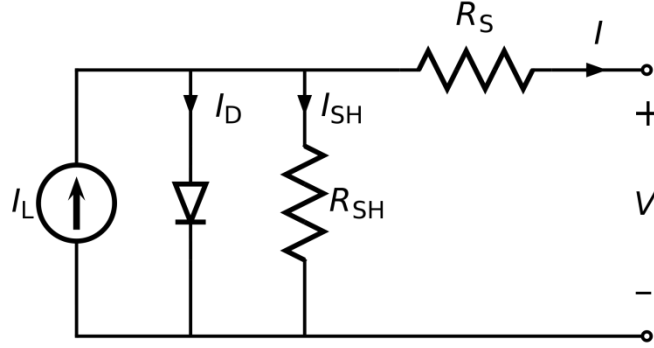
maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen PV hücresi alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasındadır. Güneş hücreleri fotovoltajik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Güç çıkışını artırmak için, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi çok sayıdaki hücreler seri veya paralel bağlanarak modüller, modüller birleştirilerek paneller, paneller birleştirilerek solar dizisi elde edilir (Dincsoy, 2010)



**Şekil 3.8:** Fotovoltajik sistemin yapısı

### 3.2.1 Fotovoltajik Hücre Eşdeğer Elektrik Devresi

PV hücrelerinin eşdeğer elektrik devresi Şekil 3.9’da görülmektedir. Çıkış akımı  $I$ , gün ışığının ürettiği  $I_L$  akımından  $I_D$  diyot akımı ve  $I_{SH}$  paralel sızıntı akımının çıkarılması ile elde edilmektedir.



**Şekil 3.9:** Fotovoltajik hücrenin eşdeğer elektrik devresi

$R_S$  çıkış akımına karşı gösterilen iç direnci temsil ederken, sızıntı akımı ile ilgili olan direnç paralel direnç ( $R_{SH}$ )’dir. İdeal bir PV hücresinde,  $R_S=0$ ,  $R_{SH}=\infty$  kabul edilir.

1 inç<sup>2</sup>’lik (6.45 cm<sup>2</sup>) kaliteli bir PV hücresinde  $R_S=0.05 - 0.1$  ohm ve  $R_{SH}=200 - 300$  ohm değerleri arasında değişim göstermektedir (Patel, 1999).

$$I = I_D \left[ e^{\frac{QV_{OC}}{KT}} - 1 \right] \quad (3.1)$$

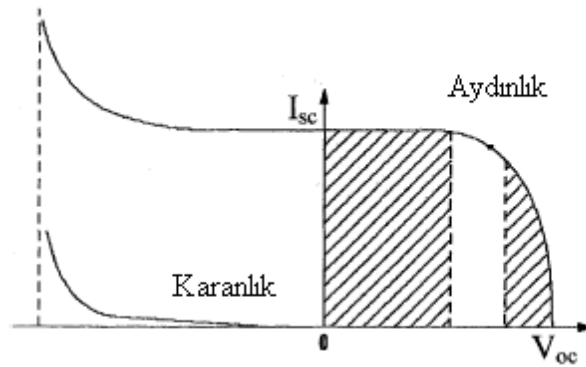
Açık devre gerilimini ( $V_{OC}$ ), diyotun doyma akımı ( $I_D$ ),  $Q$ , elektron yükü ( $1.6 \cdot 10^{-19}C$ ) boltzman sabiti ( $K$ ), sıcaklık ( $T$ ) ( $^{\circ}K$ ) olarak ifade edilmektedir. Diyot akımı yardımıyla, yük akımı da denklem (3.2) ile bulunur.

$$I = I_L - I_D \left[ e^{\frac{QV_{OC}}{KT}} - 1 \right] - \frac{V_{OC}}{R_{SH}} \quad (3.2)$$

Sızıntı akımını ifade eden son terim ise,  $I_L$  ve  $I_D$  akımının yanında çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. Kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ) ve açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ). hücrelerin elektriksel performanslarını değerlendirmek için kullanılan iki önemli parametredir. Kısa devre akımı için çıkış uçları kısa devre edilir. Çıkış geriliminin sıfır olduğu durumda, küçük olan diyot akımı ve sızıntı akımının ihmal edilmesiyle, kısa devre akımı  $I_L$ 'ye eşit olur.  $I_L = I_{SC}$  şeklinde gösterilir. Maksimum gerilim ise açık devre koşullarında üretilir. Sızıntı akımı ihmal edildiğinde ve  $I=0$  olduğunda açık devre gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir (Patel, 1999).

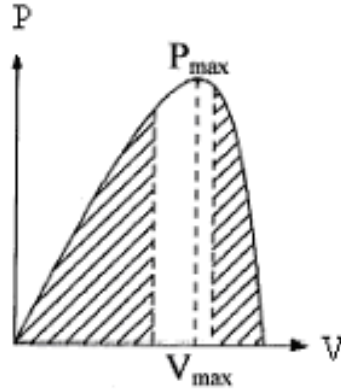
$$V_{OC} = \frac{KT}{Q} \ln \left( \frac{I_L}{I_D} + 1 \right) \quad (3.3)$$

Gün ışığı ve karanlıkta olmak üzere iki durumda; PV hücrelerin elektriksel karakteristiklerini temsil eden akım-gerilim ( $I-V$ ) eğrisi Şekil 3.10'da verilmiştir.



**Şekil 3.10:** PV modülün akım-gerilim grafiği

Grafiğin sol üst tarafında, çıkış uçları kısa devre edildiğinde elde edilen kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ) yer alırken, sağ alt tarafta ise, çıkış uçları açık devre olduğunda ölçülen açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ) bulunmaktadır. Şekil 3.11'deki güç-gerilim (P-V) grafiğinde ise, maksimum gücün elde edildiği nokta gösterilmiştir.



**Şekil 3.11:** Maksimum gücün elde edildiği nokta

Bir PV hücresinin verimi ise; çıkış gücünün hücreye gelen güneş ışığı gücüne bölünmesi ile bulunmaktadır.

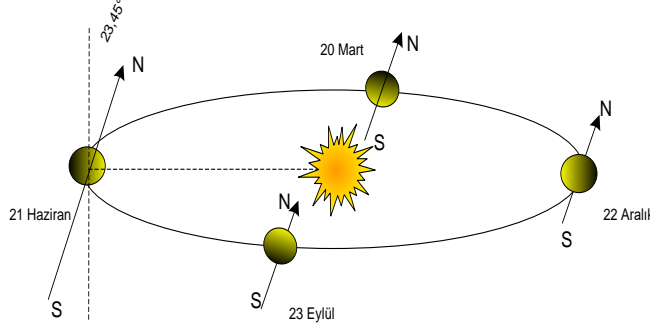
### 3.2.2 Güneş Açıları

Sabit veya hareketli herhangi bir düzlemdeki panel yüzeyine gelen güneş ışımalarının değeri, düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Bilinmesi gereken bazı güneş açıları şunlardır:

*Enlem Açısı ( $\theta$ ):* Ekvatorun kuzeyinde ya da güneyinde, ekvator merkezine göre oluşan açı değeridir. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilir. Enlem açısı,  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  arasında değişir.

*Deklasyon Açısı ( $\delta$ ):* Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açı miktarıdır. Kuzey pozitif olmak üzere, deklasyon açısı,  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$  arasında değişir. Ekinoks tarihlerinde, yani gece ile gündüz zaman diliminin eşit olduğu zamanlarda (20 Mart ilkbahar ekinoksu, 23 Eylül sonbahar ekinoksu) deklasyon açısının değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır. Yaz gün dönümünde (21 Haziran), deklasyon

açısının değeri  $23,45^\circ$  ve kış gündönümünde (22 Aralık) ise  $-23.45^\circ$  değerine sahiptir. Deklinasyon açısının değişimi Şekil 3.12’de gösterilmiştir(Senpınar, 2006).



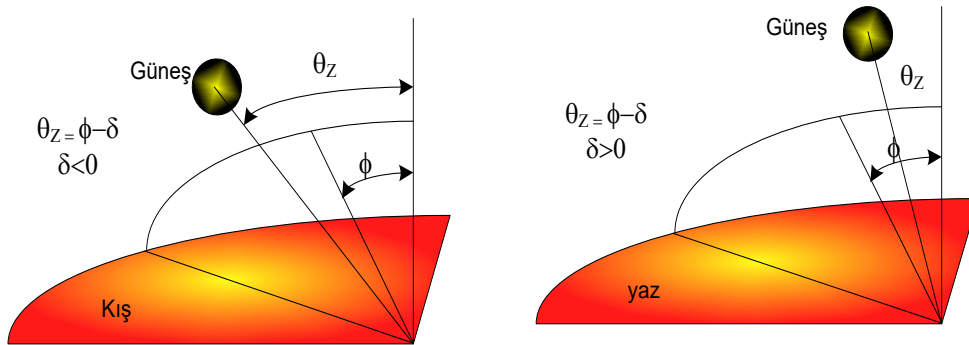
**Şekil 3.12:** Yılın Farklı Zamanlarındaki Dünyanın Yörüngesi ve Deklinasyonu

Deklinasyon açısı, denklem (3.4) ile (Cooper, 1969) hesaplanır:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right] (^\circ) \quad (3.4)$$

Burada n, yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak belirlenir ve  $n = 1$  kabul edilir.

**Zenit Açısı ( $\theta_z$ ):** Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı  $90^\circ$  ve güneşin havada en yüksek noktada olduğu öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı  $0^\circ$  'dir. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişim Şekil 3.13’de görülmektedir(Senpınar, 2006).



**Şekil 3.13:** Yazın ve kışın öğle saatinde  $\theta_z$ ,  $\delta$  ve  $\phi$  açısı arasındaki ilişki



Zenit açısı denklem (3.5)'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$\cos\theta_z = \cos\delta.\cos\varnothing.\cos w + \sin\delta.\sin\varnothing \quad (3.5)$$

Burada w, saat açısıdır.

*Güneş yükseklik açısı ( $\alpha_s$ ):*Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı olarak tanımlanan güneş yükseklik açısı zenit açısını  $90^\circ$ 'ye tamamladığı için, güneş yükseklik açısı;  $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$  olarak ifade edilir.

*Güneş geliş açısı ( $\theta$ ):*Bir yüzeye direkt gelen ışıkla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder. Bu açı denklem (3.6) ile hesaplanır:

$$\cos\theta = \cos\theta_z .\cos\beta + \sin\theta_z .\sin\beta.\cos(\gamma_s - \gamma) \quad (3.6)$$

Burada  $\gamma$ , yüzey azimut açısı,  $\gamma_s$ , güneş azimut açısı ve  $\beta$  eğim açısıdır.

*Eğim açısı ( $\beta$ ):* Yatay ile verilen panel yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarımkürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı,  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$  arasında değişmektedir. Açının değeri denklem (3.7) ile belirlenir.

$$\tan\beta = \tan\theta_z |\cos \gamma_s| \quad (3.7)$$

### 3.2.3 Fotovoltaiklerin Yapısında Kullanılan Malzemeler

*Tek kristalli silisyum:*Tek kristalli silisyum, hücre malzemesi olarak en çok kullanılan malzemedir. Üretim aşamasında ilk olarak silisyum ham maddesi eritilir ve potada saflaştırılır. Daha sonra bu tane kristal, sıvı silisyum içerisine yerleştirilip ve sabit hızda çekilerek katı tek kristalli silindirik bir blok oluşur. Bu silindirik blok da, elmas bıçak kullanılarak 200-400  $\mu\text{m}$  kalınlığında dilimlenerek ince plakalara dönüştürülür. Bu plakalar, köşeli paneller üzerinde kullanılacak hücre sayısını artırmak için, daha çok köşeli hücrelere bölünürler. Sonuçta pahalı olan bu silisyum bloğun yarısı, blok kesilirken ve hücrelere şekil verilirken boşa harcanır. Boşa harcanan malzeme yuvarlak bloktan, yuvarlak hücreler kesilerek azaltılabilir(Karamanav, 2007).

*Çok kristalli silisyum* : Bu teknoloji, tek kristale göre daha hızlı ve düşük maliyetli üretim prosesine sahiptir. Burada erimiş silisyum direk dökme bloklara dönüştürülür. Bu süreçte, çok kristalli yapı oluşur. Dönüştürme verimi düşük olması bir dezavantaj olarak ortaya çıksa da maliyetinin düşük olması bir avantajdır(Karamanav, 2007).

*İnce film* :Bakır İndiyum 2-Selenür (CuIS), Kadmiyum Tellür (CdTe) ve Galyum Arsenit (GaAs) ince film malzemeleridir. Genellikle birkaç µm veya daha az kalınlıkta olan bu teknolojiye, hücre alanı başına daha az malzeme kullanıldığı için üretilen gücün maliyeti daha düşüktür(Karamanav, 2007).

*Amorf silisyum* :Kristal silisyum teknolojisi ile karşılaştırıldığında, bu teknoloji sadece malzemenin %1'ini kullanır. Şu anda verimleri kristal silisyum veriminin yarısı kadardır ama, üretilen gücün maliyetinin çok düşük olacağı öngörülmüştür(Karamanav, 2007). Çizelge 3.1'de PV hücrelerin verimlilik değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** PV hücrelerin verimlilik değerleri

<b>PV Hücre Tipi</b>	<b>STK Altındaki Verim Değerleri</b>
Tek Kristalli Silisyum	%(16-18)
Çok Kristalli Silisyum	%(13-15)
Kadmiyum Tellür (İnce Film)	%(8-9)
Bakır İndiyum 2-Selenür (İnce Film)	%(8-9)
Amorf Silisyum	%(8-9)

### **3.2.4 Bataryalar**

Fotovoltaik sistemlerde, güneş ışığının olmadığı veya yeterli olmadığı durumlarda, örneğin gece veya bulutlu havalarda, gün ışığının iyi olduğu zamanlarda gerektiğinde kullanılmak üzere ihtiyaç fazlası enerjiyi depolamak için aküler kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde enerji depolanması için en uygun olan aküler elektrokimyasal akülerdir. Akülerdeki (secondary electrochemical battery) enerji deşarj anında kimyasal enerjiden

elektrik enerjisine dönüşür. Şarj anında ise bunun tersi gerçekleşir yani elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüşür. Akülerin kapasitesi C ile gösterilirken, amper-saat (Ah) cinsinden ifade edilir. Bu ise, C Amperlik akımı bir saat boyunca verebileceğini veya C/n Amperi n saat boyunca sağlayabileceğini ifade eder. Farklı akü tiplerinin farklı kapasite değerleri vardır. Verimli bir şekilde çalıştırılabilmesi için uygun kapasite değerinde sarj ve deşarj edilmelidirler. Aküler elektrot ve elektrolit tiplerine göre verim, yaşam süresi, işletme sıcaklığı gibi farklı elektriksel özellik gösterirler. Nikel-kadmiyum (NiCd), kurşun-asit (Pb-Asit), nikel-metal hidrit (NiMH), lityum-iyon (Li-ion), lityum-polimer (Li-poly) ve çinko-hava (Zn-air) belli başlı akü tipleridir. Bu çeşitler içerisinde en yaygın olarak kullanılan akü ise kurşun-asit akülerdir. Kurşun asit aküler 100 yılı aşkın süredir elektrik enerjisi depolamasında ticari olarak kullanılan akü tipidir. Akülerde bulunması gereken önemli özellikler şunlardır(Luque & Hegedus, 2011):

- Düşük fiyat
- Yüksek enerji verimliliği
- Düşük akımlarda bile yüksek şarj verimliliği
- Düşük bakım maliyeti
- Uzun yaşam süresi
- Hızlı şarj yeteneği
- Kolay bakım
- Dünya çapında yaygınlık
- İşletmede yüksek güvenilirlik

### **3.3 Biyokütle Enerji Teknolojileri**

Biyokütle; termal, biyolojik ve fiziksel proseslerle hidrojen, etanol, metanol veya metan gibi çeşitli enerji kaynaklarına çok çeşitli tekniklerle dönüştürülebilir. Biyogaz teknolojisi, biyokütle gazlaştırılması ve piroliz ile sıvı ve gaz yakıt formları elde edilebilir.

### **3.3.1 Fiziksel Prosesler**

Kurutma, öğütme ve pelletleme - biriktleme olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Fiziksel prosesin ilk aşaması olan kurutma ile biyokütle bozulmadan uzun süreli depolanabilmektedir. Kurutma işlemi temelde sıcak hava, güneş ve vakumla kurutma gibi geleneksel yöntemler ile yapılabildiği gibi gelişmiş teknolojiler kullanılarak da yapılabilmektedir(Harris, Torgovnikov, Vinden, Brodie, & Shaginov, 2008; Üçgül & Akgül, 2010; Xu & Pang, 2008). İkinci proses olan öğütme aşamasında çeşitli öğütme teknikleri kullanılarak kuru biyokütlenin parçacık büyüklüğü istenilen büyüklüğe ayarlanır. Son olarak pelletleme ve biriktleme gerçekleştirilir. Pellet, odun artıklarının kurutulup, öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasıyla oluşur. Briket ise 5-20 cm arasında değişen boyutlarda üretilir(Prochnow, Heiermann, Plöchl, Amon, & Hobbs, 2009).

Özellikle homojen olmayan ve çok fazla hacim kaplayan tarım ve orman artıklarının direkt yakıt olarak kullanılmaları oldukça zordur. Bu problem, biyokütlenin basınç ile istenilen şekil ve ebatlarda kesilmesiyle elde edilen pellet veya briket kullanılması ile çözülebilir. Odun pelletleri biyokütlenin içerisindeki doğal moleküler bağlayıcılara harici kimyasal bağlayıcı eklenmeden yüksek basınçla oluşturulurlar. Briket veya pellet haline getirilmiş biyokütlenin yakılarak enerjisinden faydalanılabilir(Prochnow et al., 2009). Odun briketi yakacak oduna göre ısı değeri daha yüksek olup daha temizdir.

### **3.3.2 Biyolojik ve Kimyasal Prosesler**

#### **3.3.2.1 Biyogaz**

Bazı bakteriler, oksijen olmayan veya sınırlı oksijen olan ortamlarda kendi metabolik faaliyetleri için organik ve inorganik maddeler kullanarak bataklik gazı, gübre gazı veya biyogaz gibi isimlerle anılan  $CH_4$ ,  $CO_2$  ve az miktarda hidrojen, azot ve hidrojen sülfür içeren bir gaz karışımı oluştururlar. Elde edilen biyogaz güç sistemi yardımıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Biyogaz teknolojisi ile üretilen metan gazı geleneksel yakıtlara göre daha az miktarda  $CO_2$  emisyonuna sebep olur. Dolayısıyla çevre dostu bir yakıttır (Üçgül & Akgül, 2010). Biyogaz oluşumunda yaş biyokütle,

mikrobiyolojik bakteri faaliyetleri ile parçalanır ve oksijensiz ortamda biyokimyasal fermantasyon gerçekleşir. Biyogaz üretimi sırasındaki aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

- **Fermantasyon ve Hidroliz Aşaması**

Bu aşamada bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları, proteinleri ve yağları parçalayarak CO<sub>2</sub>, asetik asit ve çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler(EİE, 2015a).

- **Asetik Asidin Oluşumu Aşaması**

Bu aşamada, asetogenik bakterilerin bir kısmı uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürürken diğer bir kısmı ise birinci aşamada açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluştururlar(EİE, 2015a).

- **Metan Gazının Oluşumu Aşaması**

Bu aşamada metan oluşturan bakteri grupları devreye girer. Bakterilerin bir kısmı ikinci aşamada açığa çıkan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'yi kullanarak metan (CH<sub>4</sub>) ve suyu (H<sub>2</sub>O) oluşturur. Diğer metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturmaktadırlar(EİE, 2015a).

### **3.3.2.2 Biyoetanol**

Yapısında yüksek oranda şeker bulunan biyokütle kaynağı, oksijensiz ortamda fermantasyon yoluyla alkol üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca karmaşık karbonhidrat polimerleri içeren biyokütle de biyoetanol üretimi için kullanılabilir. Lignoselülozik veya odunsu biyokütle; şeker gruplarından oluşan bir polimer olan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi polimer karbonhidratlarca zengindir. Bu maddeler basit şekerlere dönüştürüldükten sonra fermente olduklarında etanol üretirler. Hemiselüloz ve basit şeker içeriği yüksek olan biyokütleden etanol üretim verimi yüksektir (Üçgül & Akgül, 2010).

### **3.3.2.3 Biyodizel**

Ayçiçeği yağı, soya yağı, hurma yağı, fındık yağı, kanola yağı, hayvansal yağlar ve atık mutfak yağları biyodizel üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Bu yağlar, yağ asitlerinin gliserin ile oluşturduğu esterlerdir, trigliseritlerdir. Metanol veya etanol ile transesterifikasyon işlemine tabi tutulan trigliseritlerin hidrolizinden elde edilmiş yağ asitleri metil-etil esterleri doymuş ya da doymamış hidrokarbon zinciri içermektedir. Bu hidrokarbon zinciri, kimyasal enerjinin çoğunluğunu depolar (Üçgül & Akgül, 2010).

### **3.3.3 Termokimyasal Prosesler**

#### **3.3.3.1 Yakma**

Selülozik biyokütle, düşük kül ve düşük kükürt içeriği ile çevreci bir yakıttır. Ayrıca, geleneksel yakıtların yanmasıyla oluşan NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve poliaromatik hidrokarbon emisyonları da düşüktür(Yan et al., 2006). Orman biyokütlesinin yakılmasıyla elde edilen enerji, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilir. Kömür ve petrole göre daha düşük enerji değerine sahip olan kağıt sanayi atıkları, ağaç kabukları ve tarımsal atıklar yüksek enerjili kaynaklar ile beraber-yakma teknolojisi kullanılarak istenilen enerji düzeyine çıkarılmaktadır. Böylece fosil yakıt gereksinimi de azaltılmaktadır(Üçgül & Akgül, 2010).

#### **3.3.3.2 Piroliz**

Piroliz, biyokütleden oksijensiz ortamda organik moleküllerin parçalanmasıyla gaz elde etme işlemidir. Kimyasal bağlar, oksijensiz ortamda termal olarak bozunurlar. En tanınmış piroliz prosesi odun kömürü üretimidir. Bu bir yavaş pirolizdir, degazifikasyon olarak da bilinir. Piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz ürünler oluşur. Genellikle piroliz yöntemi ile biyokütle sıvılaştırılarak biyoyağa çevrilir. Biyokütlenin sıvılaştırılmasıyla elde edilen bu sıvı, türbin veya motorlarda direkt olarak kullanım için uygun değildir. Elde edilen bu sıvı, petrol naftası gibi işlemlere tabi tutularak kullanılır hale getirilir. Biyoyağın kalori değeri, aynı miktardaki biyokütleden çok daha fazladır. Depolanması ve taşınması daha kolaydır; ayrıca daha az kükürt içerir. Pirolizde elde edilen katı, sıvı ya da gaz ürünlerden hangisinin veriminin en fazla olacağı, biyokütlenin çeşidine, süreç

parametrelerine ve reaktör tipine bağlıdır. Yakma proseslerinden farklı olarak pirolizde gereken enerji dışarıdan karşılanır (Üçgöl & Akgöl, 2010).

#### 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde fotovoltaik/biyokütle, rüzgar/biyokütle ve fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit güç üretim sistemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların özeti verilmiştir.

**Balamurugan ve ark.** biyokütle gazlaştırıcı temelli güç üretimi sistemleri ile Hindistan'da güç üretimi için çok fazla potansiyel olduğunu belirtmişlerdir. Bir rüzgar/biyokütle gazlaştırıcı hibrit güç üretim sisteminin optimal işletilmesi ve boyutlandırılmasını önermektedirler. Belirli bir alandan elde edilen gerçek zamanlı yük talep verileri kullanılarak bir alan çalışması gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar/biyokütle gazlaştırıcı hibrit güç sisteminin ekonomik analizini sunmuşlardır. Çalışmanın sonucunda enerjinin birim maliyetini 0.078\$ olarak elde etmişlerdir. Rüzgar/biyokütle sistem ile rüzgar/dizel sistemin birim enerji maliyetini karşılaştırmışlardır. Rüzgar/biyokütle hibrit güç üretim sisteminin rüzgar/dizel sistemlere iyi bir alternatif sistem olduğu sonucuna varmışlardır (Balamurugan, Ashok, & Jose, 2011).

**Harish Kumar** güney Avustralya'da 25 büyük şehrin 2012 yılı yük talebi verilerini BOM tarafından elde etmiştir. Bu verilerin yanı sıra güneş radyasyon verilerini de elde etmiş ve bu verileri kullanarak şebeke bağlantılı fotovoltaik/biyokütle hibrit güç üretim sistemi modeli önermiştir. Şebeke bağlantılı tercih edilmesinin sebeplerinden birini de güneş verisinin kesintili olması olarak belirtmiştir. Güneş enerjisinden maksimum kazanç elde etmek için en uygun yerin Roxby Downs olduğunu belirtmiştir. HOMER yazılımı ile enerjinin birim maliyetinin 0.129\$ olduğunu ve depolama amaçlı batarya sisteminin kullanımının zorunlu kılınması gerektiği sonucuna varmıştır(Kumar, 2013).

**Janardhan ve ark.** Uttar Pradesh'de bulunan Maulana Ganj Köyü için uygun yenilenebilir hibrit güç üretim sistemini tartışmışlardır. Köyün bütün yük verilerinin detaylarını toplamışlar; buna karşılık üretilmesi gereken güç miktarını hesaplamışlardır. Fotovoltaik/biyokütle hibrit güç üretim sisteminin teknik, ekonomik ve CO<sub>2</sub> emisyonu



potansiyelini değerlendirmişlerdir(Janardhan, Kavali Srivastava, Tulika Satpathy, Guddy Sudhakar, 2013).

**Mahalakshmi ve Latha** tekstil endüstrisinde maliyet ve sera gazı emisyonlarını minimize etmek için hibrit biyokütle/fotovoltaik sistemin analizi ve tasarımı üzerine odaklanmışlardır. Hindistan, Tamil Nadu civarında T. Kallupatti’da bir tekstil tesisi civarında var olan biyokütle güç santralının güç üretim potansiyeli ve kaynakların uygunluğu temelli hibrit sistemin fizibilite analizini gerçekleştirmişlerdir. Güç santralının bulunduğu yere ait ortalama güneş radyasyonu verilerini NASA’dan elde etmişlerdir. Bu değeri 4.86 kWh/m<sup>2</sup>/gün olarak hesaplamışlardır. Seçilen alanın yeterli seviyede biyokütle yakıtına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Biyokütle yakıt fiyatı ortalama olarak 38.5\$/ton ile 42\$/ton arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Sadece şebeke, şebekeden bağımsız biyokütle/fotovoltaik ve şebeke bağlantılı biyokütle/fotovoltaik hibrit sistemler için HOMER 2.81 yazılımı kullanılarak karşılaştırmalı analiz gerçekleştirmişlerdir. MATLAB 2010a’da sinir ağları aracını kullanarak maksimum güç çıkışı için biyokütle yakıtları kombinasyonlarının optimizasyonu sonuçlarını baz alarak ekonomik ve çevresel değerlendirmeler yapmışlardır. Tekstil endüstrisinde maliyetler ve emisyon azalımı açısından değerlendirdiklerinde en verimli sistemin şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle hibrit güç üretim sistemi olduğunu belirlemişlerdir (Mahalakshmi & Latha, 2015).

**Balamurugan ve ark.** biyokütle/rüzgâr/fotovoltaik/batarya hibrit güç sistemi önermektedirler. Enerji kaynaklarının işletiminden elde edilecek gücü optimum verimlilikte yükü besleyecek şekilde gerçekleştirmişlerdir. Yükün ihtiyaç duyduğu enerji miktarını karşılayacak şekilde bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde güneş radyasyonunun olmadığı ya da düşük olduğu ya da düşük rüzgâr hızının olduğu durumlarda biyokütle, rüzgâr ve fotovoltaik hibrit güç sisteminin birlikte pik yükü karşılamasını ve enerjiyi yeterli seviyede depolamayı sürdürmesini önermektedirler. Hindistan’da Chennai’in 300 km güneyinde üç köyden toplanan yük verilerinin tamamını kullanmışlardır. Bir yıllık veriler kullanılarak simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Lineer olmayan şekilde değişen mevsim değişimleri ve komponent

kısıtları dikkate alındığı durumda bile yükün talebini karşılaması geliştirilen enerji yönetim sisteminin etkinliğini ispatlamışlardır. Sistemin ekonomik analizinin değerlendirilmesi sonucunda enerjinin maliyetini 0.1095\$/kWh olarak hesaplamışlardır(Balamurugan, Ashok, & Jose, 2009).

**Afsal**, bütünleşik yenilenebilir güç üretim sistemlerinin farklı kombinasyonlarının performanslarını Hindistan'da 1.5MW'lık bir yük talebi için analiz etmiş ve bu kombinasyonları birbiri ile karşılaştırmıştır. Bütünleşik yenilenebilir güç üretim sistemlerinin kombinasyonlarını rüzgar enerji sistemi (RES), fotovoltaik sistem (FS), fotovoltaik ve biyokütle güç sistemi (FBGS) ve rüzgar ve biyokütle güç sistemi (RBGS) oluşturmuştur. Bütünleşik FS ve BGS sistemlerinden üretilen maksimum yıllık elektrik miktarı 8672MWh iken bütünleşik BGS ve RGS'lerinden elektrik ithalatında maksimum yıllık gelir \$ 561,078'dır. Net yıllık sera gazı emisyonunun en yüksek derecede 8,850 ton değerinde CO<sub>2</sub> salınımı olarak ortaya çıkmakta ve bütünleşik BGS ve RES durumunda 838.091 \$ toplam yıllık tasarruf ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ile de 177,013\$ gelir gerçekleştiğini belirtmiştir. Ayrıca nakit akışı pozitif olduğu durumda BGS ve RES'in eşit geri ödeme periyodunu (amortisman süresi) minimum 2.7 yıl olarak tahmin etmiştir. Performans analizini ve nakit akışını RETScreen yazılımını kullanarak gerçekleştirmiştir. Eşit geri ödeme süresi, karbon ticareti, sera gazı emisyonu, elektrik ithalat geliri ve elektrik üretimi açısından BGS'li bütünleşik sistemlerin BGS'siz sistemlere göre daha uygun olduğu sonucuna varmıştır (Afzal, 2011).

**Liu ve ark.** Avusturalya'da konut alanının elektriğini sağlayacak fotovoltaik/rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç sisteminin fizibilite çalışmasını sunmuşlardır. Günlük 200kWh olan yükü çevresel ve ekonomik açıdan analiz etmişlerdir. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin sera gazı emisyonları, enerjinin maliyeti ve toplam bugünkü net maliyetleri hesaplamışlardır. Avusturalya'da (Queensland, Northern Territory, South Australia, Tasmania, Victoria, Western Australia and New South Wales) yedi bölgenin aylık ortalama güneş radyasyonu ve rüzgar hız verileri Kanada Doğal Kaynaklar tarafından geliştirilen RETScreen temiz enerji projesi analiz yazılımı ile elde etmişlerdir. Simülasyonları Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilen HOMER yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Yazılım tarafından elde edilen sistem konfigürasyonları arasından maliyetleri, emisyonları karşılaştırmışlardır.

Şebekeden bağımsız fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin emisyonların azaltılması ve güç sisteminin yatırım maliyetinin arttırmadığından dolayı en uygun sistem olduğunu belirtmişlerdir (Liu, Rasul, Amanullah, & Khan, 2011).

**Dhass ve Harikrishnan** belirli bir yük merkezinin talebini karşılamak için güneş/rüzgar/biyokütleden oluşan kombine hibrit yenilenebilir güç sistemi kurmuşlardır. Hindistan - Tamilnadu'da Pongalur alanının güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve biyokütle kaynağı açısından yeterli potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Seçilen alanın rüzgar hızı 2.82m/s'den 8.04m/s aralığında değişim göstermiştir. Biyokütle gazlaştırma stok oranı 135-350kg/saat olarak değişmekte ve buna karşılık 100-250kW güç üretimini gerçekleştirmişlerdir. Talebi karşılayacak olan fotovoltaik/rüzgar/biyokütle sisteminin teknik fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Yükün tamamı için yaşam döngüsü maliyeti, yaşam döngüsü birim maliyeti güneş/biyokütle, rüzgar/biyokütle sistemlerinin güneş/rüzgar/biyokütle hibrit sistemine göre daha düşük değerlerde olduğunu belirtmişlerdir. Kırsal kesimlerin elektrifikasyonu için güneş/rüzgar/biyokütle hibrit sisteminin tekno-ekonomik açıdan en uygun sistemler olduğunu belirtmişlerdir. Hibrit sistemin enerji üretiminde güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve biyokütle yakıtının değişimlerini de araştırmışlardır (Dhass & Harikrishnan, 2013).

**Maherchandani ve ark.** şebekeden bağımsız biyokütle/PV/rüzgar hibrit güç üretim sistemi ile şehir şebekesinin erişemediği bir yerdeki elektrik gereksiniminin ekonomik bir şekilde karşılanmasını planlanmışlardır. Hibrit güç üretim sisteminin ana enerji kaynağı biyokütle iken güneş panelleri ve rüzgar türbini destekleyici ek kaynaklardır. Şebekeden bağımsız biyokütle/PV/rüzgar hibrit güç üretim sistemindeki her bir kaynağın enerji potansiyelini araştırmışlar ve elde edilen sonuçlar kullanılarak HOMER yazılımı ile sistemin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir(Maherchandani, Agarwal, & Sahi, 2012).

**Pradhan ve ark.** şehir şebekesinden uzak alanlarda elektrik üretimi için şebekeden bağımsız fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit sistemde simülasyon yaklaşımıyla ekonomik parametrelere odaklanmışlardır. Ortalama güneş radyasyonu, biyokütle kaynağı ve ortalama rüzgar hızı verilerini dikkate alarak ve simülasyon çalışmalarında

HOMER yazılımını kullanarak fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit enerji üretim sisteminin performansını değerlendirmişlerdir. Şehir şebekesinden uzakta bir yerin şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik/rüzgar/biyokütle üretim biriminin performans değerlendirmesi için simülasyon sonuçlarını irdelemişlerdir (Pradhan, Sahoo, Das, & Priyanka, 2014).

**Maklad,** PV/rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir enerji sistemi önermiştir. Avusturalya Armidale'de bulunan kentsel konut yapıları için tasarlanan şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sisteminin boyutlandırılması için optimizasyon prosedürleri belirlemiş ve yorumlamıştır. Böylece konvansiyonel elektrik üretimi gerçekleştirilen mevcut sistem ile tasarlanan yenilenebilir hibrit sistemi karşılaştırmıştır. Simülasyon ve değerlendirme aşamalarında Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilen HOMER yazılımını kullanmıştır. Optimizasyon sürecinde sistemin en fazla enerji üretimini sağlayan, en verimli ve en düşük toplam bugünkü net maliyeti içeren ekonomik analiz işlemini gerçekleştirmiştir (Maklad, 2014).

**Gonzalez ve ark.** bir fotovoltaik/rüzgar/biyokütle temelli hibrit güç üretim sisteminin minimum yaşam döngüsü maliyeti için optimizasyon metodolojisi sunmuşlardır. Mevcut talebi rüzgar ve fotovoltaik kaynaktan üretilen güç yeterli olmadığı zamanlarda lokalde odun talaşı formunda bulunan orman atıklarının biyokütle amaçlı kullanılarak ihtiyaç duyulan gücün karşılanıp karşılanmadığını araştırmışlardır. Kırsal alanda kurulması planlanan 7.4 milyon \$ başlangıç yatırım maliyeti olan yaklaşık 1300 konutun fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit güç sistemi ile toplam yaşam döngü maliyet analizinin 30 milyon \$'dan biraz fazla olduğunu belirtmişlerdir. Elektrik birim maliyeti açısından elektrik şirketinden enerji satın alınması ile karşılaştırıldığında daha uygun maliyette olduğunu görmüşlerdir (González, Riba, & Rius, 2015).

**Sahu ve ark.** şebeke bağlantılı tasarım için bir simülasyon yaklaşımı önermişlerdir. Saatlik ortalama rüzgar hızı, saatlik güneş radyasyonu, biyokütle verilerini elde etmişler ve yük verilerini karşılayacak şekilde üretim biriminde kullanmışlardır. Rüzgar/biyokütle/fotovoltaik hibrit güç sisteminden elde edilen fazla gücü eğer mümkünse şebekeye vermeyi planlamışlardır. Simülasyon çalışmalarında HOMER

yazılımını kullanmışlardır. Kırsal kesimde bulunan küçük bir tesis için şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olarak rüzgar/biyokütle/fotovoltaik hibrit güç üretim tesisi verimini ve performansını değerlendirmek için simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar ve metotlar ışığında önerilen metodun performansı değerlendirmişlerdir (Sahu, Das, Sabat, & Swain, 2013).

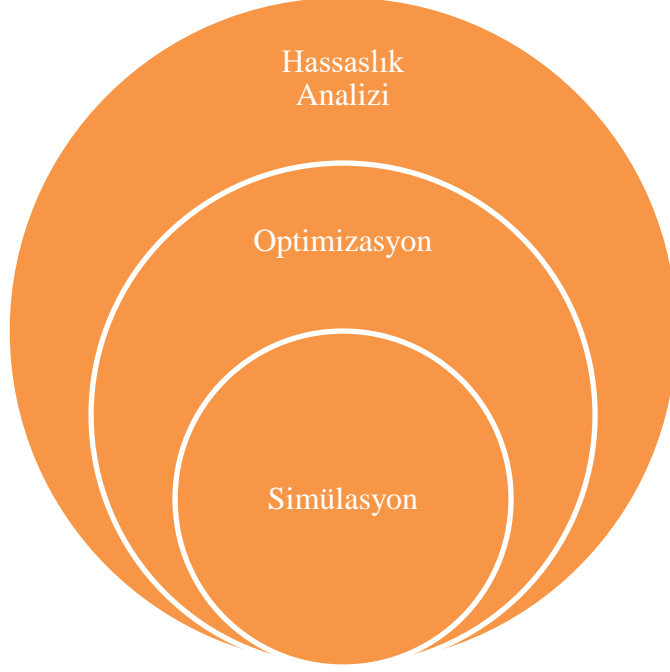
## 5. HOMER YAZILIMININ TANITILMASI VE TEKNO-EKONOMİK PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

HOMER yazılımı temelde bir bilgisayar modeli olan, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiş bir mikro güç optimizasyon modelidir. Bu program mikro güç sistemlerinin tasarımını yapmak ve güç üretim teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. HOMER yazılımı hibrit güç sisteminin fiziksel özelliklerini ve kullanım ömürleri süresindeki maliyetleri olan, tüm toplam kurulum ve işletme maliyetlerini modeller. Bu program teknik ve ekonomik verileri kullanarak farklı güç sistem tasarımlarına imkan tanır. Ayrıca, sistem modellenirken kullanılan verilerde yapılan değişikliklerin ve belirsizliklerin anlaşılmasına da yardımcı olur. Bir mikro enerji sistemi, bazen elektrik üreten bazen de yakındaki bir yükü beslemek için ısı üreten bir sistemdir. Böyle bir sistem elektrik üretimi yapan ve depolama teknolojilerine sahip, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız çalışan, birçok üretim teknolojisinin kombinasyonu olabilir. Örnek olarak ulusal elektrik şebekesinden uzak bir yerdeki yükü besleyen güneş ve akü sistemi, bir köyü besleyen rüzgar ve dizel birleşimi bir sistem veya bir fabrikaya elektrik ve ısı sağlayan şebeke bağlantılı doğal gaz mikro türbini verilebilir. Yüksek gerilim hattına elektrik sağlayan güç santralleri mikro enerji sistemi olarak nitelendirilemezler çünkü bu tesisler belli bir yüke tahsis edilmemişlerdir. HOMER yazılımı elektrik veya termal yükü besleyen fotovoltaik panellerin, rüzgar türbinlerinin, küçük güçlü hidroelektrik santrallerin, biyokütle gücünün, pistonlu motor jeneratörlerinin, yakıt hücrelerinin, akü ve hidrojen depolama sistemlerinin bulunduğu, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız çalışan sistemler modelleyebilir(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

Mikro güç sistemlerinin analizi ve tasarımı, yükün büyüklüğü ve yakıt fiyatları gibi ana parametrelerdeki belirsizlikler ve birçok tasarım seçeneği olmasından dolayı zordur. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimlere göre farklılık göstermesi, istenildiği zaman kullanılamaması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinde belirsizlikler olması da tasarımı zorlaştırır. HOMER yazılımı bu gibi olumsuzlukların önüne geçebilmek için tasarlanmıştır. Bu program üç temel görevi gerçekleştirir. Bunlar; simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizidir(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

Simülasyon sürecinde HOMER yazılımı, yılın her saati için belirli bir mikro enerji sistem konfigürasyonu performansını, bu sistemin teknik fizibilitesini ve yaşam süresi maliyetini (life-cycle cost) belirleyebilmek için modeller. Optimizasyon sürecinde ise en düşük yaşam döngüsü maliyeti göz önünde bulundurularak, teknik kısıtlamaları karşılayan bir sistem konfigürasyonunu belirleyebilmek için, birçok farklı sistem konfigürasyonunu simüle eder(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

Hassaslık analizi kısmında ise HOMER yazılımı, girişlerdeki değişikliklerin ve belirsizliklerin sistem üzerindeki etkilerini ölçmek için birçok giriş varsayımları altında çok sayıda optimizasyon işlemi gerçekleştirir. Optimizasyon işlemi, sistemi oluşturan elemanların kombinasyonu ve bu elemanların her birinin büyüklüğü veya niceliği gibi sistemi tasarlayan kişinin belirlediği değişkenlerin optimum değerini belirler. Hassaslık analizi ise ortalama rüzgar hızı veya gelecekteki yakıt fiyatı gibi sistemi tasarlayan kişinin elinde olmayan değişkenlerdeki, değişikliklerin etkilerinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Şekil 5.1’de simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Burada optimizasyonun çevrelediği alan, tek bir optimizasyonun birçok simülasyondan oluştuğu gerçeğini temsil etmek amacıyla simülasyonun çevrelediği alanı içine almaktadır. Hassaslık analizinin çevrelediği alan da optimizasyonun çevrelediği alanı içine alır. Burada da bir hassaslık analizinin bir çok optimizasyondan oluştuğu vurgulanmıştır (Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).



**Şekil 5.1:** Simülasyon, optimizasyon, ve hassaslık analizi arasındaki ilişki

## 5.1 Simülasyon

HOMER yazılımının en temel yeteneği, uzun dönem mikro güç sistemleri çalışmalarının simülasyonlarını yapabilmesidir. Simülasyon süreci, belirli büyüklüklerdeki sistem elemanlarının birleşiminden oluşan sistem konfigürasyonunu ve bu bileşenlerin birlikte nasıl çalıştığını belirleyen işletim stratejisinin, uzun zaman sürecinde, belirlenen değerler içerisinde nasıl davrandığını belirler. HOMER çok çeşitli mikro güç sistem konfigürasyonlarının simülasyonunu yapabilmektedir. Örneğin PV panelin, bir veya daha fazla rüzgar türbininin, generatörün, batarya grubunun, AC-DC ya da DC-AC dönüştürücülerin, elektrolizörün, hidrojen depolama tankının ve bunların kombinasyonlarının simülasyonunu yapabilmektedir. Bu sistemler şebekeye bağımlı veya şebekeden bağımsız olabilmekte ve ayrıca alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) elektrik yüklerini veya termal yükleri besleyebilmektedir. Simülasyon işlemi iki temel amacı yerine getirmektedir. İlk olarak sistemin uygun olup olmadığını belirlemektedir. Burada sistem belirlenen elektrik ve termal yükleri karşılıyor ve ayrıca tasarımcı tarafından belirlenen diğer kriterleri de yerine getiriyorsa bu sistem uygulanabilir bir sistem olarak değerlendirilmektedir. İkinci olarak da sistemin ömür



boyu maliyeti belirlenmektedir. Yani sistemin kurulum ve kullanım süresi boyunca çalışma maliyetlerinin toplamını belirler. Ömür boyu maliyet ise çeşitli sistem konfigürasyonlarını ekonomik açıdan değerlendirirken kullanılabilir uygun bir ölçüdür. Bu karşılaştırmalar HOMER yazılımının optimizasyon sürecinin temelini oluşturur. HOMER belirli bir sistem konfigürasyonunu, sistemin bir yıllık saatlik simülasyonlarını değerlendirerek modellemektedir. HOMER bir yıl boyunca saatlik adımlarla ilerlemekte, kullanılabilir enerjiyi hesaplamakta, bunu elektrik yükü ile karşılaştırarak, fazla enerji ile ne yapacağına veya yenilenebilir enerjinin yeterli olmadığı durumlarda ek gücü nasıl sağlayacağına karar vermektedir. Bir yıla ait hesaplamalar tamamlandığında, HOMER sistemin elektrik yükünü karşılayıp karşılamadığını, yenilenebilir enerji oranını ve sistemi tasarlayan tarafından belirlenen şartların sağlanıp sağlanmadığını belirlemektedir. HOMER ayrıca sistemin yaşam döngüsü maliyetini hesaplamak için gerekli olan değerleri de hesaplamaktadır. Bu değerler, yıllık yakıt tüketimi, jeneratörün yıllık çalışma saati, öngörülen akü ömrü veya şebekeden alınan enerji gibi. HOMER programının yaşam döngüsü maliyetini belirlemek için kullandığı değer, toplam bugünkü net maliyettir. Bu tek değer, bugüne indirgenmiş gelecek nakit akışları ile, proje yaşam süresi içerisinde meydana gelen tüm maliyet ve gelirleri kapsar. Toplam bugünkü net değer, sistem bileşenlerinin ilk yatırım maliyetini, proje süresince olacak yenileme, bakım ve yakıt maliyetlerini ve şebekeden alınan enerji maliyetini kapsar. Şebekeye satılan elektrikten elde edilen gelir ise bugünkü net değeri düşürür. Bir çok mikro enerji sistemi için, özellikle sürekli olmayan güç kaynakları için, bir saatlik zaman adımı, sistem davranışını kabul edilebilir doğrulukta modelleyebilmek için gereklidir. Örneğin rüzgar-dizel-akü enerji sisteminde aylık ortalama rüzgar güç çıkışını bilmek yeterli değildir. Çünkü zamanlama ve güç çıkışındaki değişkenlikte ortalama değer kadar önemlidir (Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

## **5.2 Optimizasyon**

Simülasyon sürecinde belli bir sistem konfigürasyonu modellenirken, optimizasyon sürecinde ise mümkün olan en iyi sistem belirlenir. Bu programda en optimum sistem, sistem tasarımcısı tarafından belirlenen özellikleri sağlayan ve en düşük toplam bugünkü

net maliyete sahip olan sistem konfigürasyonudur. Optimum sistemi bulmak, sistem konfigürasyonunun hangi elemanlardan oluştuğuna, bunların sayısına ve büyüklüğüne karar vermeyi gerektirir.

Program optimizasyon sürecinde birçok farklı sistem konfigürasyonunu simüle eder, bunların içinde istenilen kriterlere uygun olmayanını eler ve geri kalanları da toplam bugünkü net maliyete göre sıralar. Bunların arasında da en düşük toplam bugünkü net değere sahip olanını da optimum sistem olarak değerlendirir. Optimizasyon sürecinin amacı, sistem tasarımcısını ilgilendiren her bir karar değişkeninin optimum olanını belirlemektir. Karar değişkeni ise sistem tasarımcısının kontrolünde olan değişkenlerdir. HOMER’da kullanılan olası karar değişkenleri, fotovoltaik dizinin büyüklüğü, elektrolizörün büyüklüğü, rüzgar türbini sayısı, kullanılan jeneratörün büyüklüğü, hidrojen depolama tankının büyüklüğü, AC-DC dönüştürücünün büyüklüğü olarak sıralanabilir .

Optimizasyon, tasarımcıya bir çok olasılık arasından en optimum sistemi bulmasına ve onu geliştirmesine yardımcı olur. Örnek olarak rüzgar-dizel-akü grubu içeren bir sistemi göze önüne alalım. Burada tasarımcı türbin sayısında, batarya sayısında, dönüştürücü büyüklüğünde, meydana gelecek değişikliklerin toplam bugünkü net maliyeti nasıl etkileyeceğini önceden bilemez. Yani bu değerlerin değişmesiyle toplam bugünkü net değer artabilir de, azalabilir de. Bu nedenle bunlar karar değişkenleri olarak adlandırılır. Bu nedenle HOMER, sistem tasarımcısına karar değişkenleri için farklı sayıda değerler girebilmesine olanak sağlar. Örnek olarak farklı sayıda rüzgar türbini ve akü sayısı, farklı büyüklüklerde dönüştürücü değerleri gibi. Yazılımın girilen bu olasılıkların hepsini dikkate almasıyla da optimum sistem parametreleri bulunur. Çizelge 5.1.’de farklı sistem elemanları için girilen, farklı değerler verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** 140 Farklı Sistem Konfigürasyonu İçeren Durum

	Rüzgar türbini	Dizel Generatör	Battarya	Konverter
	(Miktar)	(kW)	(Miktar)	(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	

Örnek olarak Çizelge 5.1'deki durum için, program ( $5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$ ) 140 farklı olasılık arasından en optimum olanını bulacaktır. Burada farklı sayıda değer girilmesi olasılığı artırarak, daha iyi sistemi bulmaya olanak sağlamıştır. Programın çalıştırılmasından sonra, en düşük toplam bugünkü net maliyete sahip olan sistem konfigürasyonundan başlayarak, en pahalıya doğru hepsi sıralanarak çizelge halinde sunulur. Şekil 5.2'de, programın çalıştırıldıktan sonra oluşan bir optimizasyon Çizelge 5.1.'de örnek olarak verilmiştir (Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

	PV (kW)	NW100	Label (kW)	H3000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Label (hrs)
	200	2	150	300	150	\$ 3,395,000	295,547	\$ 7,173,077	0.769	1.00	2,032	3,518
	200	2	150	400	150	\$ 3,410,000	295,171	\$ 7,183,275	0.770	1.00	2,034	3,519
	200	3	150	300	150	\$ 3,635,000	278,958	\$ 7,201,020	0.772	1.00	1,880	3,263
	200	2	150	200	150	\$ 3,380,000	299,029	\$ 7,202,590	0.772	1.00	2,040	3,551
	200	3	150	400	150	\$ 3,650,000	278,045	\$ 7,204,347	0.772	1.00	1,878	3,258
	200		150	300	150	\$ 2,915,000	336,186	\$ 7,212,591	0.773	1.00	2,368	4,098
	200		150	400	150	\$ 2,930,000	335,362	\$ 7,217,058	0.773	1.00	2,368	4,094
	200		150	200	150	\$ 2,900,000	337,938	\$ 7,219,976	0.774	1.00	2,367	4,111
	200	3	150	200	150	\$ 3,620,000	282,512	\$ 7,231,451	0.775	1.00	1,890	3,295
		2	150	400	150	\$ 2,010,000	425,453	\$ 7,448,711	0.798	1.00	2,939	5,086
		3	150	400	150	\$ 2,250,000	408,347	\$ 7,470,048	0.801	1.00	2,788	4,835
	200	2	150	75	150	\$ 3,361,250	347,869	\$ 7,808,183	0.837	1.00	2,133	4,074
	200	3	150	75	150	\$ 3,601,250	334,567	\$ 7,878,138	0.844	1.00	2,015	3,858

**Şekil 5.2:** Sistem konfigürasyonlarını gösteren toplu optimizasyon sonuçları

Şekil 5.2’de programın çalıştırılmasından sonra oluşan ve en küçük toplam bugünkü net maliyetten (NPC) başlayarak sıralanan, sistem konfigürasyonlarını içermektedir. İlk sıradaki konfigürasyon en düşük NPC tutarına sahip olmasından dolayı, bu şartlar altında en optimum sistemi teşkil etmektedir.

### 5.3 Hassaslık Analizi

Hassaslık analizinde, çıkış değerlerinin, sistemin giriş değerlerindeki değişimlere ne kadar duyarlı olduğu tanımlanır. Hassaslık analizinde tasarımcı her bir giriş değişkeni için, farklı değer aralıklarını içeren değişkenler girebilir. HOMER’da karar değişkeni olarak tanımlanmayan neredeyse bütün giriş değişkenleri, ‘*hassaslık değişkeni*’ olarak tanımlanabilir. Bu değişkenlere, şebeke elektrik fiyatı, yakıt fiyatı, faiz oranı veya fotovoltaik hücrenin yaşam süresi örnek olarak gösterilebilir. Bunların yanında elektrik yükü, güneş radyasyon verisi, rüzgar hızı gibi saatlik veri kümeleri üzerinde de hassaslık analizi yapılabilir. Bu süreçte günlük yük dağılım eğrisi, mevsimsel yapısı veya herhangi bir istatistiksel özelliği değiştirilmeden yük verisi genlikleri ile otomatik değiştirilebilmektedir. HOMER yenilenebilir kaynak verilerini de aynı şekilde değerlendirmektedir. Hassaslık analizinin amacı belirsizliklerin üstesinden gelmektir. Eğer sistem tasarımcısı belirli bir değişken değerinden emin değilse, farklı değerler girerek, bu değerler sonucunda sistem çıkışındaki değişiklikleri görebilir ve değerlendirebilir. Bunların yanında bir de hassaslık analizi ile kullanıcı, hangi fiyatta ve hangi koşullar altında, bir sistem konfigürasyonunun, alternatifleri ile rekabet edebileceğini öngörebilir (Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006)

### 5.4 Tekno-ekonomik Analiz

Ekonomi boyutu HOMER yazılımında hem simülasyon aşamasında hem de optimizasyon aşamasında yer almaktadır. Diğer bir deyişle hesaplamalara dahil edilmektedir. HOMER yazılımı simülasyon sürecinde işlem yaparken toplam bugünkü net maliyeti minimize edecek şekilde çalışır. Optimizasyon sürecinde ise, en düşük toplam bugünkü net maliyete sahip sistem konfigürasyonlarını yukarıdan aşağıya doğru sıralar. Aynı zamanda optimizasyon sürecinde HOMER yazılımı, yenilenebilir ve

konvansiyonel enerji kaynaklarının çok çeşitli sistem konfigürasyonlarının ekonomik boyutlarını birçok defa karşılaştırmak zorundadır. Bu karşılaştırmaların doğru yapılabilmesi için de, hem sermaye hem de işletme maliyetini hesaba katmak gereklidir. Yaşam döngüsü maliyet analizi (Life Cycle Cost Analysis) de, sistemin ömrü süresince meydana gelen tüm maliyetlerini kapsar. HOMER yazılımı yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için, toplam bugünkü net maliyet değerini kullanır. NPC, iskonto oranının kullanımı ile bugüne iskonto edilmiş gelecekteki nakit akışları ile birlikte, proje yaşam süresi içerisinde meydana gelen tüm maliyetleri ve gelirleri bugünün doları olarak toplu ödenen para miktarı olarak özetleyen bir parametredir. Hibrit güç sistem tasarımcısı, projenin ömrünü ve iskonto oranını belirleyebilir. Toplam bugünkü net maliyet, ilk yatırım maliyetini, yenileme, bakım, yakıt ve şebekeden alınan elektriğin maliyetini içerir. Gelirler ise, şebekeye satılan elektriği ve yaşam süresi sonucunda meydana gelen hurda maliyetini içerir. Maliyetler pozitif, gelirler de negatif olarak değerlendirilir. Yaşam süresi sonunda her bir komponentin hurda maliyetini hesaplarken HOMER yazılımı denklem (5.1)'deki denklemi kullanır(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

$$S = C_{rep} \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (5.1)$$

Bu denklemde S hurda değerini (\$),  $C_{rep}$  komponentin yenileme maliyetini (\$),  $R_{rem}$  komponentin kalan ömrünü (yıl),  $R_{comp}$  komponentin ömrünü (yıl) ifade eder. Proje süresi 15 yıl ve komponent ömrü de 15 yıl ise, proje sonunda hurda değeri yoktur. Fakat komponent ömrü 20 yıl proje süresi 10 yıl ise bu durumda yenileme maliyetinin üçte biri kadar hurda değeri olacaktır. HOMER yazılımı her bir komponent için, sermaye, yenileme, bakım, yakıt maliyeti ve diğer maliyetler ile hurda değeri ve diğer gelirleri dikkate alarak bir takım hesaplamalar yaparak komponentin yıllık maliyetini bulur. Her bir komponentin yıllık maliyetleri toplanarak da, sistemin toplam yıllık maliyetini oluşturur. Bu değer HOMER yazılımında kullanılan, iki temel ekonomik değeri hesaplamada kullanılır. Bunlar NPC ve COE. HOMER yazılımı bugünkü net maliyeti

denklem (5.2) kullanarak hesaplamaktadır(Demiroren & Yilmaz, 2010; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (5.2)$$

$C_{NPC}$  toplam bugünkü maliyetini (\$),  $C_{ann,tot}$  toplam yıllık maliyeti (\$/yıl),  $CRF( )$  sermayeyi geri kazanım faktörünü,  $i$  reel faiz oranını (%) ve  $R_{proj}$  proje ömrünü (yıl) ifade etmektedir. Sermaye geri kazanım faktörü yıllık gelir – gider akışının bugünkü değeri denklem (5.3) kullanılarak hesaplanmaktadır(Demiroren & Yilmaz, 2010; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

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

Burada  $i$  reel faiz oranını (%) ve  $N$  yıl sayısını ifade etmektedir. Reel faiz oranı, tek seferlik maliyetler ile yıllık maliyetler arasında dönüşüm yapmak için kullanılan iskonto oranıdır ve denklem (5.4)'teki gibi ifade edilir(Demiroren & Yilmaz, 2010; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

$$i = \frac{i_0 - f}{1 + f} \quad (5.4)$$

$i$  reel faiz oranını,  $i_0$  nominal faiz oranı (bir kredi alındığındaki oran) ve  $f$  yıllık enflasyon oranını ifade etmektedir. Enerjinin bir değere getirilmiş maliyeti ise, aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (5.5)$$

Düzeltilmiş enerji maliyeti (COE), sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Düzeltilmiş enerji maliyetini hesaplamak için HOMER yazılımı üretilen elektriğin yıllık maliyetinin (toplam yıllık maliyetten termal yük hizmeti maliyeti çıkarılır) yıllık toplam faydalı elektrik enerji üretimine bölerek hesaplanmaktadır. Düzeltilmiş enerji maliyeti ifadesi denklem (5.5)'de görülmektedir. Burada,  $C_{ann,tot}$  toplam yıllık maliyet (\$/yıl),  $E_{prim,AC}$  AA yük miktarı (kWh/yıl),  $E_{prim,DC}$  DA yük miktarı (kWh/yıl),  $E_{grid,sales}$  şebekeye toplam enerji satışı (kWh/yıl) olarak ifade etmektedir (Demiroren & Yilmaz, 2010; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

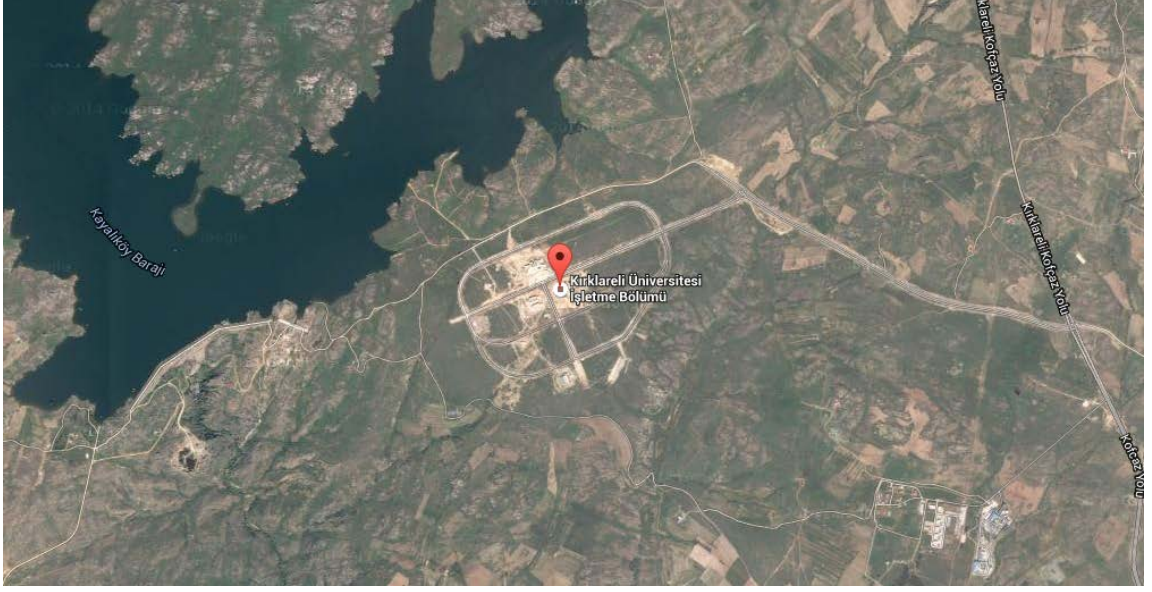
## **6. MATERYAL VE METOT**

Bu bölümde tez çalışması kapsamında modellenecek olan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit güç üretim sistemi seçenekleri için her bir komponentin tek tek modellenmesi, her bir komponent için gerekli parametrelerin belirlenmesi ve son olarak elde edilen parametrelerin HOMER yazılımına girilmesi işlemleri gerçekleştirilecektir.

### **6.1 Yük Profiline Modellenmesi**

Kırklareli Üniversitesi 2007 yılında kurulan ve 2016 yılına gelindiğinde yaklaşık 23000 öğrencisi ve donanımlı akademik ve idari personeli ile genç bir üniversitedir. Kayalı Yerleşkesi üniversitenin en büyük yüzölçümüne sahip yerleşkesidir. Tez kapsamında Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesinde bulunan Merkezi Derslik-2 binasının enerji ihtiyacını karşılayacak en uygun hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi belirlenecektir. Merkezi Derslik-2 binası İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Teknoloji Fakültesi, Mühendislik Fakültesi ve Sağlık Yüksekokulu olmak üzere toplam dört ayrı akademik birimi bünyesinde bulundurmaktadır. Aynı yapı içerisinde dört adet konferans salonu, dört adet bilgisayar laboratuvarı, 30 adet standart derslik, 34 adet amfi tipinde derslik ve 60 adet öğretim elemanı ve idari personel odası bulunmaktadır. Elektrik yük profilini temelde klimalar, bilgisayarlar ve aydınlatma sistemi oluşturmaktadır. Şekil 6.1’de Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesi Merkezi Derslik-2’nin uydudan görüntüsü yer almaktadır. Şekil 6.2’de ise Merkezi Derslik-2’nin fiziki dış görünüşü görülmektedir.





(a)



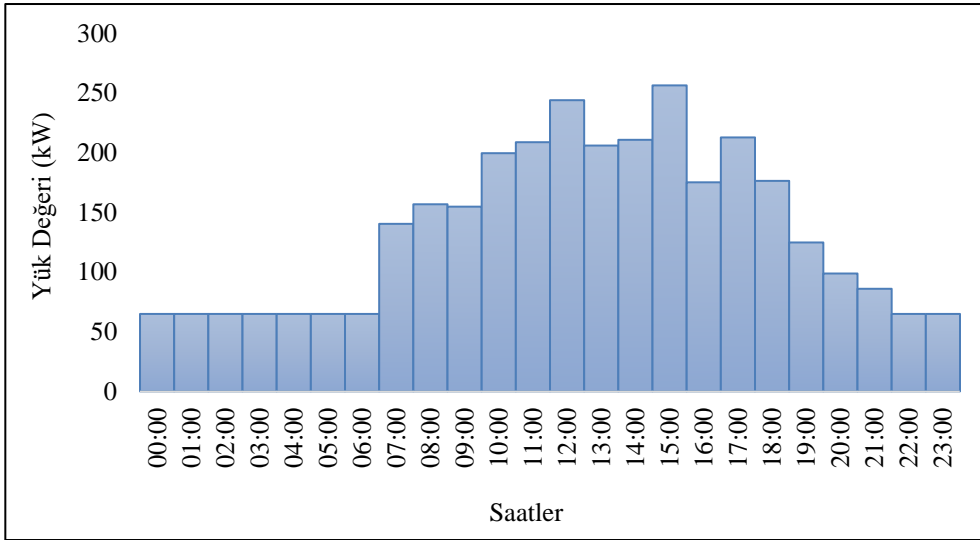
(b)

**Şekil 6.1:** Merkezi Derslik-2'nin uydu görüntüsü



**Şekil 6.2:** Merkezi Derslik-2'nin fiziki dış görünüşü

Merkezi Derslik-2'nin ortalama günlük elektrik yükü 2000kW/gün'dür. Dersliğin saatlik maksimum (peak) yükü 277kW iken saatlik ortalama yük değeri ise 83.3kW'dır. Merkezi Derslik-2'nin elektrik yük değerini belirlemek için ana dağıtım güç panosunda bulunan elektrik sayacından veriler 2015 yılı Şubat ayından itibaren ölçülmüş ve saatlik bazda elde edilmiştir. Tüm yıla ait veriler saatlik verilere dönüştürülerek ay ay olarak HOMER yazılımında Birincil Elektrik Yükü Girişi bölümünde ( Primary Load Inputs) girilmiştir. Yazılım tarafından elde edilen saatlik bazda günlük yük eğrisi Şekil 6.3'de ve mevsimsel yük değerleri Çizelge 6.1'de görülmektedir.



**Şekil 6.3:** Merkezi Derslik -2 Günlük Yük Eğrisi

**Çizelge 6.1:** Merkezi Derslik -2 Mevsimsel yük değerleri

AYLAR	MEVSİM	Minimum	Günlük en düşük	Ortalama	Günlük en yüksek	Maksimum
		kW	kW	kW	kW	kW
Aralık	KIŞ	24.277	44.550	119.628	257.598	380.917
Ocak		8.500	45.247	131.209	288.849	363.380
Şubat		16.860	41.921	127.663	281.840	375.458
Mart	İLKBAHAR	22.028	45.637	138.566	293.645	373.579
Nisan		15.600	46.033	122.460	253.926	401.022
Mayıs		12.176	41.762	119.646	255.764	358.986
Haziran	YAZ	18.349	44.429	123.773	263.524	413.904
Temmuz		23.441	42.047	120.726	251.830	366.813
Ağustos		24.000	44.464	130.409	279.375	414.883
Eylül	SONBAHAR	10.116	44.024	121.939	247.615	375.697
Ekim		18.443	45.515	122.905	256.860	380.354
Kasım		8.505	40.450	120.344	260.767	369.833

Mevsimsel yük profili incelendiğinde en fazla enerji tüketiminin Ağustos ayında 414.883kW iken, en düşük enerji tüketim değerinin ise Ocak ayında 8.500 kW olarak tespit edilmiştir. Günlük olarak en fazla enerji 293,645kW olarak Mart ayında tüketilirken, en düşük enerji ise 40,450kW olarak Kasım ayında tüketildiği görülmektedir.

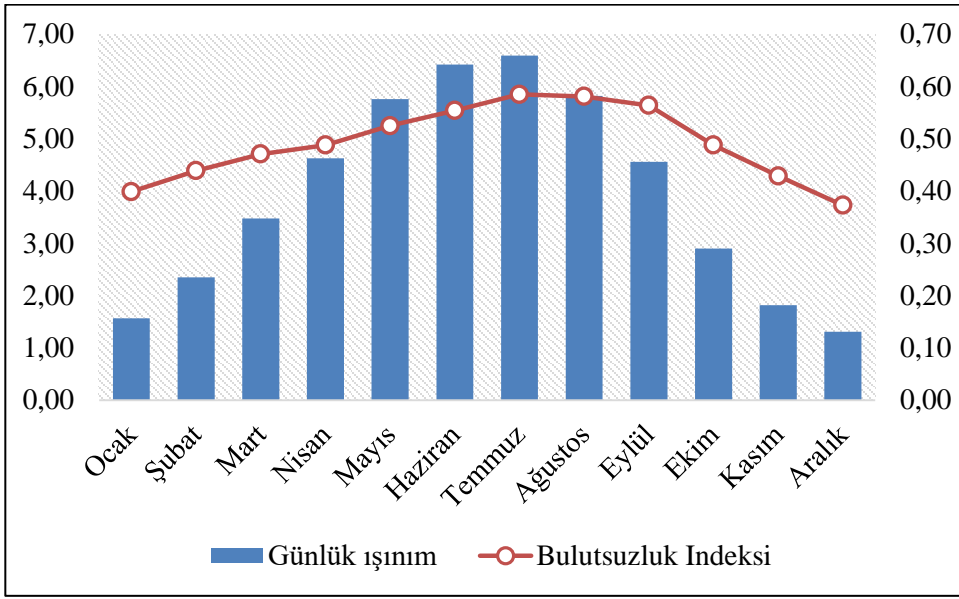
## 6.2 Enerji Kaynaklarının Modellenmesi

Bu çalışmada enerji kaynaklarının modellenmesi ve kaynakların potansiyeli hakkında bilgiler verilmektedir.

### 6.2.1 Güneş Kaynağının Modellenmesi

Hibrit güç üretim sisteminin kurulacağı bölgenin güneş radyasyonu değerleri güneş enerjisinde elektrik enerji üretiminde oldukça önem arz etmektedir. Yıllık güneşlenme

süresinin fazla olması üretilecek enerjinin miktarı ile doğru orantılıdır. Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinde bulunan Merkezi Derslik-2'nin koordinatları 41,791N enleminde ve 27,162E boylamındadır. Merkezi Derslik-2'nin koordinatları kullanılarak internet aracılığıyla, NASA'dan HOMER yazılımının yardımıyla aylık ortalama güneş radyasyon verileri elde edilmiştir(NASA, 2015). Aylık ortalama güneş radyasyon verileri Şekil 6.4'de verilmiştir. Ayrıca Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler ile karşılaştırıldığında kayda değer bir farklılık gözlenmemiştir(MGM, 2015b).

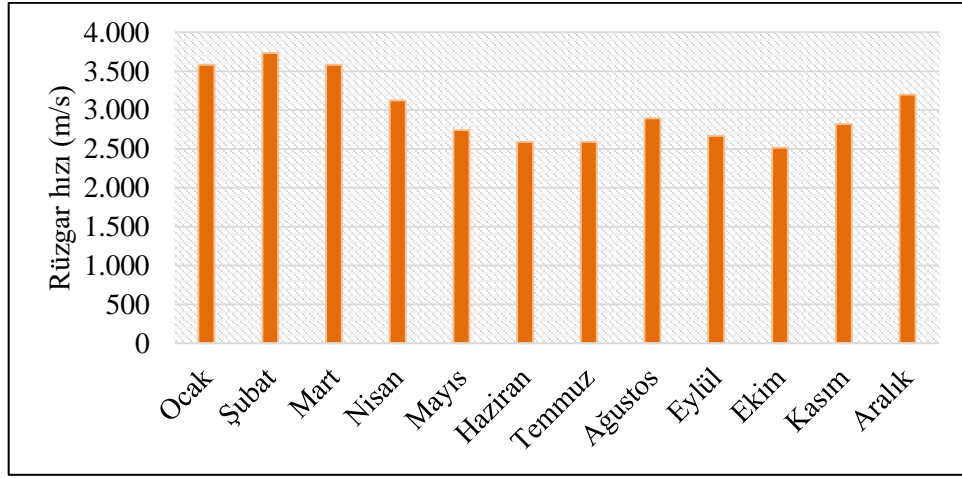


**Şekil 6.4:** Aylık ortalama güneş radyasyonu ve bulutsuzluk indeksi

Şekil 6.4'de yer alan bulutsuzluk indeksi (clearness index), atmosferin açıklığının bir ölçüsüdür. Bu değer açık havalarda yüksek, kapalı (bulutlu) havalarda ise düşük değerlerdedir. Boyutsuz bir büyüklüktür ve 0-1 arasında değişir. HOMER Graham algoritmasını kullanarak yılın her saatinde karşılık güneş radyasyon verilerini sentezler. Bu algoritma ile gerçekçi saatlik datalar üretilmektedir. Merkezi Derslik-2'nin ortalama bulutsuzluk indeksi 0.515 olarak hesaplanırken ortalama güneş radyasyonu değeri 3.943kWh/m<sup>2</sup>/gün olarak belirlenmiştir.

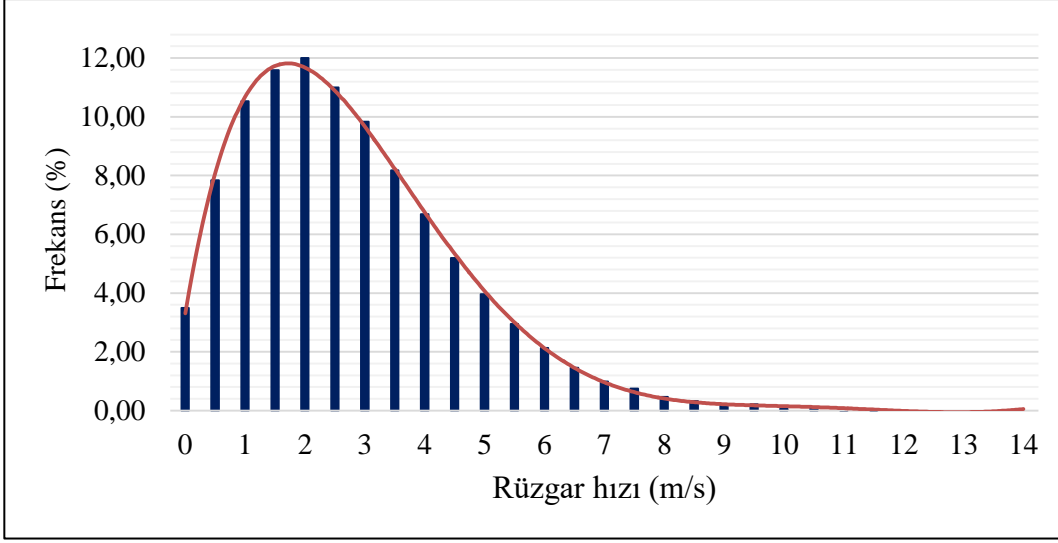
## 6.2.2 Rüzgar Kaynağının Modellenmesi

Rüzgar kaynağının modellenmesi için HOMER yazılımında iki seçenek vardır. İlk olarak yılın her ayına ait ortalama rüzgar hızları girilerek ya da bir yıllık saatlik rüzgar hızları bir dosyadan HOMER yazılımına aktarılabilir. Merkezi Derslik -2'nin rüzgar hız verileri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı YEGM'den 2012-2014 yılları arasında saatlik bazda 10m yükseklikte elde edilmiştir(MENR, 2015). Bu iki yıla ait veriler değerlendirildiğinde aylık bazda saatlik olarak veriler sınıflandırılarak aylık ortalama hız verileri şeklinde HOMER yazılımına girilmektedir. Şekil 6.5'de aylık ortalama rüzgar hız verileri görülmektedir.



Şekil 6.5: Derslik 2'nin rüzgar hız verileri

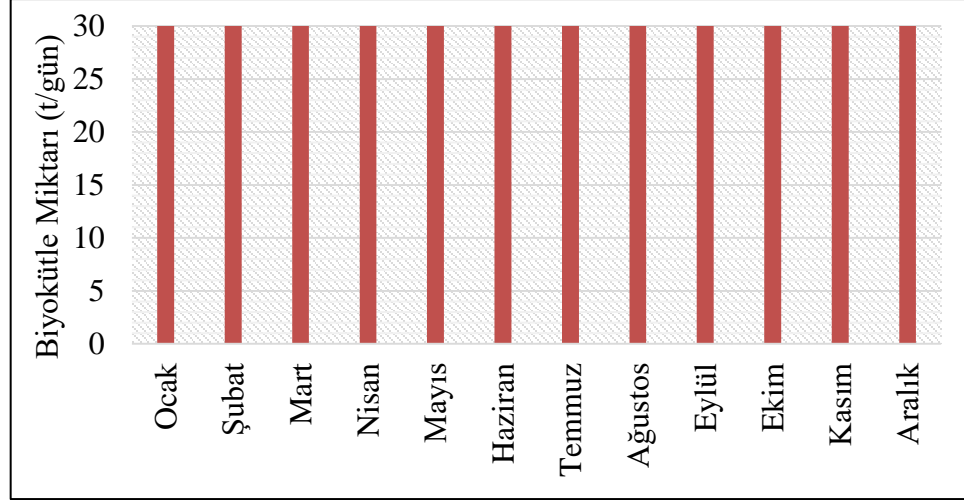
HOMER yazılımı aylık ortalama rüzgar hız verilerini kullanarak Weibull parametrelerinden k ve c parametrelerini sırasıyla 1.71 ve 3.37m/s olarak hesaplamaktadır. Şekil 6.6'da Weibull grafiği görülmektedir.



**Şekil 6.6:** Merkezi Derslik -2'nin rüzgar hız verilerinin Weibull Dağılımı

### 6.2.3 Biyokütle kaynağının modellenmesi

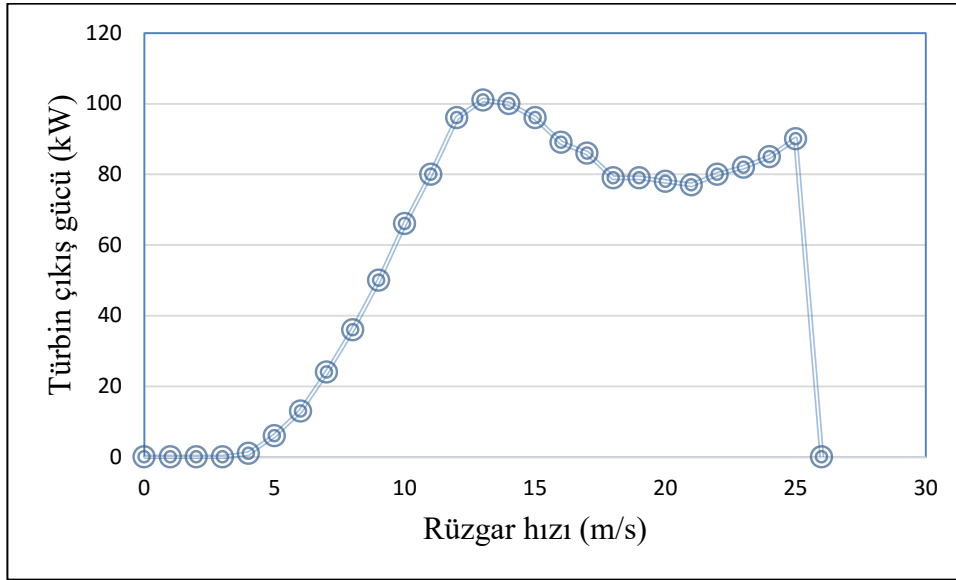
Hayvansal atıklar bir biyokütle kaynağıdır. Hayvansal atıklar bir dizi proses ile biyogaza dönüştürülür. Bu proseslerden en yaygın kullanılanı anaerobik fermantasyondur. Trakya bölgesi hayvancılık sektöründe önde gelen Türkiye İstatistik Kurumu 2015 yılı verilerine göre Kırklareli'nin toplam büyük baş hayvan sayısının 146,092 olduğu görülmektedir(TÜİK, 2015b). Biyogaz potansiyelini hesaplayabilmek amacıyla literatürde kabul gören ve potansiyel hesaplamada kullanılan kabuller bulunmaktadır. Ortalama 650 büyük baş hayvan barındıran bir çiftlik dikkate alınmıştır. Burada bir büyükbaş hayvandan yılda ortalama 3.6 ton gübre ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ortalama bir ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmektedir(Doğru, 2011; Milbrandt,Anelia Overend, 2011). Bu değerler Kırklareli için hesaplandığında 650 hayvandan yılda toplamda 12,600t gübre elde edilmektedir. Bu veri günlük dönüştürüldüğünde 32.50t/gün olarak hesaplanmaktadır. Tez çalışmasında günlük mevcut biyokütle yakıtı olarak 30t/gün olarak alınmıştır. HOMER yazılımına biyokütle kaynağı bölümüne bu değer girişi yapılmıştır.



**Şekil 6.7:** Kırklareli’nde 3500 hayvandan elde edilebilecek biyokütle kaynağı

### 6.3 Rüzgar Türbininin Modellenmesi

Modellenen hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılacak olan Northern Power NW/100/19 rüzgar türbini modeli 100kW anma gücündedir. Türbinin rotor çapı 19m’dir. Türbin çıkış gerilimi AA’dır. Hub yüksekliği 32m’dir. Türbinin güç eğrisi Şekil 6.8’de görülmektedir(NP, 2015).



**Şekil 6.8:** Northern Power NW/100/19 rüzgar türbini güç eğrisi

Bu çalışma için rüzgar türbininin ilk yatırım maliyeti 100 kW için 240,000\$ olup yenileme maliyeti ilk yatırım maliyetine eşittir. Rüzgar türbininin ömrü 15 yıl olarak

kabul edilmiştir. Çalışmada optimum sistem oluşturulurken, en uygun rüzgar türbin sayısını bulmak için rüzgar türbin sayısı (0,1,2,3) olarak belirlenmiştir. Sıfır sayısı rüzgar türbininin sistemde olmadığı ya da kullanılmadığı durumu ifade etmektedir(NP, 2015).

#### **6.4 Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi**

Modellenen hibrit güç üretim sisteminde fotovoltaik sistemin modellenmesinde kullanılan fotovoltaik dizi tek kristalli silisyum yapıda olan fotovoltaik hücreden oluşmaktadır. Fotovoltaik panel çıkışı DA'dır. Dolayısıyla yükü beslemesi için bir dönüştürücüye ihtiyaç duyulmaktadır. DA/AA dönüştürücüsü (Converter) ile yükün ihtiyaç duyduğu enerji karşılanmaktadır. İlk yatırım maliyeti 1kW için 7000\$, yenileme maliyeti 7000\$ ve yıllık bakım değeri 10\$ olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemin ömrü 25 yıl, azalma faktörü, yani kir, sıcaklık, gölge, kar örtüsü ve eskime gibi nedenlerle fotovoltaik dizilerin çıkışında oluşacak kayıpların dikkate alınmasını sağlayan değer, %90 olarak kullanılmıştır. Eğim değeri panelin yatay düzleme göre konumunu ifade eden açı değeridir. 0° yatay konumu, 90° ise panelin dik bir konumda olduğunu ifade eder. Bu çalışmada, sisteme getirdikleri yüksek ek maliyet nedeniyle, güneş takip sistemleri iki yönlü olarak belirtilmiştir. Deretasyon faktörü %80 olarak ifade edilmiştir. Güneş takip sistemi ek maliyeti dikkate alınarak fotovoltaik panel maliyetine eklenmiştir. Azimut değeri panelin baktığı yönü tanımlayan açı değeridir. Sabit yöne sahip olacak fotovoltaik paneller genellikle ekvatora yönlendirilirler. Yani kuzey yarımkürede olan panel için bu değer 0°, güney yarımkürede olan bir panel için ise bu değer 180° olarak belirlenebilir. Türkiye kuzey yarımkürede olduğu için, azimut değeri 0° kabul edilmiştir. Yüzey yansıtma değeri, yeryüzüne gelen ışınımın, yeryüzü tarafından yansıtılan kısmını % olarak ifade eder. Çim ile kaplı bölge için bu değer %20, kar ile kaplı bölge için bu değer %70 değerini alır. Bu çalışmada ise, yüzey yansıtma değeri, %20 olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik panellerin çıkış gücünün, hücre sıcaklığı ile nasıl değiştiğini gösteren sıcaklık güç katsayısı değeri, bu çalışmada (-0.4%/°C) olarak kullanılmıştır. Kullanılan tek kristalli silisyum yapıdaki fotovoltaik panelin, normal şartlar altındaki işletme sıcaklığı -40 ile 85 °C arasında olup, bu çalışmada 47°C ve verimi ise %14 olarak kabul edilecektir. Optimum sistemin bulunması için panel



güçleri (0, 50, 100, 150 ve 200kW) olarak belirlenmiştir(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, 2006).

### **6.5 Biyokütle Generatörü**

1kW'lık biyokütle generatörünün ilk yatırım maliyeti değiştirme maliyetine eşit olup 1000\$'dır. İşletme ve bakım maliyeti ise 0.020\$/yıl olarak verilmiştir. Biyokütle generatörünün ömrü 15,000 saat ve minimum yük oranı %30'dur. Biyokütle yakıtı olarak büyük baş hayvanların gübresinden elde edilen biyogaz kullanılmıştır. Generatörün gücü 0 – 150kW arasında değiştirilmiştir(Mahalakshmi & Latha, 2015).

### **6.6 Bataryanın Modellenmesi**

Hibrit güç üretim sistemlerinin modellenmesinde kullanılan bataryalar, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin, sistemin yük ihtiyacı karşılandıktan sonra fazla kalan enerjinin depolandığı ve üretilen enerji yeterli olmadığı zamanlarda da depolanan enerjiyi sisteme aktaran elemanlardır. Bu çalışmada, Hoppecke 24OPzS 3000 modeli bataryalar kullanılmıştır. Havalandırılmalı boru şeklinde plakaları olan kurşun asit batarya türüdür. Nominal kapasitesi 3000Ah (6kWh)'tir. Nominal gerilimi 2V olup minimum şarj durumu %30'dur. Batarya ilk yatırım ve yenileme maliyeti 150\$ olup işletme ve bakım maliyeti ise yıllık 2\$ olarak belirlenmiştir. Hibrit güç üretim sisteminde ihtiyaç duyulan optimum batarya sayısının bulunması için batarya sayısı (0, 75, 150, 225, 300, 400 adet) olarak belirlenmiştir (Hoppecke, 2015).

### **6.7 Dönüştürücünün (Converter) Modellenmesi**

HOMER'da dönüştürücü olarak tanımlanan eleman, hem doğru akımı alternatif akıma dönüştüren evirici, hem de alternatif akımı doğru akıma dönüştüren doğrultucu gibi çalışır. Bu çalışmada dönüştürücü ömrü 15 yıl ve verimlilik ise %90 olarak belirlenmiştir. Doğrultucunun kapasitesinin, eviricinin kapasitesinin ne kadarı olduğunu tanımlayan bir yüzde değeri belirtilir. Bu çalışmada bu değer %100 olarak tanımlanmıştır. 1 kW büyüklüğündeki dönüştürücünün yatırım maliyeti 800\$, yenileme maliyeti 750\$ ve işletme ve bakım maliyeti ise 10\$/yıl olarak belirlenmiştir. Hibrit güç üretim sisteminde ihtiyaç duyulan optimum dönüştürücü sayısının bulunması için

dönüştürücü sayısı (0, 150, 300) adet olarak belirlenmiştir(Thakur, Gupta, Kumar, & Pandey, 2012).

## **6.8 Şebekenin Modellenmesi**

HOMER yazılımında şebeke, ihtiyaç anında elektrik satın alınabilecek ve uygun durumlarda da elektrik satılabilecek şekilde modellenmektedir. Şebeke modellenirken, şebekeden elektrik satın alınması halinde, elektrik şirketine ödenecek tutar \$/kWh olarak, mikro enerji sisteminin ürettiği elektriği şebekeye sattığında da, elektrik şirketinin ödeyeceği tutarı belirlemek için de yine \$/kWh cinsinden değerler kullanılır. Bu çalışmada şebekeden alınan elektrik için 1 kWh'i 0.178 TL+KDV yani 0.210 TL/kWh değeri alınmış ve 1\$=2.905TL olarak kabul edilip 0,072\$/kWh, olarak bulunmuştur. Şebekeye satılan elektrik 5 Euro Cent/kWh olarak belirlenmiş ve 05.02.2016 tarihinde 1\$=2.905TL, 1Euro=3.252TL değerleri kullanılarak 0.067+KDV=0,023\$/kWh olarak belirlenmiştir(TCMB, 2015). Ayrıca şebekeden alınan elektrikte fiyat artışı olması durumunda, optimum sistemin nasıl değişeceğini incelemek için elektrik fiyatlarının %10, %25 ve %50 oranında artacağı düşünülecektir.

## **6.9 Ekonomik Parametrelerin Belirlenmesi**

Yıllık reel faiz oranı ve proje ömrü sistem optimizasyonunda kullanılan değerlerdir. Reel faiz oranını hesaplamak için, denklem (5.4) kullanılmıştır. Bu denklemde, yıllık enflasyon oranı (f) %7.55 ve faiz oranı ( $i_0$ ) ise %10.75 olarak belirlenmiştir(TCMB, 2015; TÜİK, 2015a). Bu değerler kullanılarak da reel faiz oranı 0.030 olarak bulunmuştur.



## 7. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde hibrit güç üretim sistemi tasarlanırken kullanılan parametreler ile ilgili varsayımlar ve temel prensipler belirlenmiştir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak tasarlanan hibrit güç üretim sistem seçenekleri detaylı olarak irdelenmiştir.

### 7.1 Hibrit Güç Üretim Sistemleri için İşletme Karakteristikleri

Hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi tasarımı gerçekleştirilirken dikkate alınan varsayımlar ve prensipler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Rüzgar türbini, fotovoltaik paneller ve biyokütle generatörü temelde yük talebini karşılayacaktır.
- Yük karşılandıktan sonra artık kalan güç bataryalarda depolanacaktır.
- Fotovoltaik panellerin çıkış gücü DA olduğundan dolayı AA yük talebini karşılamak için dönüştürücü (converter) kullanılarak DA güç AA güce dönüştürülecektir.
- Eğer fotovoltaik panel, rüzgar türbini ve biyokütle generatörü yükü karşılayamaz ise bu durumda batarya şarj konumundan deşarj konumuna geçerek yükü besleyecektir.
- Yükün saatlik işletme rezervi %10'dur. İşletme rezervinin yenilenebilir çıkışının güneş çıkış gücü %25, rüzgar çıkış gücü %40'dır. HOMER yazılımı güneş ve rüzgar kaynağı için bu değişime izin vermektedir. Diğer bir değişken olan biyokütle generatörü için böyle bir opsiyona izin verilmemektedir. Rüzgar güç kaynağı ve güneş güç kaynağı ve elektrik yükündeki değişkenlikten dolayı güvenli güç sağlamayı mümkün kılması açısından işletme rezervi önemlidir.
- Rüzgar hız değeri, güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı olmak üzere üç değişkenin ikili kombinasyonları ve (rüzgar hız değeri, güneş radyasyonu değeri

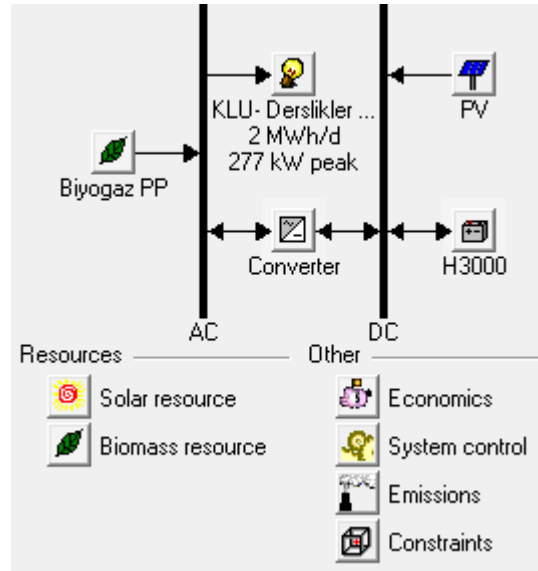
ve biyokütle kaynağı üçlü konfigürasyonu dikkate alınarak hassaslık analizi gerçekleştirilecektir.

- Proje ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir.
- Yıllık faiz oranı %10 olarak alınmıştır.
- Hibrit güç üretim sisteminin yenilenebilir oranı %100'dür. Bu, yerleşkenin enerji ihtiyacının tamamı yenilenebilir enerjiden karşılanacak anlamına gelmektedir.

## 7.2 Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemlerinin Değerlendirilmesi

### 7.2.1 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemi

Şebekeden bağımsız Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya hibrit güç üretim sistemi biyokütle generatörü, güneş paneli, dönüştürücü ve bataryadan oluşan bir sistemdir. Bu hibrit sistem ile Merkezi Derslik-2'nin yük talebinin karşılanması planlanmaktadır. Şekil 7.1'de şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 7.1: Şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi

**Çizelge 7.1:** Güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi

Güneş radyasyonu (kWh/m <sup>2</sup> /gün)	Biyokütle kaynağı (t/gün)	PV (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$)/kWh	Biyokütle kullanımı (ton)	Biy. Gen. (saat)
3.000	15.000	200	150	500	150	2,945,000	335,122	7,228,990	0.775	2,37	4,096
3.000	30.000	200	150	500	150	2,945,000	335,122	7,228,990	0.775	2,37	4,096
3.000	50.000	200	150	500	150	2,945,000	335,122	7,228,990	0.775	2,37	4,096
3.000	70.000	200	150	500	150	2,945,000	335,122	7,228,990	0.775	2,37	4,096
4.000	15.000	200	150	500	150	2,945,000	252,828	6,176,995	0.662	1,841	3,199
<b>4.000</b>	<b>30.000</b>	<b>200</b>	<b>150</b>	<b>500</b>	<b>150</b>	<b>2,945,000</b>	<b>252,828</b>	<b>6,176,995</b>	<b>0.662</b>	<b>1,841</b>	<b>3,199</b>
4.000	50.000	200	150	500	150	2,945,000	252,828	6,176,995	0.662	1,841	3,199
4.000	70.000	200	150	500	150	2,945,000	252,828	6,176,995	0.662	1,841	3,199
5.000	15.000	200	150	1000	150	3,020,000	194,864	5,511,015	0.591	1,454	2,56
5.000	30.000	200	150	1000	150	3,020,000	194,864	5,511,015	0.591	1,454	2,56
5.000	50.000	200	150	1000	150	3,020,000	194,864	5,511,015	0.591	1,454	2,56
5.000	70.000	200	150	1000	150	3,020,000	194,864	5,511,015	0.591	1,454	2,56
7.000	15.000	200	150	500	150	2,945,000	169,099	5,106,647	0.547	1,247	2,286
7.000	30.000	200	150	500	150	2,945,000	169,099	5,106,647	0.547	1,247	2,286
7.000	50.000	200	150	500	150	2,945,000	169,099	\$ 5,106,647	0.547	1,247	2,286
7.000	70.000	200	150	500	150	2,945,000	169,099	\$ 5,106,647	0.547	1,247	2,286

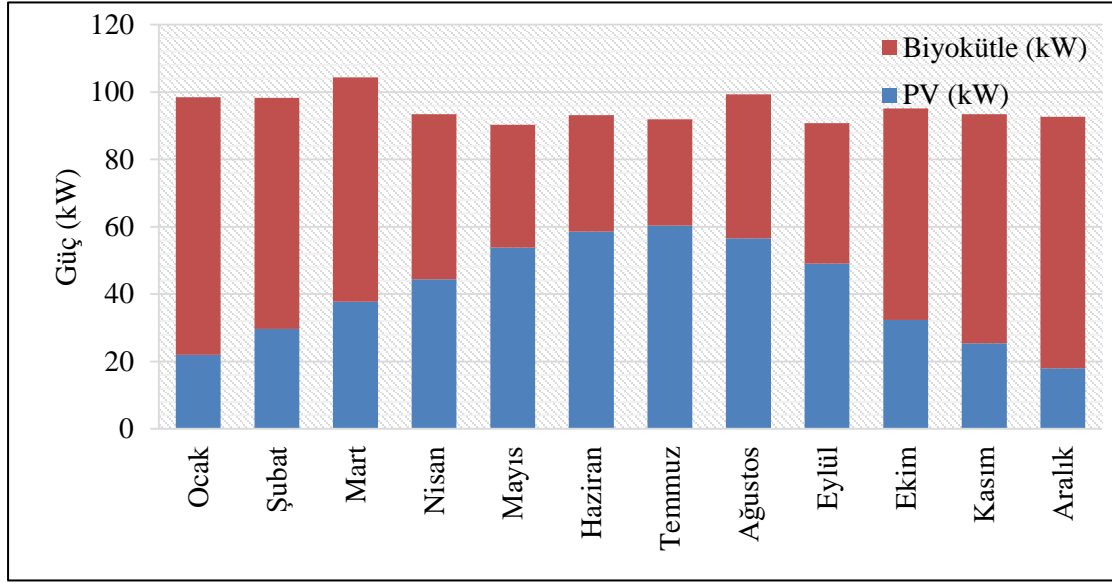
Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum komponent sayısı ve buna karşın oluşan ilk yatırım ve işletme maliyeti, toplam bugünkü net maliyet ve enerjinin birim maliyeti değerleri hesaplanmıştır. Güneş radyasyonu değerinin 3kWh/m<sup>2</sup>/gün ile 7kWh/m<sup>2</sup>/gün arasında ve biyokütle kaynağının ise 15ton/gün ile 70ton/gün değerleri arasında değiştiğinde hibrit güç üretim sistemine ait optimum komponent sayısı ve ilgili maliyetlerin ne şekilde değişim gösterdiği de görülmektedir. Çizelge 7.1’de Merkezi Derslik -2’nin bulunduğu yere ait ortalama güneş radyasyonu değeri 4kWh/m<sup>2</sup>/gün ve biyokütle kaynağı 30ton/gün değerlerinin olduğu durum için hesaplanan değerler irdelendiğinde Derslik -2’nin enerji ihtiyacını karşılayacak hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde her bir komponentin optimum değeri Çizelge 7.2’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 7.2:** Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri

PV (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$/kWh)
200	150	500	150	2,945,000	252,828	6,176,995	0.662
200	150	1000	150	3,020,000	250,357	6,220,409	0.667
200	150	1500	150	3,095,000	250,510	6,297,357	0.675
-	150	1500	150	1,695,000	463,388	7,618,653	0.816

Şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti 2,945,000\$ ve işletme maliyeti ise 252,828\$/yıl’dır. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin yenilenebilir enerji kullanma oranı %100’dür. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0.662 \$/kWh’tir. Bu sistemde 1840 ton biyokütle yakıtı kullanılmıştır. Biyokütle generatörü 3199 saat çalışmıştır. Fotovoltaik panellerden 356,651kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirerek yük talebinin %42.71’ü karşılanmaktadır. Kalan yük talebinin tamamı (%57.22) biyokütle generatöründen 476,199kWh/yıl olarak üretilerek karşılanmaktadır. Hibrit güç üretim sisteminde %0.07’lik bir oranda yükü

karşılıktan sonra bir artık enerji oluşmaktadır. Şekil 7.2’de hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık olarak elde edilen güç üretimi değerleri görülmektedir.



**Şekil 7.2:** Fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi. Fotovoltaik gücün kapasite faktörü %20.4 değerini almıştır. Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin bileşenlerinin nakit akışı Çizelge 7.3.’de görülmektedir.

**Çizelge 7.3:** Fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı

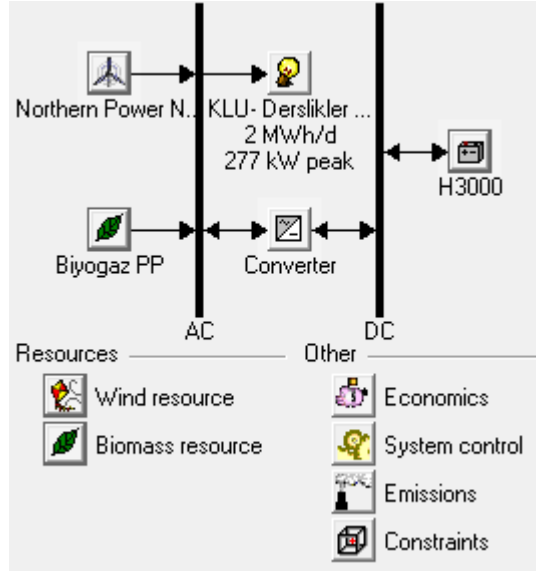
Bileşen	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme/Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
PV	1,400,000	436,527	0	0	-244,649	1,591,878
Biyokütle Gen	1,350,000	450,000	0	0	-210,223	1,590,000
Batarya	75,000	23,976	128	0	-12,628	86,475
Dönüştür.	120,000	46,942	0	0	-8,737	158,205
Sistem	2,945,000	957,445	128	0	-476,238	3,426,558



Basit geri ödeme süresi (simple payback time), HOMER yazılımı tarafından iki sistemin karşılaştırılması ile bu iki sistemin ilk yatırım maliyetleri arasındaki farkın, işletme maliyetleri arasındaki farka bölünmesiyle elde ediliyor. Burada basit geri ödeme süresi, sadece şebekeden oluşan sistem ile optimum sistem olarak belirlenen şebeke ve rüzgar türbininden oluşan sistemlerin karşılaştırılması ile bulunmuştur. Bu sistem için basit geri ödeme süresi ise 4.04 yıl olarak bulunmuştur.

### 7.2.2 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi

Şebekeden bağımsız rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi biyokütle generatörü, rüzgar türbini, dönüştürücü ve bataryadan oluşan bir sistemdir. Bu hibrit sistem ile Merkezi Derslik-2'nin yük talebinin karşılanması planlanmaktadır. Şekil 7.3'de şebekeden bağımsız rüzgar/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi görülmektedir.



**Şekil 7.3:** Şebekeden bağımsız Rüzgar/Biyokütle/Batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi

**Çizelge 7.4:** Rüzgar hızı ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi

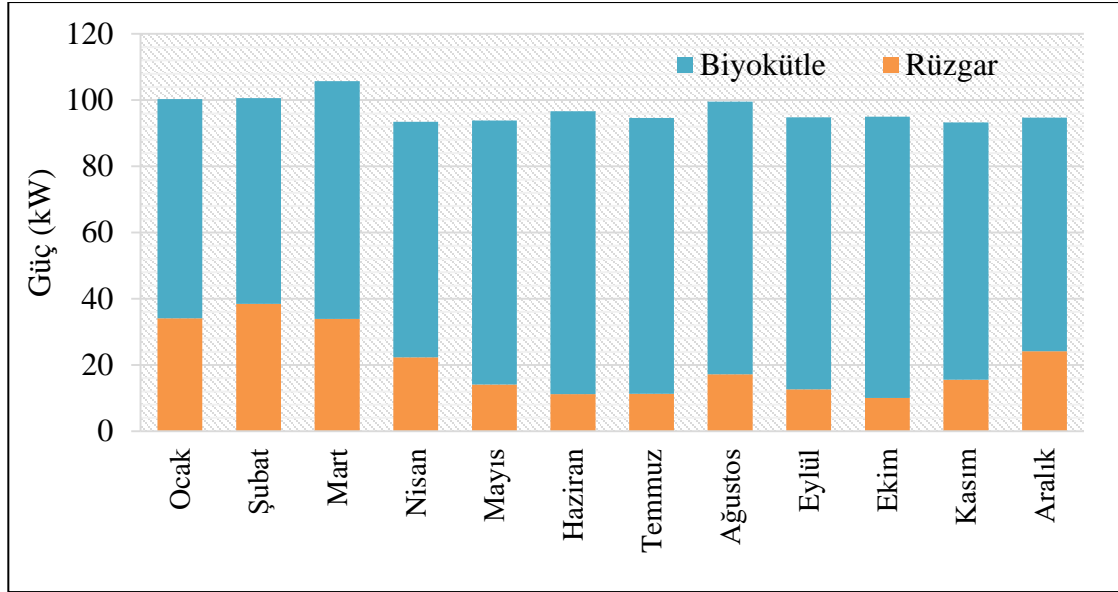
Rüzgar hızı (m/s)	Biyokütle kaynağı (t/gün)	RT (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$)/kWh	Biyokütle kullanımı (ton)	Biyo. Gen. (saat)
3.000	15.000	300	150	500	150	2,265,000	377,919	7,096,075	0.760	2,593	4,507
3.000	30.000	300	150	500	150	2,265,000	377,919	7,096,075	0.760	2,593	4,507
3.000	50.000	300	150	500	150	2,265,000	377,919	7,096,075	0.760	2,593	4,507
3.000	70.000	300	150	500	150	2,265,000	377,919	7,096,075	0.760	2,593	4,507
4.000	15.000	300	150	1000	150	2,340,000	250,027	5,536,188	0.593	1,763	3,115
4.000	30.000	300	150	1000	150	2,340,000	250,027	5,536,188	0.593	1,763	3,115
4.000	50.000	300	150	1000	150	2,340,000	250,027	5,536,188	0.593	1,763	3,115
4.000	70.000	300	150	1000	150	2,340,000	250,027	5,536,188	0.593	1,763	3,115
5.000	15.000	300	150	1500	150	2,415,000	123,249	3,990,541	0.428	959	1,719
5.000	30.000	300	150	1500	150	2,415,000	123,249	3,990,541	0.428	959	1,719
5.000	50.000	300	150	1500	150	2,415,000	123,249	3,990,541	0.428	959	1,719
5.000	70.000	300	150	1500	150	2,415,000	123,249	3,990,541	0.428	959	1,719
7.000	15.000	300	150	1000	150	2,340,000	22,978	2,633,735	0.282	319	574
7.000	30.000	300	150	1000	150	2,340,000	22,978	2,633,735	0.282	319	574
7.000	50.000	300	150	1000	150	2,340,000	22,978	2,633,735	0.282	319	574
7.000	70.000	300	150	1000	150	2,340,000	22,978	2,633,735	0.282	319	574

Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan optimum komponent sayısı ve buna karşın oluşan ilk yatırım ve işletme maliyeti, toplam bugünkü net maliyet ve enerjinin birim maliyeti değerleri hesaplanmıştır. Rüzgar hızının 3m/s ile 7m/s arasında ve biyokütle kaynağının ise 15ton/gün ile 70ton/gün değerleri arasında değiştiğinde hibrit yenilenebilir güç üretim sistemine ait optimum komponent sayısı ve ilgili maliyetlerin ne şekilde değişim gösterdiği de görülmektedir. Çizelge 7.4’de Merkezi Derslik -2’nin bulunduğu yere ait ortalama rüzgar hızının 3m/s ve biyokütle kaynağı 30ton/gün değerlerinin olduğu durum için hesaplanan değerler irdelendiğinde Derslik-2’nin enerji ihtiyacını karşılayacak rüzgar/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminde her bir komponentin optimum değeri Çizelge 7.5’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 7.5:** Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri

RT (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$)/kWh
300	150	500	150	2,265,000	377,919	7,096,075	0.760
-	150	1500	150	1,695,000	463,388	7,618,653	0.816

Şebekeden bağımsız rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti 2,265,000\$ ve işletme maliyeti ise 377,919\$/yıl’dır. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin yenilenebilir enerji kullanma oranı %100’dür. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0.760 \$/kWh’tir. Bu sistemde 2593 ton biyokütle yakıtı kullanılmıştır. Biyokütle generatörü 4507 saat çalışmıştır. Rüzgar türbininden (RT) 178,070kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirilerek yük talebinin %21’i karşılanmaktadır. Kalan yük talebinin tamamı (%79) biyokütle generatöründen 670,514kWh/yıl olarak üretilerek karşılanmaktadır. Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden toplamda 848,584kWh enerji üretilmektedir. 730,002kWh’lık yük talebinin tamamı karşılanmakta ve 2,851kWh’lık bir fazla enerji elde edilmekte olup bu oran %0.033’dür. Şekil 7.4’de hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık olarak elde edilen güç üretimi değerleri görülmektedir.



**Şekil 7.4:** Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi

Rüzgar türbininin kapasite faktörü %6.78 olarak hesaplanmıştır. Optimum sistem bileşenlerinin nakit akışı ise Çizelge 7.6’da görülmektedir.

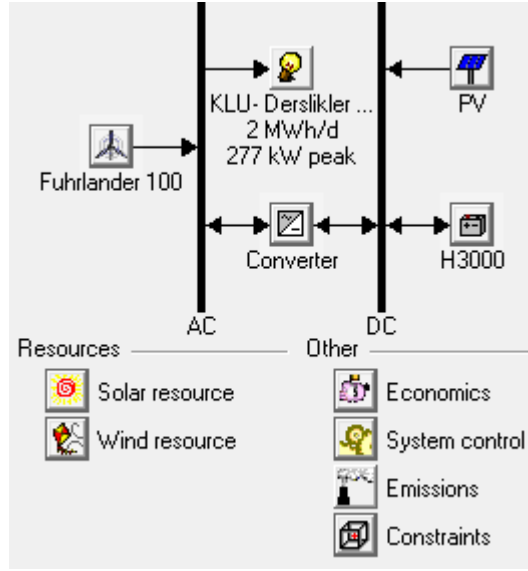
**Çizelge 7.6:** Rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı

Bileşen	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme/Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
Rüzgar Türbini	720	300,431	3,835	0	-55,92	968,346
Biyokütle Gen	1,350,000	450	0	0	-153,6	1,646,396
Batarya	75	24,861	128	0	-11,9	88,093
Dönüştürücü	120	46,942	0	0	-8,737	158,205
Sistem	2,265,000	822,235	3,963	0	-230,2	2,861,040

HOMER yazılımı tarafından rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir sistemi karşılaştırıldığında basit geri ödeme süresi 2.28 yıl olarak bulunmuştur.

### 7.2.3 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Fotovoltaik/Batarya Hibrit Yenilenebilir Güç Üretim Sistemi

Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi fotovoltaik panel, rüzgar türbini, dönüştürücü ve bataryadan oluşan bir sistemdir. Bu hibrit yenilenebilir sistem ile Merkezi Derslik-2'nin yük talebinin karşılanması planlanmaktadır. Şekil 7.5'te şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit güç üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 7.5: Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi

**Çizelge 7.7:** Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu değeri arasındaki değişimin parametrik analizi

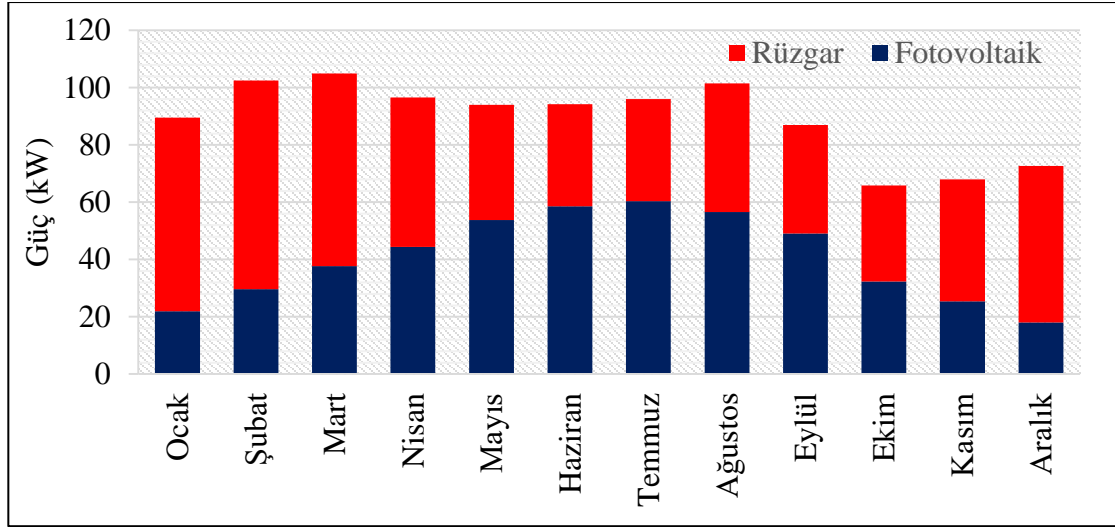
Güneş radyasyonu (kWh/m <sup>2</sup> /gün)	Rüzgar hızı (m/s)	PV (kW)	RT (kW)	Batarya	Dönüş. (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$/kWh)
4.000	3.000	200	500	2000	300	3,140,000	56,623	3,863,826	0.414
4.000	4.000		500	2000	300	1,740,000	41,613	2,271,948	0.243
4.000	5.000		500	1000	300	1,590,000	39,984	2,101,134	0.225
4.000	7.000		200	1500	300	945,000	21,371	1,218,195	0.131
4.000	3.000	200	500	2000	300	3,140,000	56,623	3,863,826	0.414
4.000	4.000		500	2000	300	1,740,000	41,613	2,271,948	0.243
4.000	5.000		500	1000	300	1,590,000	39,984	2,101,134	0.225
4.000	7.000		200	1500	300	945,000	21,371	1,218,195	0.131
5.000	3.000	200	500	1500	300	3,065,000	55,808	3,778,419	0.405
5.000	4.000		500	2000	300	1,740,000	41,613	2,271,948	0.243
5.000	5.000		500	1000	300	1,590,000	39,984	2,101,134	0.225
5.000	7.000		200	1500	300	945,000	21,371	1,218,195	0.131
7.000	3.000	200	500	1000	300	2,990,000	54,994	3,693,012	0.396
7.000	4.000		500	2000	300	1,740,000	41,613	2,271,948	0.243
7.000	5.000	100	200	2000	300	1,720,000	29,690	2,099,541	0.225
7.000	7.000		200	1500	300	945,000	21,371	1,218,195	0.131

Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan optimum komponent sayısı ve buna karşın oluşan ilk yatırım ve işletme maliyeti, toplam bugünkü net maliyet ve enerjinin birim maliyeti değerleri hesaplanmıştır. Rüzgar hızının 3m/s ile 7m/s arasında ve güneş ışınım değerinin ise 4 kWh/m<sup>2</sup>/gün ile 7kWh/m<sup>2</sup>/gün değerleri arasında değiştiğinde rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemine ait optimum komponent sayısı ve ilgili maliyetlerin ne şekilde değişim gösterdiği de görülmektedir. Çizelge 7.7’de Merkezi Derslik -2’nin bulunduğu yere ait ortalama rüzgar hızının 3m/s ve ortalama güneş radyasyonu değeri 4 kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durum için hesaplanan değerler irdelendiğinde Derslik -2’nin enerji ihtiyacını karşılayacak rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde her bir komponentin optimum değeri Çizelge 7.8’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 7.8:** Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri

RT (kW)	PV (kW)	Batarya	Dönüştürücü (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$/kWh)
300	200	2000	300	2,660,000	43,671	3,218,262	0.365

Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti 2,660,000\$ ve işletme maliyeti ise 43,671\$/yıl’dır. Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin yenilenebilir enerji kullanma oranı %100’dür. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0.365 \$/kWh’tir. Rüzgar türbininden (RT) 356,651kWh/yıl enerji üretimi gerçekleşerek yük talebinin %46’sı karşılanmaktadır. Kalan yük talebinin tamamı PV’den 425,578kWh/yıl üretilerek karşılanmaktadır. Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden toplamda 782,230kWh enerji üretilmektedir. Şekil 7.6’da rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık olarak elde edilen güç üretimi değerleri görülmektedir.



**Şekil 7.6:** Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile aylık ortalama elektrik üretimi

Rüzgar türbininin kapasite faktörü %6.78 olarak hesaplanmıştır. Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi bileşenlerinin nakit akışı Çizelge 7.9’da görülmektedir.

**Çizelge 7.9:** Rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı

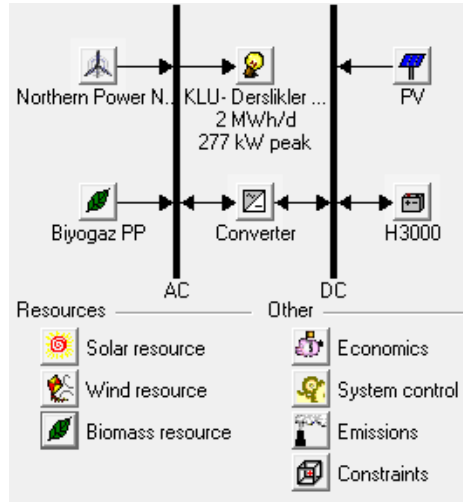
Bileşen	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme/ Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
PV	1,400,000	436,527	0	0	-244,649	1,591,878
Rüzgar türbini	720,000	300,431	3,835	0	-55,920	968,346
Batarya	300,000	93,542	511	0	-52,425	341,628
Dönüştürücü	240,000	93,885	0	0	-17,475	316,410
Sistem	2,660,000	924,384	4,346	0	-370,468	3,218,262

HOMER yazılımı tarafından rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi tek sistem seçeneği olduğu için karşılaştırma yapılmamıştır.



## 7.2.4 Şebekeden Bağımsız Rüzgar/Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi

Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi fotovoltaik panel, biyokütle generatörü, rüzgar türbini, dönüştürücü ve bataryadan oluşan bir sistemdir. Bu hibrit sistem ile Merkezi Derslik-2'nin yük talebinin karşılanması planlanmaktadır. Şekil 7.7'de şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 7.7: Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi

**Çizelge 7.10:** Rüzgar hızı, güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi

Güneş radyasyonu (kWh/m <sup>2</sup> /gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Biyokütle kaynağı (t/gün)	PV (kW)	RT (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştür. (kW)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$)/kWh	Biyokütle kullanımı (ton)	Biyo. Gen. (saat)
3.000	3.000	15.000	200	200	150	300	150	7,173,077	0.769	2,032	3,518
3.000	3.000	30.000	200	200	150	300	150	7,173,077	0.769	2,032	3,518
3.000	3.000	50.000	200	200	150	300	150	7,173,077	0.769	2,032	3,518
3.000	3.000	70.000	200	200	150	300	150	7,173,077	0.769	2,032	3,518
3.000	4.000	15.000	200	300	150	400	150	5,991,686	0.642	1,263	2,224
3.000	4.000	30.000	200	300	150	400	150	5,991,686	0.642	1,263	2,224
3.000	4.000	50.000	200	300	150	400	150	5,991,686	0.642	1,263	2,224
3.000	4.000	70.000	200	300	150	400	150	5,991,686	0.642	1,263	2,224
3.000	5.000	15.000	-	300	150	400	150	4,841,648	0.519	1,455	2,598
3.000	5.000	30.000	-	300	150	400	150	4,841,648	0.519	1,455	2,598
3.000	5.000	50.000	-	300	150	400	150	4,841,648	0.519	1,455	2,598
3.000	5.000	70.000	-	300	150	400	150	4,841,648	0.519	1,455	2,598
3.000	7.000	15.000	200	300	-	200	150	2,766,197	0.315	-	-
3.000	7.000	30.000	200	300	-	200	150	2,766,197	0.315	-	-
3.000	7.000	50.000	200	300	-	200	150	2,766,197	0.315	-	-
3.000	7.000	70.000	200	300	-	200	150	2,766,197	0.315	-	-
4.000	3.000	15.000	200	200	150	400	150	6,204,882	0.665	1,527	2,679
4.000	3.000	30.000	200	200	150	400	150	6,204,882	0.665	1,527	2,679
4.000	3.000	50.000	200	200	150	400	150	6,204,882	0.665	1,527	2,679

4.000	3.000	70.000	200	200	150	400	150	6,204,882	0.665	1,527	2,679
4.000	4.000	15.000	200	300	150	400	150	5,353,896	0.574	916	1,676
4.000	4.000	30.000	200	300	150	400	150	5,353,896	0.574	916	1,676
4.000	4.000	50.000	200	300	150	400	150	5,353,896	0.574	916	1,676
4.000	4.000	70.000	200	300	150	400	150	5,353,896	0.574	916	1,676
4.000	5.000	15.000	200	300	150	400	150	4,727,700	0.507	593	1,135
4.000	5.000	30.000	200	300	150	400	150	4,727,700	0.507	593	1,135
4.000	5.000	50.000	200	300	150	400	150	4,727,700	0.507	593	1,135
4.000	5.000	70.000	200	300	150	400	150	4,727,700	0.507	593	1,135
4.000	7.000	15.000	200	200	-	300	150	2,454,006	0.276	-	-
4.000	7.000	30.000	200	200	-	300	150	2,454,006	0.276	-	-
4.000	7.000	50.000	200	200	-	300	150	2,454,006	0.276	-	-
4.000	7.000	70.000	200	200	-	300	150	2,454,006	0.276	-	-
5.000	3.000	15.000	200	-	150	400	150	5,571,879	0.597	1,502	2,687
5.000	3.000	30.000	200	-	150	400	150	5,571,879	0.597	1,502	2,687
5.000	3.000	50.000	200	-	150	400	150	5,571,879	0.597	1,502	2,687
5.000	3.000	70.000	200	-	150	400	150	5,571,879	0.597	1,502	2,687
5.000	4.000	15.000	200	200	150	400	150	5,028,679	0.539	887	1,673
5.000	4.000	30.000	200	200	150	400	150	5,028,679	0.539	887	1,673
5.000	4.000	50.000	200	200	150	400	150	5,028,679	0.539	887	1,673
5.000	4.000	70.000	200	200	150	400	150	5,028,679	0.539	887	1,673
5.000	5.000	15.000	200	300	-	400	150	2,791,155	0.318	-	-
5.000	5.000	30.000	200	300	-	400	150	2,791,155	0.318	-	-

5.000	5.000	50.000	200	300	-	400	150	2,791,155	0.318	-	-
5.000	5.000	70.000	200	300	-	400	150	2,791,155	0.318	-	-
5.000	7.000	15.000	200	200	-	200	150	2,441,703	0.275	-	-
5.000	7.000	30.000	200	200	-	200	150	2,441,703	0.275	-	-
5.000	7.000	50.000	200	200	-	200	150	2,441,703	0.275	-	-
5.000	7.000	70.000	200	200	-	200	150	2,441,703	0.275	-	-
7.000	3.000	15.000	200	-	150	400	150	5,146,830	0.552	1,262	2,33
7.000	3.000	30.000	200	-	150	400	150	5,146,830	0.552	1,262	2,33
7.000	3.000	50.000	200	-	150	400	150	5,146,830	0.552	1,262	2,33
7.000	3.000	70.000	200	-	150	400	150	5,146,830	0.552	1,262	2,33
7.000	4.000	15.000	200	200	150	400	150	4,743,182	0.508	711	1,42
7.000	4.000	30.000	200	200	150	400	150	4,743,182	0.508	711	1,42
7.000	4.000	50.000	200	200	150	400	150	4,743,182	0.508	711	1,42
7.000	4.000	70.000	200	200	150	400	150	4,743,182	0.508	711	1,42
7.000	5.000	15.000	200	200	-	400	150	2,469,116	0.283	-	-
7.000	5.000	30.000	200	200	-	400	150	2,469,116	0.283	-	-
7.000	5.000	50.000	200	200	-	400	150	2,469,116	0.283	-	-
7.000	5.000	70.000	200	200	-	400	150	2,469,116	0.283	-	-
7.000	7.000	15.000	200	200	-	200	150	2,440,259	0.271	-	-
7.000	7.000	30.000	200	200	-	200	150	2,440,259	0.271	-	-
7.000	7.000	50.000	200	200	-	200	150	2,440,259	0.271	-	-
7.000	7.000	70.000	200	200	-	200	150	2,440,259	0.271	-	-
7.000	5.000	70.000	200	200	-	400	150	2,469,116	0.283	-	-

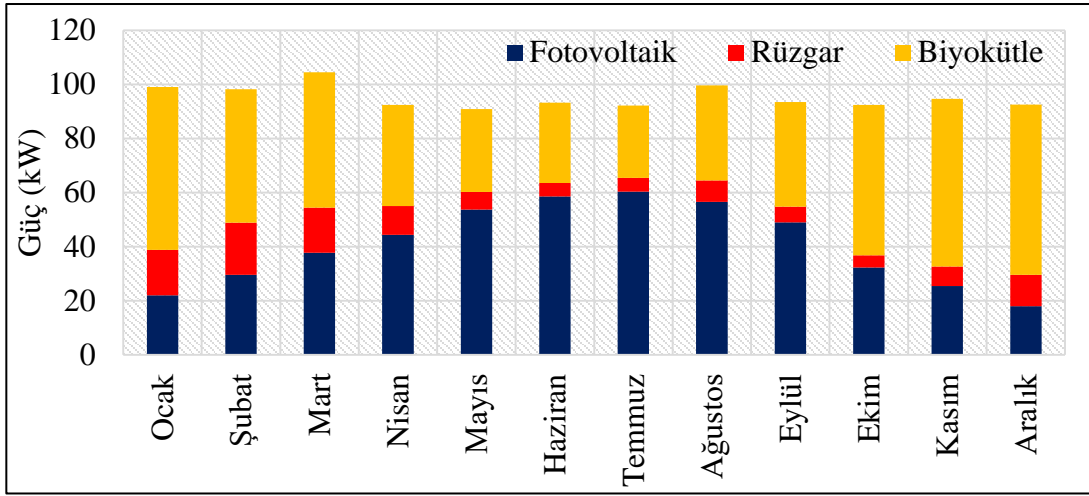
Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan optimum komponent sayısı ve buna karşın oluşan ilk yatırım ve işletme maliyeti, toplam bugünkü net maliyet ve enerjinin birim maliyeti değerleri hesaplanmıştır. Rüzgar hızının 3m/s ile 7m/s arasında, biyokütle yakıtı 15t/gün ile 70t/gün ve güneş ışınım değerinin ise 4 kWh/m<sup>2</sup>/gün ile 7kWh/m<sup>2</sup>/gün değerleri arasında değiştiğinde rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemine ait optimum komponent sayısı ve ilgili maliyetlerin ne şekilde değişim gösterdiği de görülmektedir. Çizelge 7.10’da Merkezi Derslik -2’nin bulunduğu yere ait ortalama rüzgar hızının 3m/s, ortalama güneş radyasyonu değeri 4 kWh/m<sup>2</sup>/gün ve biyokütle yakıtı değerinin 30t/gün olduğu durum için hesaplanan değerler irdelendiğinde Derslik -2’nin enerji ihtiyacını karşılayacak rüzgar/ fotovoltaik/biyokütle/ batarya hibrit güç üretim sisteminde her bir komponentin optimum değeri Çizelge 7.11’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 7.11:** Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri

RT (kW)	PV (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüşür (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$/kWh)
200	200	150	400	150	3,410,000	218,634	6,204,882	0.665
200	-	150	400	150	2,930,000	256,258	6,205,843	0.665
-	-	150	200	150	1,500,000	457,365	7,346,662	0.793
-	200	150	200	150	1,980,000	419,92	7,347,983	0.791
-	-	150	-	150	1,470,000	750,582	11,064,953	1.238
-	200	150	-	150	1,950,000	758,823	11,650,309	1.290
200	-	150	-	150	2,870,000	690,455	11,696,331	1.273
200	200	150	-	150	3,350,000	691,54	12,190,206	1.321

Şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti 6,204,882\$ ve işletme maliyeti ise 218,634\$/yıl’dır.

Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin yenilenebilir enerji kullanma oranı %100'dür. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0.665 \$/kWh'tir. Rüzgar türbininden 84,970kWh/yıl enerji üretimi gerçekleşerek yük talebinin %10'u karşılanmaktadır. Biyokütle generatörü tarafından 393,444kWh/yıl enerji üretimi gerçekleşerek yük talebinin %44'ü karşılanmaktadır. Kalan kısım olan 356,651kWh/yıl PV'den üretilerek karşılanmaktadır. Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminden toplamda 835,065kWh enerji üretilmektedir. Hibrit sistemde 6,299kWh/yıl olarak %0.754 lük artık enerji ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.8'de rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminden aylık olarak elde edilen güç üretimi değerleri görülmektedir.



**Şekil 7.8:** Rüzgar/fotovoltaik/ biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminden aylık ortalama elektrik üretimi

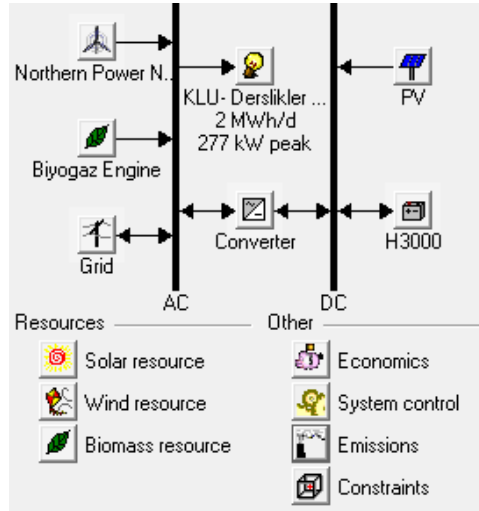
Biyokütle generatörü 2679 saat işletilmiştir. Kapasite faktörü ise %29.9'dur. Rüzgar türbininin kapasite faktörü %4.85 olarak hesaplanmıştır. Toplamda 4510 saat işletilmiştir. Rüzgar penetrasyonu %11.6 olarak belirlenmiştir. Son olarak fotovoltaik sistemin kapasite faktörü %20.4'dür. 4389 saat işletilmiştir. Fotovoltaik sistem penetrasyonu ise %48.9 olarak hesaplanmıştır. Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı Çizelge 7.12'de görülmektedir.

**Çizelge 7.12:** Rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı

Bileşen	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme/ Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
PV	1,400,000	436,527	0	0	-244,649	1,591,878
Rüzgar türbini	480,000	200,287	2,557	0	-37,280	645,564
Biyokütle Gen	1,350,000	450,000	0	0	-168,283	1,631,717
Batarya	60,000	20,000	511	0	-52,425	27,575
Dönüştürücü	240,000	23,292	102	0	-6,438	76,956
Sistem	3,410,000	1,130,106	2654	0	-465,388	3,973,690

### 7.2.5 Şebekeye Bağlı Rüzgar/Fotovoltaik/Biyokütle/Batarya Hibrit Güç Üretim Sistemi

Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi fotovoltaik panel, biyokütle generatörü, rüzgar türbini, dönüştürücü, şebeke ve bataryadan oluşan bir sistemdir. Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2'nin yük talebinin karşılanması planlanmaktadır. Şekil 7.9'da şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi görülmektedir.



**Şekil 7.9:** Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi

**Çizelge 7.13:** Rüzgar hızı, güneş radyasyonu değeri ve biyokütle kaynağı arasındaki değişimin parametrik analizi

Güneş radyasyonu (kWh/m <sup>2</sup> /gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Biyokütle kaynağı (t/gün)	PV (kW)	RT (kW)	BG (kW)	Dönüş. (kW)	Şebeke (kW)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$)/kWh	Yenilenebilir kullanım oranı
3.000	3.000	15.000	-	-	150	150	250	337,500	0.165	0.69
3.000	3.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	3.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	3.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	4.000	15.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	4.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	4.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	4.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	5.000	15.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	5.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	5.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	5.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
3.000	7.000	15.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
3.000	7.000	30.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
3.000	7.000	50.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
3.000	7.000	70.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
4.000	3.000	15.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	3.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	3.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	3.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	4.000	15.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69



4.000	4.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	4.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	4.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	5.000	15.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	5.000	30.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	5.000	50.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	5.000	70.000	-	-	150	150	250	\$ 337,500	0.165	0.69
4.000	7.000	15.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
4.000	7.000	30.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
4.000	7.000	50.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
4.000	7.000	70.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
5.000	3.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	3.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	3.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	3.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	4.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	4.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	4.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	4.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	5.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	5.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	5.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	5.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.162	0.78
5.000	7.000	15.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
5.000	7.000	30.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
5.000	7.000	50.000	-	200	-	150	250	\$ 892,500	0.151	0.67
5.000	7.000	70.000	-	200		150	250	\$ 892,500	0.151	0.67

7.000	3.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	3.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	3.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	3.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	4.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	4.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	4.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	4.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	5.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	5.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	5.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	5.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	7.000	15.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	7.000	30.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	7.000	50.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79
7.000	7.000	70.000	200	-	150	150	250	\$ 937,500	0.150	0.79

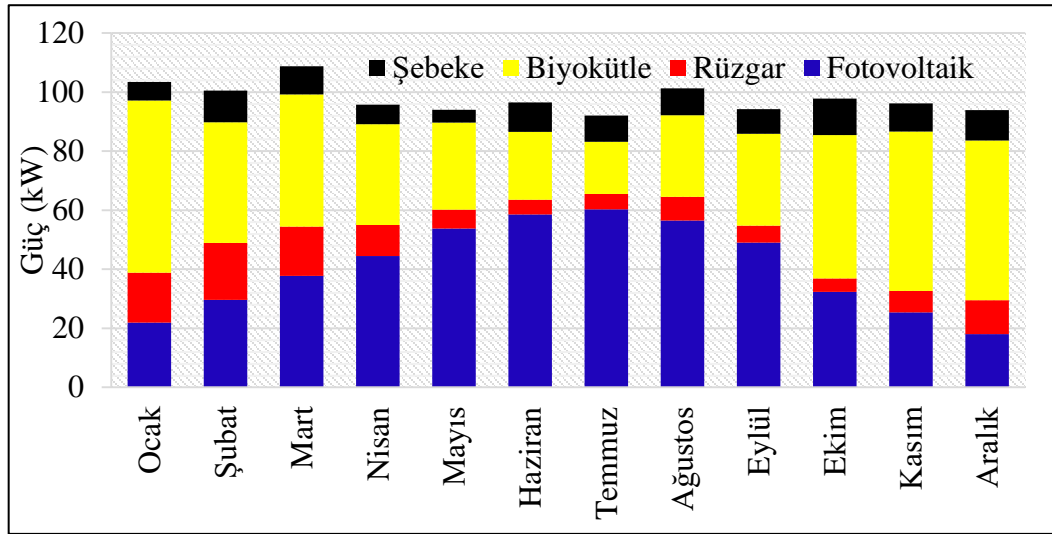
Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan optimum komponent sayısı ve buna karşın oluşan ilk yatırım ve işletme maliyeti, toplam bugünkü net maliyet ve enerjinin birim maliyeti değerleri hesaplanmıştır. Rüzgar hızının 3m/s ile 7m/s arasında, biyokütle yakıtı 15t/gün ile 70t/gün ve güneş radyasyon değerinin ise 4 kWh/m<sup>2</sup>/gün ile 7kWh/m<sup>2</sup>/gün değerleri arasında değiştiğinde şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemine ait optimum komponent sayısı ve ilgili maliyetlerin ne şekilde değişim gösterdiği de görölmektedir. Çizelge 7.13'de Merkezi Derslik -2'nin bulunduğu yere ait ortalama rüzgar hızının 3m/s, ortalama güneş radyasyonu değeri 4kWh/m<sup>2</sup>/gün ve biyokütle kaynağının 30t/gün olduğu durum için hesaplanan değerler irdelendiğinde Derslik -2'nin enerji ihtiyacını karşılayacak rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sisteminde her bir komponentin optimum değeri Çizelge 7.14'de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 7.14:** Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminde kullanılan komponentlerinin optimum değerleri

PV (kW)	RT (kW)	BG (kW)	Batarya	Dönüştür (kW)	Şebeke (kW)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Toplam Bugünkü Net Maliyet (\$)	Enerji Birim Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir kullanım oranı
-	-	150	-	150	250	337,500	93,822	1,536,855	0.165	0.69
200	-	150	-	150	250	937,500	58,374	1,683,714	0.180	0.74
200	-	-	-	150	250	712,500	92,374	1,893,344	0.203	0.43
-	-	150	500	150	250	447,500	113,46	1,897,926	0.203	0.80
200	-	150	500	150	250	1,047,500	70,791	1,952,445	0.209	0.89
200	-	-	500	150	250	822,500	93,719	2,020,542	0.217	0.43
-	200	150	-	150	250	1,117,500	103,28	2,437,847	0.261	0.70
200	200	150	-	150	250	1,717,500	66,17	2,563,371	0.275	0.77
200	200	-	-	150	250	1,492,500	96,303	2,723,570	0.292	0.52
-	200	150	500	150	250	1,227,500	123,56	2,807,038	0.301	0.84
200	200	150	500	150	250	1,827,500	78,745	2,834,120	0.304	0.91
200	200	-	500	150	250	1,602,500	97,654	2,850,843	0.305	0.52

Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti 1,827,500\$ ve işletme maliyeti ise 78,745\$/yıl'dır. Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin yenilenebilir enerji kullanma oranı %91'dir. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0.304 \$/kWh'tir. Rüzgar türbininden 84,970kWh/yıl enerji üretimi gerçekleşerek yük talebinin %10'u karşılanmaktadır. Biyokütle generatörü tarafından 338,400kWh/yıl enerji üretimi gerçekleşerek yük talebinin %39'u karşılanmaktadır.

356,651kWh/yıl PV'den üretilerek yük talebinin %42'si karşılanmaktadır. Kalan %9'luk yük talebi şebekeden karşılanmıştır. Şekil 7.10'da şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık olarak elde edilen güç üretimi değerleri görülmektedir.



**Şekil 7.10:** Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminden aylık ortalama elektrik üretimi

Biyokütle generatörü 2256 saat işletilmiştir. Kapasite faktörü ise %25.8'dur. Rüzgar türbininin kapasite faktörü %4.85 olarak hesaplanmıştır. Toplamda 4510 saat işletilmiştir. Rüzgar penetrasyonu %11.6 olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemin kapasite faktörü %20.4'dür. 4389 saat işletilmiştir. Fotovoltaik sistem penetrasyonu ise %48.9 olarak hesaplanmıştır. Şebeke ile ilgili bilgi vermek gerekirse, aylık olarak satın alınan, şebekeye satılan ve aylık olarak net enerji durumu Çizelge 7.15'de verilmiştir. Çizelge 7.15 irdelendiğinde en fazla enerjinin Ekim ayında 9,191kWh şebekeden enerji

satın alındığı gözlemlenirken en düşük değeri 656kWh olarak Temmuz ayında gerçekleşmektedir.

**Çizelge 7.15:** Şebekenin aylık olarak satın alınan ve satılan enerji durumu

Aylar	Satın alınan enerji (kWh)	Satılan enerji (kWh)	Net enerji (kWh)
Ocak	4,716	1,956	2,76
Şubat	7,271	124	7,147
Mart	7,143	131	7,012
Nisan	4,738	182	4,556
Mayıs	3,226	230	2,996
Haziran	7,188	0	7,188
Temmuz	656	300	6,259
Ağustos	6,776	76	6,7
Eylül	6,022	38	5,984
Ekim	9,191	4	9,187
Kasım	6,898	380	6,519
Aralık	7,693	146	7,547

Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı Çizelge 7.16'da görülmektedir.

**Çizelge 7.16:** Şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi için optimum sistem bileşenlerinde nakit akışı

Bileşen	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme/Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
PV	600,000	140,312	25,567	0	-78,637	687,211
Rüzgar türbini	780,000	325,467	2,557	0	-60,580	1,047,444
Biyokütle Gen	225,000	75,000	0	0	-12,582	287,418
Şebeke	0	0	188,823	0	0	188,823
Batarya	110,000	40,502	128	0	-13,891	136,739
Dönüştürücü	112,500	43,813	0	0	-8,155	148,158
Sistem	1,827,500	625,094	303,593	0	-173,845	2,495,793

## 8. SONUÇLAR

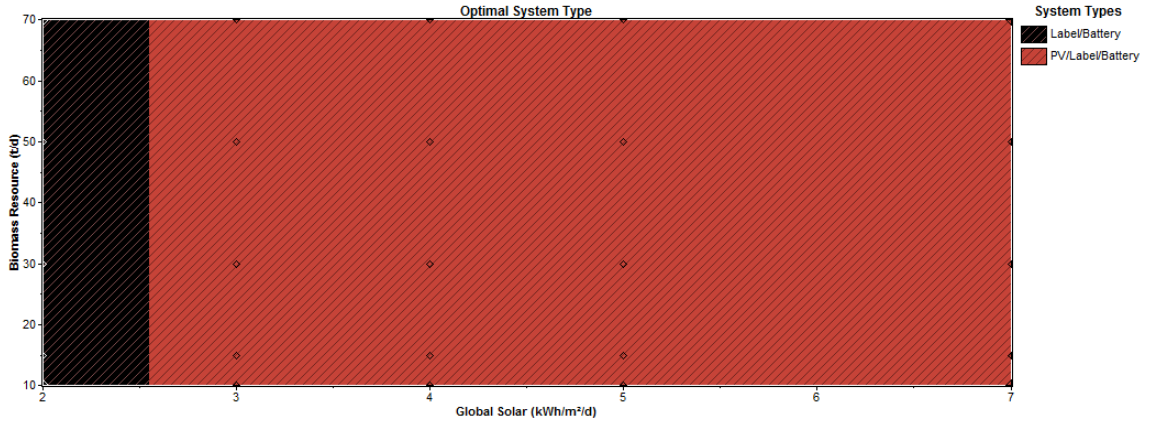
Bu çalışmada Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinde bulunan Merkezi Derslik-2'nin elektrik yükü ihtiyacının minimum %90'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilecek yenilenebilir bir güç üretim sistemi tasarlanmıştır. Bu amaçla, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan çeşitli hibrit sistemler arasından optimum hibrit sistem konfigürasyonunun elde edilmesi için, HOMER yazılımı ile modellemeler yapılmıştır. Burada optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak tasarlanan hibrit yenilenebilir güç üretim sistemleri arasından enerji birim maliyetinin ve toplam bugünkü net maliyetin en düşük olduğu sistemler arasından belirlenmiştir. Oluşturulan hibrit güç üretim sistemlerine ait HOMER ile yapılan optimizasyon sonuçlarına göre elde olunan sonuçlar aşağıda birarada değerlendirilmiştir.

Güneş-Biyokütle ve şebekeden bağımsız;

Güneş radyasyonu değerinin  $4\text{kWh/m}^2/\text{gün}$  ve biyokütle kaynağının  $30\text{t/gün}$  olması durumunda şebekeden bağımsız fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2'nin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonu  $200\text{kW}$ 'lık PV panel,  $150\text{kW}$ 'lık biyokütle generatörü, Hoppecke 24 OpzS 3000 model 500 adet batarya ve  $150\text{kW}$ 'lık dönüştürücüden oluşmaktadır.

Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam bugünkü net maliyeti sırasıyla  $2,945,000\text{\$}$ ,  $252,828\text{\$/yıl}$  ve  $6,176,995\text{\$}$ 'dir. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin birim enerji maliyeti  $0.662\text{\$/kWh}$  olarak hesaplanmıştır. Hibrit sistemin biyokütle kaynağı ve güneş radyasyonu değerinin değişimini gösteren hassaslık analizi grafiği Şekil 8.1.'de görülmektedir.





**Şekil 8.1:** Biyokütle kaynağı ve güneş radyasyonu değerinin değişimini gösteren hassaslık analizi

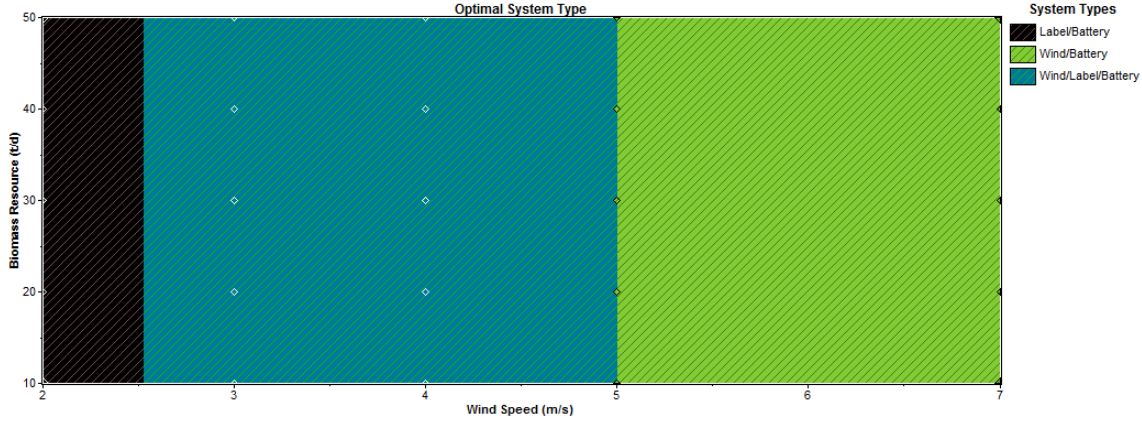
Şekil 8.1 irdelendiğinde, güneş radyasyonu  $2.5 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$  değerine kadar optimum hibrit sisteminin biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi olduğu görülmektedir. Bu durum güneş radyasyonu değerinin düşük olması dolayısıyla yeteri kadar PV panellerden enerji üretilmemesinden kaynaklanmaktadır. Güneş radyasyonu değerinin artması ile optimum hibrit sistemin fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi olduğu Şekil 8.1’de görülmektedir.

Rüzgar-Biyokütle ve şebekeden bağımsız;

Ortalama rüzgar hızının  $3 \text{ m/s}$  ve biyokütle kaynağının  $30 \text{ t/gün}$  olduğu durumda şebekeden bağımsız rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2’nin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonu 3 adet  $100 \text{ kW}$  Northern Power NW100 model rüzgar türbini,  $150 \text{ kW}$ ’lık biyokütle generatörü, Hoppecke 24 OpzS 3000 model 500 adet batarya ve  $150 \text{ kW}$ ’lık dönüştürücüden oluşmaktadır.

Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım, işletme toplam bugünkü net maliyeti sırasıyla  $2,265,000 \$$ ,  $377,919 \$/\text{yıl}$  ve  $7,096,075 \$$ ’dır. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin birim enerji maliyeti  $0.760 \$/\text{kWh}$  olarak hesaplanmıştır.

Toplamda 2,593ton biyokütle kaynağı kullanılmıştır. Hibrit yenilenebilir güç sisteminin biyokütle kaynağı ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi grafiği Şekil 8.2.'de görülmektedir.



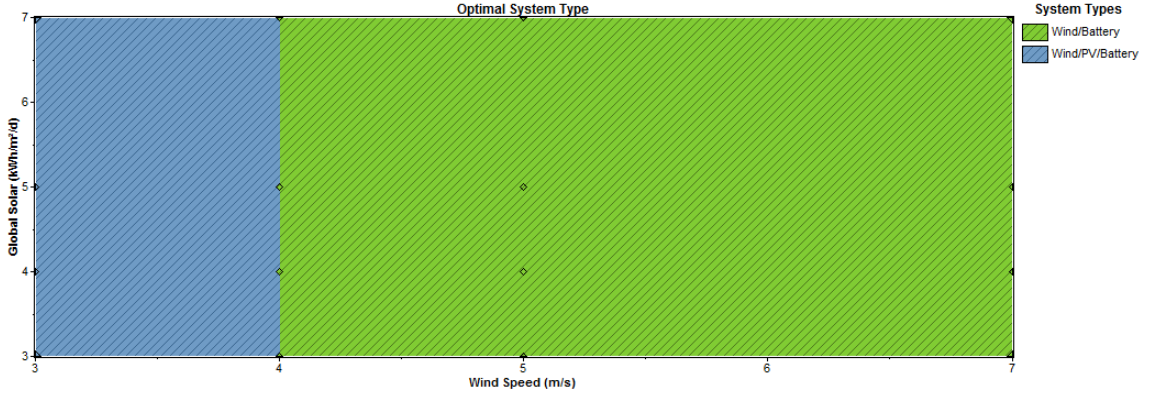
**Şekil 8.2:** Biyokütle kaynağı ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi

Yukarıda verilen ortalama rüzgar hızı ve biyokütle değeri ve dışındaki tüm olasılıklar Şekil 8.2'de detaylı gösterilmektedir. Rüzgar hızının 2.6m/s'nin altında olduğu durumda rüzgar türbini enerji üretememektedir. Dolayısıyla sadece biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi bu durumda optimum sistem olarak ortaya çıkmaktadır. 2.6m/s ile 5m/s aralığında rüzgar türbini enerji üretmeye başladığından rüzgar//biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum sistemi olduğu anlaşılmaktadır. 5m/s'den büyük rüzgar hızlarında ise optimum sistemin rüzgar/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi olduğu görülmektedir.

Rüzgar-Güneş ve şebekeden bağımsız;

Ortalama rüzgar hızının 3m/s ve güneş radyasyonu değerinin 4kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2'nin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonu 5 adet 100kW Northern Power NW100 model rüzgar türbini, 200kW'lık PV panel, Hoppecke 24 OpzS 3000 model 2000 adet batarya ve 300kW'lık dönüştürücüden oluşmaktadır.

Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım, işletme toplam bugünkü net maliyeti sırasıyla 3,140,000\$, 56,623\$/yıl ve 3,863,826\$'dır. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin birim enerji maliyeti 0.414\$/kWh olarak hesaplanmıştır. Hibrit yenilenebilir güç sisteminin güneş radyasyonu değeri ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi grafiği Şekil 8.3.'de görülmektedir.



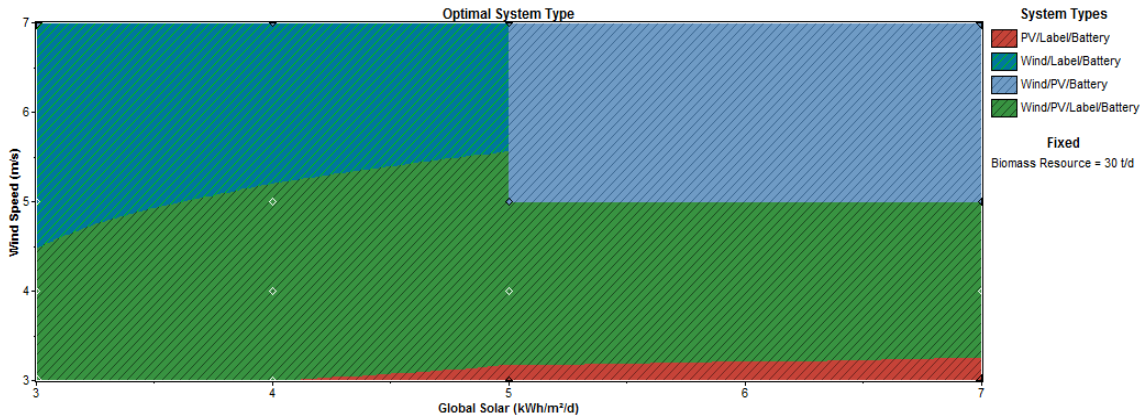
**Şekil 8.3:** Güneş radyasyonu değeri ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi

Yukarıda verilen ortalama rüzgar hızı ve güneş radyasyonu değeri ve dışındaki tüm olasılıklar Şekil 8.3'de detaylı gösterilmektedir. Rüzgar hızının 3 m/s ile 4m/s aralığında olduğu durumda rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi bu durumda optimum hibrit sistem olarak ortaya çıkmaktadır. 4m/s'den büyük rüzgar hızlarında rüzgar/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum sistemi olduğu anlaşılmaktadır.

Rüzgar-Güneş-Biyokütle ve şebekeden bağımsız;

Güneş radyasyonu değerinin 4kWh/m<sup>2</sup>/gün, ortalama rüzgar hızının 3m/s ve biyokütle kaynağının 30t/gün olduğu durumda şebekeden bağımsız rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2'nin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonu 2 adet 100kW Northern Power NW100 model rüzgar türbini, 200kW PV Panel, 150kW'lık biyokütle generatörü, Hoppecke 24 OpzS 3000 model 400 adet batarya ve 150kW'lık dönüştürücüden oluşmaktadır.

Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım, işletme toplam bugünkü net maliyeti sırasıyla 3,410,000\$, 218,634\$/yıl ve 6,204,882\$'dir. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin birim enerji maliyeti 0.665\$/kWh olarak hesaplanmıştır. Toplamda 1,527ton biyokütle kaynağı kullanılmıştır. Hibrit yenilenebilir güç sisteminin biyokütle kaynağının 30t/gün olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi grafiği Şekil 8.4.'de görülmektedir.



**Şekil 8.4:** Biyokütle kaynağının 30t/gün olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi

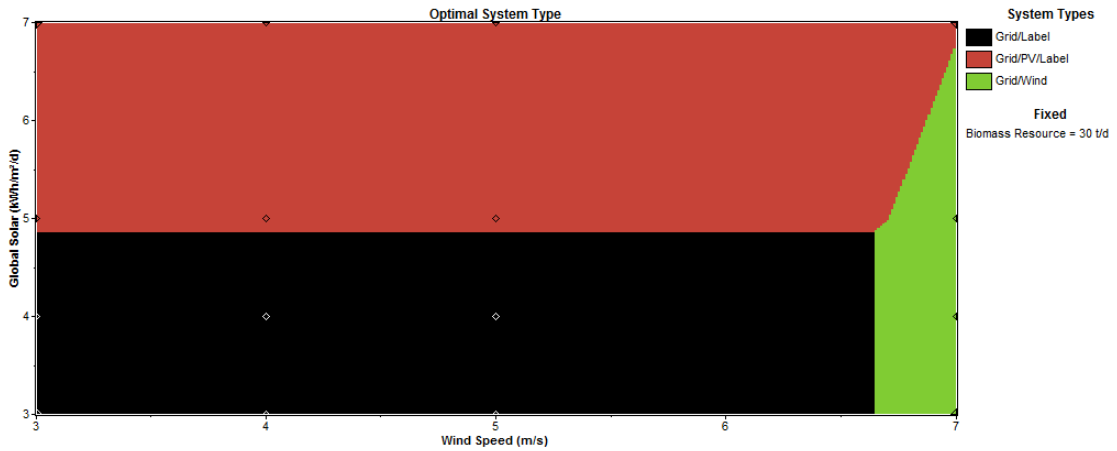
Yukarıda verilen biyokütle kaynağının 30t/gün sabit değerinde ortalama rüzgar hızı ve güneş radyasyonu değeri ve dışındaki tüm olasılıklar Şekil 8.4'de detaylı gösterilmektedir. Rüzgar hızının 3m/s ile 4.5m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 3kWh/m<sup>2</sup>/gün - 4kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu görülmektedir. Rüzgar hızının 3m/s ile 3.2m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 4.2kWh/m<sup>2</sup>/gün - 7kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda ise fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu anlaşılmaktadır. Rüzgar hızının 4.5m/s ile 7m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 3kWh/m<sup>2</sup>/gün - 5kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda ise rüzgar/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu görülmektedir. Son olarak rüzgar hızının 4.5m/s ile 7m/s aralığında ve güneş

radyasyonu değerinin  $5\text{kWh/m}^2/\text{g}^n$  -  $7\text{kWh/m}^2/\text{g}^n$  olduğu durumda ise rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu görölmektedir.

Rüzgar-Güneş-Biyokütle ve şebekeye bağlı;

Güneş radyasyonu değerinin  $4\text{kWh/m}^2/\text{g}^n$ , ortalama rüzgar hızının  $3\text{m/s}$  ve biyokütle kaynağının  $30\text{t/g}^n$  olduğu durumda şebekeye bağlı rüzgar/fotovoltaik/biyokütle/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi ile Merkezi Derslik-2'nin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonu 2 adet  $100\text{kW}$  Northern Power NW100 model rüzgar türbini,  $200\text{kW}$  PV Panel,  $150\text{kW}$ 'lık biyokütle generatörü, Hoppecke 24 OpzS 3000 model 500 adet batarya ve  $150\text{kW}$ 'lık dönüştürücü ve  $250\text{kW}$ 'lık şebekeden oluşmaktadır.

Optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam bugünkü net maliyeti sırasıyla  $1,827,500\text{\$}$ ,  $78,745\text{\$/yıl}$  ve  $2,834,120\text{\$}$ 'dir. Hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin birim enerji maliyeti  $0.304\text{\$/kWh}$  olarak hesaplanmıştır. Sistemin yenilenebilir kullanım oranı  $\%91$ 'dir. Toplamda  $1,305\text{ton}$  biyokütle kaynağı kullanılmıştır. Hibrit yenilenebilir güç sisteminin biyokütle kaynağının  $30\text{t/g}^n$  olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi grafiği Şekil 8.5'de görölmektedir.



**Şekil 8.5:** Biyokütle kaynağının  $30\text{t/g}^n$  olduğunda güneş radyasyonu ve rüzgar hızı değişimini gösteren hassaslık analizi

Yukarıda verilen biyokütle kaynağının 30t/gün sabit değerinde ortalama rüzgar hızı ve güneş radyasyonu değeri ve dışındaki tüm olasılıklar Şekil 8.5’de detaylı gösterilmektedir. Rüzgar hızının 3m/s ile 6.7m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 3kWh/m<sup>2</sup>/gün – 4.8kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda şebeke/biyokütle/ hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu görülmektedir. Rüzgar hızının 6.7m/s ile 7m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 4.2kWh/m<sup>2</sup>/gün - 7kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda ise şebeke/rüzgar hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu anlaşılmaktadır. Rüzgar hızının 3m/s ile 7m/s aralığında ve güneş radyasyonu değerinin 4.8kWh/m<sup>2</sup>/gün - 7kWh/m<sup>2</sup>/gün olduğu durumda ise şebeke/fotovoltaik/biyokütle hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin optimum hibrit sistem olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında incelenen beş farklı hibrit yenilenebilir güç üretim sistemleri birbiri ile kıyaslanıp birim enerji maliyeti göz önünde bulundurulduğunda 0.165\$/kWh ile optimum hibrit yenilenebilir güç üretim sisteminin şebekeye bağlı fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit sistemi olduğu görülmektedir. Fakat burada yenilenebilir kullanım oranı %91 olup diğer konfigürasyonlarda bu oran %100’dür.

İncelenen beş farklı hibrit yenilenebilir güç üretim sistemleri toplam bugünkü net maliyeti dikkate alarak değerlendirildiğinde 1,827,500\$ ile şebekeye bağlı fotovoltaik/rüzgar/ biyokütle hibrit sistemin optimum sistem olduğu görülmektedir.

Yenilenebilir oranın %100 olduğu durum dikkate alınarak ve enerjinin birim enerji maliyetine göre bir sıralama gerçekleştirilirse 0.414\$/kWh ile optimum sistemin rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi olduğu anlaşılmaktadır.

Yenilenebilir oranın %100 olduğu durum dikkate alınarak ve toplam bugünkü net maliyetlerine göre bir sıralama gerçekleştirilirse 3,863,821\$ ile optimum sistemin rüzgar/fotovoltaik/batarya hibrit yenilenebilir güç üretim sistemi olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak tüm hibrit sistemler irdelendiğinde Şebekeye bağlı fotovoltaik/rüzgar/biyokütle hibrit sistemin Kırklareli Üniversitesi Kayalı yerleşkesi Merkezi Derslik -2'nin enerji ihtiyacının karşılanması için en uygun sistem olduğu görülmektedir. Hibrit sistemin birim enerji maliyetinin 0.304\$/kWh ve toplam net bugünkü maliyetinin ise 2,834,120\$ olarak hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acaroglu, M. (2003). *Alternatif Enerji Kaynakları*. Ankara: Nobel Basimevi.
- Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems. Electric Power Systems* (Vol. 140). <http://doi.org/10.1002/0470012684>
- Afzal, A. (2011). Performance analysis of integrated wind, photovoltaic and biomass energy systems. In *World Renewable Energy Congress* (pp. 818–825). Linkoping-Sweden.
- Aksungur, K. M., Kurban, M., & Basaran Filik, U. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. In *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*. Kocaeli.
- Alboyaci, B., & Dursun, B. (2008). Electricity restructuring in Turkey and the share of wind energy production. *Renewable Energy*, 33(11), 2499–2505.
- Balamurugan, P., Ashok, S., & Jose, T. L. (2009). Optimal Operation of Biomass/Wind/PV Hybrid Energy System for Rural Areas. *International Journal of Green Energy*, 6(1), 104–116. <http://doi.org/10.1080/15435070802701892>
- Balamurugan, P., Ashok, S., & Jose, T. L. (2011). An Optimal Hybrid Wind-biomass Gasifier System for Rural Areas. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(9), 823–832. <http://doi.org/10.1080/15567030903117646>
- Balat, H. (2008). Contribution of green energy sources to electrical power production of Turkey: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2007.03.001>
- Başçetinçelik, A., H.H., Ö., & Karaca, C. (2007). Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları. In *IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu* (pp. 101–110). Kayseri.
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12(3), 333–346. [http://doi.org/10.1016/0038-092X\(69\)90047-4](http://doi.org/10.1016/0038-092X(69)90047-4)
- Demiroren, A., & Yilmaz, U. (2010). Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökçeada, Turkey: An island example. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.030>
- Dhass, A. D., & Harikrishnan, S. (2013). Cost effective hybrid energy system employing solar-wind-biomass resources for rural electrification. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1), 222–229.
- Dincer, F. (2011). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli -



- Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1), 8–17.
- Dincsoy, M. E. (2010). *Orta ölçekli bir otelin elektrik enerjisinin hibrit sistemler ile modellenmesi ve optimizasyonu*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Doğru, C. (2011). Trakya Bölgesinin Biyogaz Potansiyeli ve Mevcut Potansiyelin Bölge Ekonomisine Katkısı Üzerine Bir İnceleme. In *Uluslararası II. Trakya Bölgesi Kalkınma - Girişimcilik Sempozyumu* (pp. 113–121). Kırklareli.
- Durak, M., & S., Ö. (2008). *Rüzgâr Enerjisi Teori ve Uygulamaları*. Ankara.
- Dursun, B. (2012). *Energy and Energy Efficiency Special Commission Report*. Retrieved from <http://www.trakya2023.com/uploads/docs/28062013ihv8hm.pdf>
- Dursun, B., & Peran, T. (2010). Kırklareli İlinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımının Bölgesel Kalkınmaya Olan Etkilerinin İncelenmesi. In *Uluslararası II. Trakya Bölgesi Kalkınma - Girişimcilik Sempozyumu*. Kırklareli, Turkey.
- EİE. (2015a). Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi. Retrieved from [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg\\_mikrop.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_mikrop.html)
- EİE. (2015b). Güneş Enerjisi Teknolojileri. Retrieved from <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunes.html>
- EİE. (2015c). Kırklareli Güneş Radyasyon Dağılımı Haritası. Retrieved from <http://www.eie.gov.tr/eie-web/duyurular/YEK/gepa/KIRKLARELI-GEPA.pdf>
- González, A., Riba, J.-R., & Rius, A. (2015). Optimal Sizing of a Hybrid Grid-Connected Photovoltaic–Wind–Biomass Power System. *Sustainability*, 7(9), 12787–12806. <http://doi.org/10.3390/su70912787>
- GWEC. (2016). Global Wind Energy Statistics in 2015. Retrieved from [http://www.tureb.com.tr/attachments/article/592/GWEC\\_2015.pdf](http://www.tureb.com.tr/attachments/article/592/GWEC_2015.pdf)
- Harris, G. A., Torgovnikov, G., Vinden, P., Brodie, G. I., & Shaginov, A. (2008). Microwave pretreatment of backsawn messmate boards to improve drying quality: Part 1. *Drying Technology*, 26(5), 579–584. [http://doi.org/Doi\\_10.1080/07373930801944770](http://doi.org/Doi_10.1080/07373930801944770)
- Heier, S. (1998). *Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems* (2nd editio). Newyork: John Wiley & Sons.
- Hepbasli, A., & Ozgener, O. (2004). A review on the development of wind energy in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2003.10.006>
- Hoppecke. (2015). Hoppecke 24OPzS 3000 battery specifications. Retrieved from <http://www.hppecke.com>
- IEA. (2015). *Key World Energy Statistics 2015*. Retrieved from [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf)
- İlkiliç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165–1173.

<http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.021>

Ilkiliç, C., & Aydin, H. (2015). Wind power potential and usage in the coastal regions of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.  
<http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.010>

Janardhan, Kavali Srivastava, Tulika Satpathy, Guddy Sudhakar, K. (2013). Hybrid Solar PV And Biomass System For Rural Electrification. *International Journal of ChemTech Research*, 5(2), 802–810.

Karamanav, M. (2007). *Güneş enerjisi ve Güneş pilleri*. Sakarya Üniversitesi.

Kumar, H. R. (2013). Feasibility Study: Photovoltaic Module and Biomass Based Hybrid Power System Connected to Grid- South Australia Context, Australia. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2(12), 14–22.

Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, P. (2006). Micropower system modeling with HOMER. In G. M. Farret, Felix A. Simoes (Ed.), *Integration of Alternative Sources of Energy* (pp. 379–418). John Wiley & Sons, Inc.

Liu, G., Rasul, M. G., Amanullah, M. T. O., & Khan, M. M. K. (2011). Feasibility Study of Stand-Alone PV-Wind-Biomass Hybrid Energy System in Australia. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific*.  
<http://doi.org/10.1109/APPEEC.2011.5749125>

Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.  
*Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.  
<http://doi.org/10.1002/9780470974704>

Mahalakshmi, M., & Latha, S. (2015). An economic and environmental analysis of biomass-solar hybrid system for the textile industry in India. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23, 1735–1747.

Maherchandani, J. K., Agarwal, C., & Sahi, M. (2012). Economic Feasibility of Hybrid Biomass/PV/Wind System for Remote Villages Using HOMER. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1(2), 49–53.

Maklad, Y. (2014). An Introduction and Costing of a Biomass/Wind/Pv Hybrid Energy System for Electricity Micro-Generation to Domestic Buildings in Armidale Nsw, Australia. *International Global Journal for Research Analysis*, 3(4), 70–74.

Mathew, S. (2007). *Wind energy: Fundamentals, resource analysis and economics*.  
*Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*.  
<http://doi.org/10.1007/3-540-30906-3>

MENR, M. of E. and N. R. (2015). Wind speed values between 2012-2014. Retrieved from <http://www.enerji.gov.tr/en-US/Mainpage>

MGM. (2015a). Türkiye Rüzgar Atlası. Retrieved from <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası>

MGM, M. G. M. (2015b). Kırklareli 2014 yılı güneş radyasyon verileri. Retrieved from <http://www.mgm.gov.tr/>

- Milbrandt, Anelia Overend, R. (2011). *Assessment of Biomass Resources in Afghanistan*. Golden, Colorado.
- Müller, S., Deicke, M., & W., & Rik Doncker, D. (2002). Doubly fed induction generator systems for wind turbines. *Industry Applications Magazine, IEEE*, 8(3), 26–33. <http://doi.org/10.1109/2943.999610>
- NASA, N. A. and S. A. (2015). Solar Radiation data for Kırklareli Province. Retrieved from <http://www.nasa.gov>
- NP, N. P. (2015). Northern Power NW/100/19 Wind Turbine specifications. Retrieved from <http://www.northernpower.com>
- Ozgun, M. A. (2008). Review of Turkey's renewable energy potential. *Renewable Energy*. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2008.02.003>
- Patel, M. R. (1999). *Wind and Solar Power Systems*. London: CRC Press.
- Pradhan, S. R., Sahoo, S. P., Das, R., & Priyanka, S. (2014). Design of Off-Grid Home with Solar-Wind-Biomass Energy. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1), 76–81.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Amon, T., & Hobbs, P. J. (2009). Bioenergy from permanent grassland - A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology*. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.069>
- REPA. (2015). Türkiye'nin rüzgar enerjisi atlası. Retrieved from <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx>
- Ro, K., & Choi, H. (2005). Application of neural network controller for maximum power extraction of a grid-connected wind turbine system. *Electrical Engineering*, 88(1), 45–53. <http://doi.org/10.1007/s00202-004-0254-2>
- Sahu, R., Das, B., Sabat, R. R., & Swain, M. K. (2013). Hybrid Power Model Of Renewable Energy Sources For On Grid Power Supply. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(11), 5466–5473.
- Sarıkaya, S. (2010). *Güneş Enerjisi Sektör Raporu*. Muş.
- Senpınar, A. (2006). Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 4(2), 36–41.
- Tanrıöven, M. (2009). *Rüzgar ve Güneş enerjisi dersi ders notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- TCMB, T. C. M. B. (2015). Türkiye Faiz Oranları, Şubat 2015. Retrieved from <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TCMB+TR/TCMB+TR/Main+Page+Site+area/TCMB+Faiz+Oranlari>
- Thakur, M. S., Gupta, B., Kumar, V., & Pandey, M. (2012). Renewable Hybrid Energy System for Sustainable and Economical Power Supply- A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1(6), 1–9.
- TUREB. (2015). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*. Ankara. Retrieved from <http://www.tureb.com.tr/tr/duyurular/420-turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu->

ocak-2015

- TÜİK. (2015a). Şubat 2015 Enflasyon değeri. Retrieved from <http://www.tuik.gov.tr/PrHaberBultenleri.do?id=18529>
- TÜİK, T. İ. K. (2015b). *Kırklareli 2015 yılı büyükbaş hayvan sayıları*. Retrieved from [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- Uyar, M., Gençoğlu, M. ., & Yıldırım, S. (2003). Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri. In *II. Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKSEM 2003*. Mersin.
- Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi. *Yekarum Dergi*, *1*(1), 3–10.
- Varınca, K. B., & Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. In *I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi* (pp. 270–275). Eskişehir.
- Xu, Q. X., & Pang, S. S. (2008). Mathematical Modeling of Rotary Drying of Woody Biomass. *Drying Technology*, *26*(11), 1344–1350. <http://doi.org/Doi10.1080/07373930802331050>
- Yan, J. H., Chen, T., Li, X. D., Zhang, J., Lu, S. Y., Ni, M. J., & Cen, K. F. (2006). Evaluation of PCDD/Fs emission from fluidized bed incinerators co-firing MSW with coal in China. *Journal of Hazardous Materials*, *135*(1-3), 47–51. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.007>
- YEGM. (2015). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Retrieved from <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/veri.html>



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Sibel DURSUN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Eleşkirt/AĞRI 30.09.1983

**E-Posta:** [sibeldursun@klu.edu.tr](mailto:sibeldursun@klu.edu.tr)

## ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans:** 2002, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

## TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Dursun, S., Bostan İ., Dursun, B., 2015. Orman Gözetleme Kulesi İçin Optimum Rüzgar/PV/Biyokütle Hibrit Güç Üretim Sistemi. *AES 2015 3. Anadolu Enerji Sempozyumu*, Ekim 1-2, 2015, Muğla, Türkiye.
- Dursun, S., Kocabey, S., 2016. Techno-economic analysis of wind/solar/biogas/battery hybrid power generating systems: Kırklareli University case study. *8th International Ege Energy Symposium (IEESE-8)*, May 11 to 13, 2016, Afyon Karahisar, Turkey.