

# **KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT (RÜZGAR-GÜNEŞ) ENERJİ SANTRALİ DENETİMİ**

**Köksal BAYRAKTAR**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK**

**Temmuz 2013**

**KABUL:**

Köksal BAYRAKTAR tarafından hazırlanan "KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT (RÜZGAR-GÜNEŞ) ENERJİ SANTRALİ DENETİMİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.  
25/07/2013

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU (BEÜ)



Üye : Doç. Dr. Ertan ÖZTÜRK (BEÜ)



Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER (BEÜ)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2013



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Köksal BAYRAKTAR

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT (RÜZGAR-GÜNEŞ) ENERJİ SANTRALİ DENETİMİ**

**Köksal BAYRAKTAR**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Rifat HACIOĞLU**

**Temmuz 2013, 109 sayfa**

Fosil yakıtların üretiminde ve tüketiminde yaşanan sorunlar araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel olarak değerlendirilmesine yöneltmektedir. Bölgesel yenilenebilir enerji kaynakları sürekli enerji üretimi ihtiyacına bağlı olarak tek bir enerji kaynağına bağlı kalmadan birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanılmasına imkân sağlayan hibrit sistemler ön plana çıkmaktadır. Hibrit sistemlerin oluşturulması öncelikle bölgenin enerji üretimine uygunluğu ile değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında küçük ölçekli hibrit enerji santralinde üretilen enerjinin verimli kullanılabilmesi ve hibrit enerji santralinden beslenen yüklerin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi ihtiyacı üzerinde durulmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için hibrit enerji santralinin denetlenmesi amaçlanmaktadır. Denetim sistemi için hibrit enerji santrali tarafından üretilen gücün tespit edilebilmesi için akım, gerilim, frekans ve akü gerilim değerleri ölçülmektedir. Denetim sistemi tarafından kontrol edilen akü gerilim değerinin belirlenen akü gerilim sınır değerleri arasında olması durumunda yükler öncelik sırasına göre hibrit enerji santrali kaynaklarından beslenmektedir. Denetim sistemi tarafından kontrol edilen akü gerilim değerinin belirlenen gerilim sınır değerlerinin altında olması durumunda

## ÖZET (devam ediyor)

yüklerin beslenmesi için üçüncü bir enerji kaynağına gerek duyulmaktadır.

Denetim sisteminin devreye alınması ile hibrit enerji santralinde üretilen enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır. Birinci ve ikinci öncelikli olarak belirlenen yüklere öncelikle hibrit enerji santralinden beslenmesi sağlanmış ve gerektiğinde de üçüncü enerji kaynağı devreye alınmıştır. Genel olarak incelendiğinde birinci öncelikli yük yaklaşık %80 oranında hibrit enerji santralinden ikinci öncelikli yük ise yaklaşık %35 oranında hibrit enerji santralinden beslenmektedir. Her iki yük tarafından tüketilen toplam elektrik tüketiminin %66'lık bölümü hibrit enerji santralinden karşılandığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada bir yıla yakın süre için rüzgar ve güneş enerjisi ile üretim yaban küçük ölçeklihibrit enerji santrali incelenmektedir. Güneşin verimli olduğu zamanın yaz ayları, rüzgarın verimli olduğu zamanın kış ayları olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum tek başına sürekliliği olmayan enerji kaynaklarının kullanımı yerine birbirini tamamlayan enerji kaynaklarının bir arada kullanıldığı hibrit enerji santrallerinin daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit enerji santrali, Yenilenebilir güneş ve rüzgar enerjisi, Hibrit santral denetimi

**Bilim Kodu:** 609.03.00

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **SMALL SCALE HYBRID (WIND-SOLAR) POWER PLANT CONTROL**

**Köksal BAYRAKTAR**

**Bülent Ecevit University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Rifat HACIOĞLU**

**July 2013, 109 pages**

Problems in the production and consumption of fossil fuels renewable energy sources as the low quality evaluation of regional researchers. Regional renewable energy resources are constantly producing energy without depending on a single energy source, depending on the needs of multiple energy source to be used in conjunction to provide hybrid systems come to the fore. Hybrid systems can be evaluated with the first creation of the suitability of the region's energy production.

This thesis study can be used in hybrid power plant produced small-sized energy-efficient and hybrid energy plant concentrates on the needs of energy fed in order continuity. This is intended to meet the need for controlling the hybrid power plant. Control system for hybrid power plant order in order to detect the generated by the current, voltage, frequency, and battery voltage values are measured. Set the value of the battery voltage is controlled by the control system, the battery voltage will be between the boundary values of the loads are powered by hybrid energy plant resources in priority order. The control system is controlled by the the battery voltage is below the value of the specified voltage limit values

## **ABSTRACT (continued)**

if I need a third energy source for feeding of cargo.

Commissioning of control system with efficient use of the energy produced in hybrid power plant. As specified in the first and second priority loads provided and, if necessary, feeding primarily on hybrid energy plant has been commissioned the third source of energy. In General, the examined approximately %80 percent of the hybrid energy load first priority plant the second priority load is approximately % 35 are powered by hybrid energy plant. The total electricity consumption is consumed by both load with % 66 of hybrid energy plant are met.

In this study a year with wind and solar energy production for the period of wild small scale hybrid power plant. The Sun is time efficient in summer, the wind is observed in the winter months it is time efficient. In this case, the use of non-sustainable energy sources alone, instead of a combination of complementary energy sources used in hybrid power plants is more appropriate.

**Keywords:** Hybrid power plant, Renewable solar and wind energy, Hybrid power plant control

**Science Code:** 609.03.00

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bana destek veren, her zaman yanımda olan, tecrübesi ve bilgisiyle bana yol gösteren, ilgisini ve yardımını hiç esirgemeyen tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Rıfat HACIOĞLU' na teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her zaman yol gösteren, desteklerini esirgemeyen Arő. Gör. Sinan ÜNSAL'a, Arő. Gör. Hakan KAYA'ya ve diğer tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca, desteklerini ve ilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde maddi ve manevi emekleri olan anneme ve babama, iş ve okul hayatım boyunca bana her zaman destek olan eşim Nursen BAYRAKTAR' a ve biricik oğlum Yiğit BAYRAKTAR' a teşekkür ediyorum.

Ayrıca çalıőmalarım sırasında proje katkılarıyla maddi olarak destek aldığım Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na (BAP 2012-17-15-01 nolu proje) teşekkür ederim.





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ .....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 ENERJİ KAYNAKLARI .....	5
2.1 YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI .....	6
2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI .....	7
2.3 TÜRKİYE’DEKİ ENERJİ DURUMU .....	12
2.3.1 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu .....	16
2.3.1.1 Zonguldak İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli .....	19
2.3.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu .....	20
2.3.2.1 Zonguldak İli Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	24
2.4 HİBRİT ENERJİ SANTRALİ .....	25
BÖLÜM 3 RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPILARI, TİPLERİ, TEMEL YASA VE KAVRAMLAR .....	29
3.1 RÜZGAR TÜRBİNLERİ .....	29
3.1.1 Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri .....	29
3.1.2 Eksen Yapısına Göre Rüzgar Türbinleri .....	30

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1.3 Pervane Kanat Sayısına Göre Rüzgar Türbinleri .....	31
3.1.4 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT) .....	32
3.1.5 Rüzgar Türbini Elemanları.....	32
3.2 RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN JENERATÖRLER .....	36
3.3 HIZ DENETİMİ.....	37
3.3.1 Yetersiz Rüzgar Bölgesi.....	39
3.3.2 Maksimum Verim Bölgesi .....	39
3.3.3 Maksimum Güç Bölgesi.....	39
3.3.4 Emniyetsiz Bölge.....	40
3.3.5 Hız denetimi yöntemleri.....	40
3.4 RÜZGAR TÜRBİNİ MATEMATİKSEL MODELİ .....	40
3.5 RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ .....	47
<b>BÖLÜM 4 GÜNEŞ ENERJİSİ VE PANELLERİNİN YAPILARI, TİPLERİ, TEMEL YASA VE KAVRAMLAR.....</b>	<b>49</b>
4.1 GÜNEŞ ENERJİSİ VE PANELLERİ.....	49
4.1.1 PV Güneş Piliin Eşdeğer Devre Modeli .....	52
4.1.2 Fotovoltaik Modüllerin Sağladığı Avantajlar .....	55
4.1.3 Maksimum Güç Noktası Takipi .....	55
4.2 GÜNEŞ PANELLERİNİN BESLEDİĞİ KAYNAKLAR .....	57
4.2.1 Şebekeye Elektrik Veren Güneş Pili (PV) Sistemi.....	57
4.2.2 Şebekeden Bağımsız Güneş Pili sistemleri .....	57
<b>BÖLÜM 5 BEÜN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİ .....</b>	<b>61</b>
5.1 KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİ .....	61
5.2 RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ VERİ ANALİZİ .....	64
<b>BÖLÜM 6 BEÜN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİNİN DENETİMİ.....</b>	<b>71</b>
6.1 HİBRİT ENERJİ SANTRALİNİN (RÜZGAR-GÜNEŞ) DENETİMİ .....	71
6.2 DENETİM SİSTEMİ UYGULAMA SONUÇLARI .....	74

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
6.3 DENETİM SİSTEMİ VERİ ANALİZİ .....	77
6.4 RÜZGAR TÜRBİNİNİN BAKIMININ YAPILMASI.....	80
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	81
KAYNAKLAR .....	83
ÖZGEÇMİŞ .....	109



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Küresel rüzgar enerjinin gelişimi .....	10
2.2 Güneş pili pazarının 2009 yılındaki dağılımı.....	12
2.3 Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları .....	16
2.4 Türkiye rüzgar atlası (50m yükseklik için) .....	17
2.5 İşletmedeki rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç olarak yıllara dağılımı .....	18
2.6 Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç olarak bölgelere dağılımı.....	18
2.7 Rüzgar enerji santrallerinin illere göre dağılımı .....	19
2.8 Zonguldak ili rüzgar enerjisi verileri.....	20
2.9 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.....	22
2.10 Türkiye güneşlenme süresi değerleri.....	23
2.11 Türkiye global radyasyon değerleri.....	23
2.12 Zonguldak iline ait güneş termik santrali kurulamayacak alanlar .....	24
2.13 Zonguldak iline ait günlük güneşlenme süresi değerleri .....	24
2.14 Zonguldak ili güneş enerjisinden elektrik üretimi .....	25
3.1 Rüzgar türbin bileşenleri.....	33
3.2 Türbin kontrol yöntemlerinin dağılım yüzdeleri.....	38
3.3 Hız denetim bölgeleri .....	38
3.4 Rüzgar hızı ile güç üretimi arasındaki değişim.....	41
3.5 Rüzgar hızı ile tork üretimi arasındaki değişim .....	42
3.6 Farklı kanat yapılarında $C_p$ - $\lambda$ değişimi .....	43
3.7 $C_p$ ’nin tepe hız oranı ve pitch açısıyla değişimi .....	44
3.8 $C_p$ -e değişim eğrisi.....	45
3.9 Rüzgar hızının yükseklikle artışı .....	46
3.10 1,5 kW’lık rüzgar türbininin hız-güç eğrisi .....	48
4.1 Güneş pili, hücre, modül ve panel.....	49
4.2 P-N eklem oluşması.....	51
4.3 Fotovoltaik hücre diyagramı .....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 Güneş panellerinin çalışma diyagramı .....	52
4.5 İdeal güneş pili eşdeğer devre modeli .....	52
4.6 Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler .....	56
4.7 Şebeke bağlantılı güneş pili sistemi .....	57
4.8 Şebeke bağlantısız güneş pili sistemi .....	58
4.9 PV sistem modeli .....	58
4.10 Solar akü. ....	59
5.1 Hibrit enerji santrali görünümü. ....	61
5.2 BEÜN hibrit santral blok şeması. ....	62
5.3 Hibrit santralde kullanılan ekipmanlar. ....	63
5.4 Rüzgar hızı-güç eğrisi. ....	65
5.5 Güneş panelinin sıcaklığa bağlı karakteristik eğrileri. ....	66
5.6 Güneşlenme miktarındaki değişimin güneş paneli karakteristiğine etkisi. ....	67
5.7 Haziran ayı rüzgar hızı, sıcaklık, basınç ve güneşlenme dağılımı. ....	68
5.8 Rüzgar ve Güneş enerjisi potansiyel ve üretilmesi beklenen güç eğrileri. ....	69
5.9 Rüzgar hızı-frekans değişimi eğrisi. ....	70
6.1 Denetim sistemi blok şeması. ....	72
6.2 Hibrit enerji santralinde ölçüm yapılan noktalar. ....	73
6.3 Denetim sistemi kontrol akış şeması. ....	73
6.4 Denetim ve ölçüm için tasarlanan pano. ....	74
6.5 Akü gerilimi ve anahtarların pozisyonu. ....	76
6.6 Haziran ayı üretilmesi beklenen ve üretilen güç eğrileri. ....	78
6.7 Günlük üretilmesi beklenen ve üretilen güç eğrileri. ....	79
6.8 Hibrit enerji santralinde üretilen ve tüketilen güç eğrileri. ....	80
A.1 Hibrit enerji santralinden beslenen yükler. ....	89
A.2 Yükün zamana bağlı çalışmasını sağlayan zaman saati. ....	89
A.3 Akü-yük ve alternatif besleme seçimini yapan role ve ölçüm bağlantı kutusu. ....	90
A.4 Rüzgar ve Güneş MPPT çıkışı akım ölçüm noktaları. ....	90
A.5 Güneş panellerine ait akım ve gerilim ölçüm sonuç grafiği. ....	91
A.6 Güneş paneli voltajının tek grafik olarak ölçümü. ....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
B.1 Rüzgar türbini ve direği.....	95
B.2 Türbin bakımı için gelen vinç .....	95
B.3 Rüzgar türbininin indirilmesi.....	95
B.4 Rüzgar türbininin indirilmesi.....	95
B.5 Rüzgâr türbini .....	96
B.6 Türbin iç görünümü.....	96
B.7 Meteoroloji istasyonu .....	96
B.8 Meteoroloji istasyonu pil yeri.....	96
B.9 Gergi aparatı.....	96
B.10 Halat .....	96





## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Tükenebilirliğine göre enerji türleri ve kaynakları .....	8
2.2	Ülkelerin rüzgar enerjisi kurulu gücü ve artış değerleri .....	11
2.3	Türkiye'nin birincil enerji kaynakları üretimi .....	13
2.4	Birincil enerji kaynakları tüketimi .....	14
2.5	Türkiye, kurulu güç ve yıllar itibariyle gelişimi .....	15
2.6	Türkiye elektrik enerjisi brüt-net üretimi, ithalat, ihracat ve iletim kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi.....	16
2.7	Ülkemizin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli .....	21
2.8	Ülkemiz güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı .....	22
3.1	Kanat sayısı – $\lambda$ değişimi .....	43
6.1	Yüklerin anahtar durumu ve akü gerilim değeri. ....	75
6.2	Yüklerin kaynaklara göre çalışma saatleri ve yüzde değerleri. ....	76



## EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A Hibrit Enerji Santraline Ait Yük ve Yük Besleme bilgileri. ....	87
EK B Rüzgar türbininin Bakımının yapılması. ....	93
EK C Matlab Program Parçaları.....	97



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Pil yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	: Rüzgar türbini güç katsayısı
P	: Güç
R <sub>S</sub>	: Seri direnç
R <sub>SH</sub>	: Şönt direnç
V	: Gerilim
V <sub>ad</sub>	: Açık devre gerilimi
V <sub>max</sub>	: Maksimum gerilim
$\omega$	: Rüzgar açısal hız
$\lambda$	: Kanat hız oranı
$\beta$	: Pitch açısı

## KISALTMALAR

AA	: Alternatif akım
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif gerilim
DA	: Doğru akım
DC	: Doğru gerilim
DERT	: Dikey eksenli rüzgar türbini
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
ETKB	: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAS	: Elektrik Üretim A.Ş.
GSM	: Global System for Mobile Communications(Mobil iletişim sistemi).
GWh	: Gigawatt - saat
HES	: Hidroelektrik santrali
KTEP	: Bin ton eşdeğer petrol

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt-saat
MPPT	: Maksimum Güç Takibi işlemi
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt-saat
PV	: Fotovoltaik Panel
PWM	: Pulse Width Modulation(Darbe genişlik modülü)
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgar enerji santrali
RT	: Rüzgar Türbini
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik iletim Anonim Şirketi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TW	: Terawatt
TWh	: Terawatt-saat
YERT	: Yatay eksenli rüzgar türbini

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde enerji; insanın hayatını idame etmesi için vazgeçilmez bir gereksinimdir. Bundan dolayı enerji ile ilgili sorunlar büyük önem arz etmektedir. Yaşadığımız yüzyılda ülkelerin ekonomik ve sosyal zenginlikleri enerji üretimi ve kişi başına düşen enerji tüketimi ile ölçülmektedir. Ülkelerin sanayi, teknoloji ve nüfus artışı ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı enerji ihtiyacı ülkemizin ve dünya ülkelerinin ortak sorunu olarak önemli bir yer işgal etmektedir.

Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan enerji kaynakları tarihsel süreçle birlikte değişikliğe uğramıştır. Bunun sebebi, gelişen teknolojiyle birlikte enerjiye olan ihtiyacın giderek artması ve buna paralel olarak enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların giderek azalmasıdır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye verdiği zararın etkisiyle meydana gelen küresel ısınma tüm dünyanın ortak sorunu haline gelmiştir (Koramaz 2003). Dünya genelinde mevcut petrol rezervleri 40 yıl, doğalgazın 60 yıl, kömür rezervlerinin ise 220 yıl, geleceğin enerji talebini karşılayacağı tahmin edilmektedir (Koramaz 2003). Rezervlerin azalması ile fosil yakıtlarının maliyetlerinde ciddi bir yükselme görülmektedir. Ekonomik krizlerin en büyük faktörlerinden birisi, enerji kaynakları gösterilebilir. Bu enerji kaynaklarının giderek azalması ile mevcut rezervlere sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyacını karşılamak, enerji maliyetini ve dışa bağımlılığı en aza indirmek için yeni enerji kaynakları arayışı içine girmiştir (Koramaz 2003).

Özellikle ülkelerin, konut, sanayi ve ulaştırma gibi sektörlerde ekonomik kalkınmalarının sağlanması ve temel insan ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan geleneksel enerji kaynakları; üretim, taşınım ve tüketim esnasında yerel ve küresel ciddi çevre sorunlarına da yol açmaktadır. Bu çevre sorunları; dünyadaki hava, su, toprak ve diğer doğal kaynakların bozulması, iklimlerin değişmesi, ekosistemde ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri şeklinde sıralanabilir (Çağlar ve Altuntasoglu 2003). Fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen



kaynaklara öncelik vermek yaşanılabilir bir dünya ve sürdürülebilir bir enerji politikasından uzaktır. Fosil yakıtların tüketimini azaltmak, bunun yerine hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve dalga enerjisi gibi temiz, yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelecek enerji politikaları oluşturmak önem arz etmektedir.

Günümüzde gittikçe artmakta olan enerji talebi, konvansiyonel enerji kaynaklarının ekosistem üzerindeki olumsuz etkisi ve arz güvenliği; yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının önemi ve kullanım zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu enerji kaynakları içinde halen en popüler olanları; Rüzgâr enerjisi, Güneş enerjisi, Jeotermal enerjisi ve Hidroelektrik enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet analizleri yapılarak, sürdürülebilir enerji yatırımlarının yapılması; yenilenebilir enerji kaynakları tabanlı enerji üretim teknolojilerinde de gelişme, büyüme ve maliyet düşmeleri sağlayacaktır. Bunun sonucu olarak çevreye daha az zarar verilecektir (TKBY 2010).

Yenilenebilir enerji kaynakları tek başına kullanılabilirdiği gibi birlikte kullanılabilirler. Örneğin güneş, rüzgar, dizel veya güneş, fuel cell (yakıt pili), rüzgar veya güneş, rüzgar, hidrojen gibi enerji kaynaklarının bir araya getirildiği uygulamalar mevcuttur (Nakken et al. 2006). Bu şekilde birden fazla kaynağın bir araya getirilerek oluşturulan sistemlere hibrit sistem adı verilir. Hibrit sistemlerdeki amaç, enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem verimi artırmak hem de kaynaklardan birinin olmaması veya azalması durumunda diğerlerinin sistemin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlayabilmektir. Hibrit enerji santrallerinde üretilen enerjinin verimli kullanılabilmesi, yüklerin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi için, üretilen ve depo edilen enerjinin ölçülmesi, enerji santrali tarafından beslenen yüklerin öncelik sırasının tespit edilmesi gerekmektedir. Üretilen ve depo edilen enerjinin ölçülmesi, yüklerin öncelik sırasının belirlenmesi ve enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi için denetim sistemine ihtiyaç vardır.

Küçük ölçekli hibrit enerji sistemlerinin kullanımı, şebeke geriliminin götürülmesinin uzak ve pahalı olduğu yerlerde daha da önem kazanmaktadır. Türkiye’de 2011 yılında kişi başı birincil enerji kaynakları tüketimi 1555 KTEP (bin ton eşdeğer petrol), elektrik enerjisi tüketimi ise (jeotermal ve rüzgardâhil olmak üzere) 3099 kWh (kilowatt-saat) olarak gerçekleşmiştir. 2011 yılında Türkiye’de rüzgar ve jeotermal kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi 5394 GWh’dir (Gigawatt-saat) ve toplam 2011 yılı elektrik üretimi içerisindeki payı %2,4 ‘dür (EPDK 2012).

Rüzgar ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretim sistemini birlikte kullanan Bülent Ecevit Üniversitesindeki küçük ölçekli hibrit enerji santralinde üretilen enerjinin verimli kullanılabilmesi ve yüklerin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için bu tez çalışmasında hibrit enerji santralinin denetlenmesi amaçlanmaktadır. Küçük ölçekli hibrit enerji santralinde güneş panelleri ve rüzgar türbini tarafından enerji üretilmektedir. Hibrit enerji santrali tarafından beslenen yükler 1. ve 2. öncelikli yükler olmak üzere iki yük grubuna ayrılmıştır. Yüklerin hibrit enerji santralinde üretim olmadığı durumlarda beslenebilmesi veya yüklerin çalışmadığı durumlarda üretilen enerjinin depolanması amacıyla akü grubu kullanılmaktadır. Sistemin denetiminin yapılmasında akülerin gerilim değeri önem arz etmektedir. Oluşturulan denetim sistemi akü gerilim değerini kontrol ederek 1. ve 2. öncelikli yüklerin enerji besleme kaynaklarının seçimini anahtarlar üzerinden yapabilmektedir. Denetim sistemine değişken güçteki yüklerin öncelik sırası, yüklerin akü grubunun hangi gerilim aralıklarında akülerden beslenmesi gerektiği tanımlanabilmektedir. Bu başlangıç ayarları denetim sistemi algoritması ile istenildiğinde değiştirilebilmektedir. Rüzgar türbini tarafından üretilen AC (alternatif gerilim) gerilim ve güneş panelleri tarafından üretilen DC (doğru gerilim) gerilim ayrı ayrı olmak üzere 2 adet MPPT (maksimum güç takibi işlemi) üzerinden düzenli DC gerilime dönüştürülerek akü grubunu beslemektedir. Akü grubundan beslenen 1,5 kW gücündeki invertör ve denetim sistemi sayesinde invertör çıkışına bağlı olan değişken güçteki yüklerin ve yüklerin besleme kaynağının seçimi yapılmaktadır. İhtiyaç olması halinde üçüncü enerji kaynağı olarak farklı enerji kaynakları (dizel, dalga, gel-git vb.) kullanılabilir. Bu çalışma ile yüklerin hibrit enerji santrali tarafından üretilen enerji ile verimli şekilde beslenmesi gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında bölüm 2’de enerji kaynakları, bölüm 3’de rüzgar türbinlerinin yapıları, tipleri, temel yasa ve kavramlar, bölüm 4’de güneş enerjisi ve panellerinin yapıları, tipleri, temel yasa ve kavramlar, bölüm 5’de Bülent Ecevit Üniversitesi rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklı küçük ölçekli hibrit enerji santralinin tanıtımı, bölüm 6’da Bülent Ecevit Üniversitesindeki küçük ölçekli hibrit enerji santralinin (Rüzgar-Güneş) denetimi ve denetim sistemi uygulama sonuçları, bölüm 7’de ise sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.



## BÖLÜM 2

### ENERJİ KAYNAKLARI

Bu bölümde Dünya’da ve Türkiye’deki enerji kaynakları araştırılmaktadır. Yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları özetlenirken Türkiye’deki ve Zonguldak’daki enerji durumu da incelenmektedir.

Enerji iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Endüstriyel manada insanlığın huzuru ve refahı için hizmet veren her enerji türü mühendislik ilgi alanına girer. Günümüzde, endüstrinin en temel enerji tüketimi elektrik enerjisi olup, onu ısınma veya ısıtma amaçlı fosil yakıtlar (petrol, kömür, doğal gaz vb.) takip etmektedir.

Enerji kaynakları, niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından “birincil” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, doğada buldukları biçimde değiştirilmeden kullanılabilen kaynaklardır. Örneğin; taşkömürü, linyit, petrol, doğalgaz, jeotermal enerji, hidrolik enerji, güneş enerjisi, odun, hayvan ve bitki atıkları bu tür enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynakları ise, birincil kaynakların çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen enerji türleridir. Örneğin; elektrik enerjisi, motorin, benzin, fueloil, gazyağı vb. bu tür enerji kaynaklarıdır (Demirtaş 2008).

Birleşmiş Milletler ise enerji kaynaklarını, “yenilenebilir” ve “yenilenemez enerji kaynakları” olmak üzere iki ana grupta toplamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, biokütle, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları, jeotermal enerjidir. Yenilenemez enerji kaynakları, maddenin tekrar kullanılamayacağı bir enerji kaynağı olarak tanımlanır. Böylece kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum bu grup içinde yer almaktadır (Demirtaş 2008).

## 2.1 YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenemeyen enerji kaynakları, kısmen veya tamamen yok olan ya da tekrar oluşumu uzun yıllar alan enerji kaynaklarıdır. Fosil kaynaklar; taş kömürü, linyit, petrol, doğal gaz olup yenilenemez enerji kaynakları sınıfına girmektedir. 21. yüzyılın ortalarına kadar enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil enerji kaynakları karşılayacaktır. Bu kaynaklar günümüze kadar enerji ihtiyacını karşılamada kullanıldığı için mevcut fosil rezervleri giderek azalmaktadır. Bunun yanı sıra fosil yakıtlarından enerji üretimi için kullanılan; özellikle, petrol ve doğalgazın dünya coğrafyasında eşit dağılımının olmaması enerji sorununun diğer bir boyutudur. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının başında taşkömürü, linyit, petrol, doğalgaz, nükleer enerji kaynakları gelmektedir (URL-1 2013).

**Taşkömürü ve Linyit:** Kömür, dünyada en büyük rezerve sahip fosil yakıt grubundan birisidir. 2008 yılı itibariyle Dünyanın toplam kömür rezervleri 826 milyar ton'dur. Türkiye toplam 12,8 milyar ton kömür rezerviyle dünya kömür rezervinin %1,5'ine sahiptir. Türkiye 11,5 milyar ton linyit rezerviyle Dünya linyit rezervlerinin %7,7'sine sahip iken taşkömüründe ise 529 milyon ton ile dünya taşkömürü rezervlerinin %0,3'üne sahiptir. Türkiyede yıllık taşkömürü üretimi ortalama 4-5 milyon ton arasında değişmektedir. Türkiye'nin en büyük taşkömürü havzası Zonguldak yöresinde yer almaktadır (URL-1 2013).

**Petrol:** Tüm dünyada, birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan fosil yakıtlardan petrolün, stratejik konumunu uzun yıllar sürdürmesi beklenmektedir. Petrolün dünyadaki dağılımı incelendiğinde; özellikle bilinen üretilebilir petrol rezervlerinin büyük oranda Ortadoğu bölgesinde olduğu görülmektedir. Son on yılda petrol rezervleri %23 artış göstermiştir. 1999 sonu itibariyle 1085,6 milyar varil olan rezerv miktarı 2009 sonunda 1332,4 milyar varil (181,7 milyar ton) olmuştur. Ortadoğu ülkeleri %56,6 ile en büyük payı almaktadırlar. Bunu % 14,9 ile Güney ve Orta Amerika ülkeleri izlemektedir. Rezervler ve yeni buluşlar, üretim ve tüketim ile birlikte değerlendirildiğinde, dünyada 40 yıllık süre için ham petrol arz sorunu görülmemektedir (URL-1 2013).

**Doğal Gaz:** Petrol gibi fosil kökenli bir kaynak olan doğalgaz kül ve atık bırakmadan yanan, depolama sorunu olmayan, yanma sonucunda havayı kirleten kükürt dioksit ve karbondioksit gazlarını açığa çıkarmayan temiz bir enerji kaynağıdır. Geleneksel katı ve sıvı yakıtlar insanlar ve çevre için zehirli gazlar açığa çıkarırken doğalgaz yanmasında böyle bir sorun

yoktur. Bu özellik günümüzde bu yakıt türünü çok popüler hale getirmiştir. Ortadoğu ülkeleri %40,6'lık bir payla ilk sırada iken, bunu %31,2 pay ile eski Sovyetler Birliği Ülkeleri izlemektedir (URL-1 2013).

**Nükleer Enerji:** Yenilenemez enerji kaynakları içerisinde bulunan bir başka enerji kaynağı da nükleer enerjidir. Nükleer enerji, atom çekirdeğinin reaktörde denetimli bir biçimde bölünmesi ile ortaya çıkan enerjidir. 1986 yılında meydana gelen Chernobyl Nükleer Reaktör kazasına kadar hızla gelişen endüstri, bu kazadan sonra büyük bir duraklama devrine girmiştir. Buna rağmen, bugün, nükleer santrallerin ürettiği elektrik enerjisi, üretilen toplam elektrik enerjisi içerisinde büyük bir yer kaplar. Nükleer santraller, dünya elektrik üretiminin %14'ünü karşılamaktadır. Ocak 2010 yılı itibariyle 30 ülkede toplam 439 nükleer santral faaliyette bulunmaktadır. Türkiye'nin de yer aldığı 27 ülke ise toplam 142 adet nükleer elektrik santrali kurmayı planlamaktadır (URL-1 2013).

## 2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Dünyada fosil yakıtların tükenmekte olması, çevreye verdiği zararlar ve enerjide dışa bağımlılığın nedeni olarak enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına rağbeti artırmıştır. Ülkeler, kendi kaynaklarını kullanabildiği ve çevre kirliliğini azaltan güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, biokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Son yıllarda, Türkiye'de de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden ve düzenleyen yasalar çıkarılmış, bu konuda önemli yatırımlar yapılmıştır (TKBY 2010).

Bugünkü enerji kullanım biçiminin devam etmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit gazı miktarı, 2030 yılında ikiye katlanarak; atmosfer sıcaklığının, deniz seviyesinin ise yaklaşık 18 cm artmasına neden olacaktır. Bu da, yiyecek sıkıntısının doğması ve kıyılarda yaşayan binlerce insanın göç etmesi anlamına gelmektedir. İşte bütün bu sorunlar, çevre dostu yenilenebilir enerjinin önünü açmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin oluşumuna etki eden ana kaynağına göre, güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi üç ana grupta incelenebilir (Özdamar 2000). Çizelge 2.1 incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynakları ihtiyacının tamamına yakınının Güneş'ten karşılandığı görülmektedir. Güneş enerjisi ana kaynağının bulunmadığı yer olmadığı için acil enerji

taleplerinin karşılanması açısından küçük ölçekli hibrit enerji santrallerinin enerji ihtiyaç bölgelerinde rahatlıkla kurulabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 2.1 Tükenebilirliğine göre enerji türleri ve kaynakları (Özdamar 2000).

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI				
ANA KAYNAK	Birincil enerji kaynakları	Doğal enerji kaynakları	Teknik enerji dönüşümü	Kullanım enerjisi
GÜNEŞ	Su	Buharlaştırma yağış	Su güç tesisi	Elektrik enerjisi
	Rüzgar	Atmosferdeki hava hareketi	Rüzgar enerjisi tesisi	Elektrik ve mekanik enerjisi
		Dalga hareketi	Dalga enerjisi tesisi	Elektrik ve mekanik enerjisi
	Güneş ışınları	Yer ve atmosferin ısınması	Isı pompaları	Isı enerjisi
		Güneş ışınları	Kollektör güneş pilleri	Isı ve elektrik enerjisi
	Biyomas	Biyomas üretimi	Isı güç tesisleri	Isı ve elektrik enerjisi
			Dönüşüm tesisleri	Yakıt enerjisi
DÜNYA	Yer merkezi ısı	Jeotermal enerji	Jeotermal güç tesisleri	Isı ve elektrik enerjisi
AY	Ay çekim gücü	Gel-git olayı	Gel-git güç tesisleri	Elektrik enerjisi

**Hidrolik Enerji:** Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamak ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Hidrolik potansiyel, yağış rejimine bağlıdır. Hidroelektrik santralleri (HES); çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır. Türkiye'de teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyeli 140 Milyar kWh/Yıl'tır (Akpınar vd. 2008).

**Jeotermal Enerji:** Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20<sup>0</sup>C 'den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar

olarak tanımlanabilir. Yerkabuğunun derinliğine inildikçe 1 km'de sıcaklık yaklaşık 25 °C artar. Eğer yeryüzü sıcaklığı 20 °C ise derinliğe doğru 3 km gidilirse sıcaklık yaklaşık 95 °C olacaktır. Jeotermal enerji 35 °C'den daha düşük sıcaklıkta direkt olarak kullanılabilir (Hammons 2003).

Jeotermal ısıtma sistemlerinden oldukça ucuzdur. Jeotermal ısıtma ve soğutma sistemleri 1980'li yıllardan sonra ısı pompalarının kullanılması ile artış göstermiştir. Türkiye'de durum, kanıtlanmış olarak jeotermal elektrik teknik potansiyeli 500MW civarındadır (Apaydın vd. 2009).

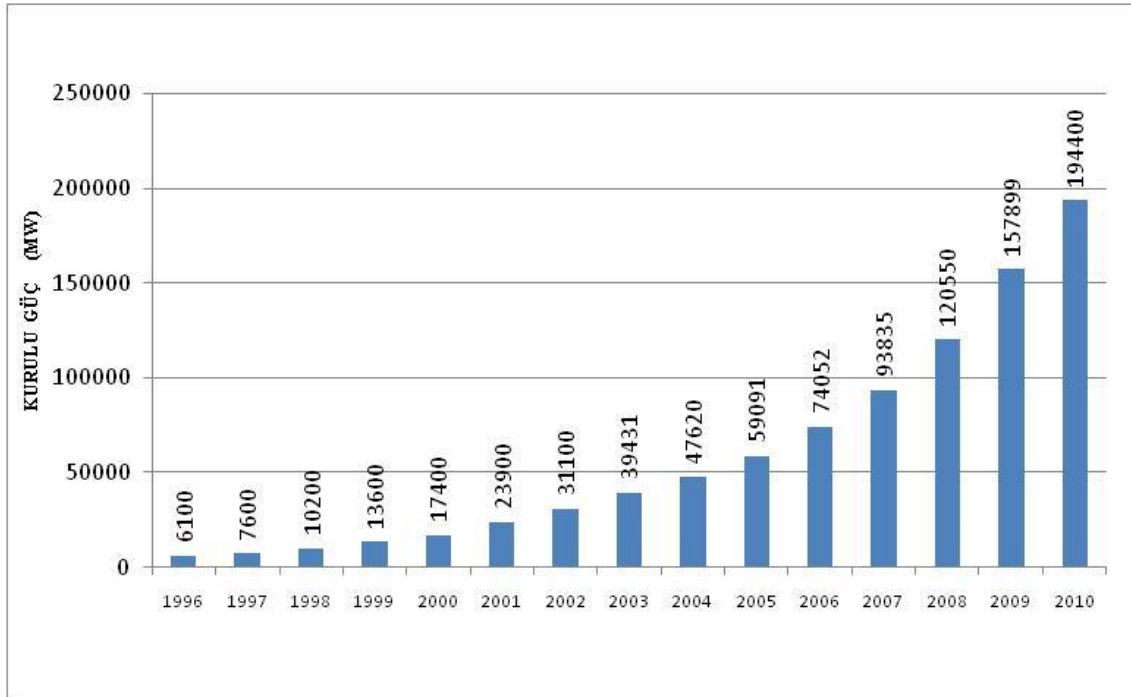
**Biyomas Enerji:** Biyokütle kaynakları, çok çeşitli orman ve tarımsal kaynakları, bunların atık ile türevlerini, kentsel ve endüstriyel biyoatıkları kapsamaktadır. Katı, sıvı veya gaz formundaki biyoyakıtlar doğrudan fosilyakıtları ikame etme potansiyeli taşıyan yegane yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Apaydın vd. 2009).

**Dalga ve Gel-Git Enerjisi:** Denizlerdeki ve okyanuslardaki faydalanılabilir enerji; dalga ve gel-git enerjisidir. Gel-git enerjisi ayın çekim kuvveti ile denizlerin yükselip alçalmasından oluşan seviye farklarını, termal enerji değişimi deniz suyunda oluşan sıcaklık farklarını, dalga enerjisi de deniz üstünde esen rüzgarların meydana getirdiği dalgalar arası farkları ifade etmektedir. Dünyamızın ¾'nün denizlerle kaplı olduğu düşünülürse ciddi bir potansiyelinin oluşacağı öngörülmektedir. Bu enerji yenilenebilir ve temiz bir enerji olup, son yıllarda özellikle ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Japonya, İngiltere ve Norveç kıyılarında çokça kullanılmaktadır. Gel-git santralleri; dalga olayının çokça meydana geldiği kıyılara kurulur ve çift taraflı çalışan türbinler yardımıyla elektrik eldesi prensibiyle çalışmaktadırlar. Rüzgar hareketleriyle oluşan deniz dalgaları, diğer nedenlerle oluşan dalgalardan daha süreklidir. Dalga enerjisi santralleri ise, kıyılara ve açık denizlere kurulabilir. Bu sistemler deniz tabanına yerleştirileceği gibi su yüzeyine de yüzer olarak kurulabilir. Dünyada kurulu sistemlerde, küçük sistemler için birim dalga cephesi başına güç 10-20 kW/m olurken geliştirilmiş sistemlerde güç 40 kW/m gibi bir değere çıkmaktadır (URL-1 2013).

**Rüzgar Enerjisi:** Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerjilerin kullanımı, ülkelerin geleceği için önemi büyüktür. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi ile ilgili çalışmalar hızlanmış ve büyük yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Rüzgar türbinleri, rüzgardan elde ettikleri kinetik enerjiyi, elektrik enerjisine çevirirler.



Modern rüzgar türbinleri 2–3 kanatlıdır. Kanat çapları 1 metreden 30 metreye kadar değişebilir. Bir rüzgar türbininden elde edilen enerji, o bölgedeki rüzgar hızının küpü ve kanat uzunluklarının karesi ile doğru orantılıdır. Rüzgar hızı, yükseklikle arttığı için rüzgar türbini ne kadar yükseğe takılırsa, o kadar çok verim alınır. En çok kullanılan rüzgar türbini kuleleri, 6 m ile 50 m arasında değişmektedir. Bakım maliyetleri sıfıra yakındır. Şu anki teknoloji ile üretilen rüzgar türbinlerinin ömrü, minimum 50 yıldır. Günümüzde 250 – 500 W'lık akü dolduran, çatı üzeri monte edilebilen sistemler olduğu gibi 1,5 MW'lık (megawatt) bir kasabanın elektriğini sağlayacak sistemlerde vardır (URL-1 2013).



Şekil 2.1 Küresel rüzgar enerjinin gelişimi (URL-1 2013).

1996'dan beri mevcut rüzgar kurulu gücü Şekil 2.1'de görüldüğü üzere sürekli olarak ciddi artış göstermektedir. 2010 yılında 36.501 MW gücünde rüzgar enerjisi santralinin (RES) devreye alınmasıyla küresel rüzgar enerjisi kurulu gücü 194.400 MW'a yükselmiştir. 2009 ve 2010 yılında devreye alınan rüzgar gücü 1996'dan bu yana devreye alınan en büyük güçtür. 2010 yılı itibariyle global rüzgar enerjisi pazarında %31'lik büyüme görülmüştür. Dünyada finansal krizin pek çok sektörü etkilediği bu dönemde global rüzgar enerjisi pazarındaki bu büyüme dikkat çekicidir (URL-1 2013).

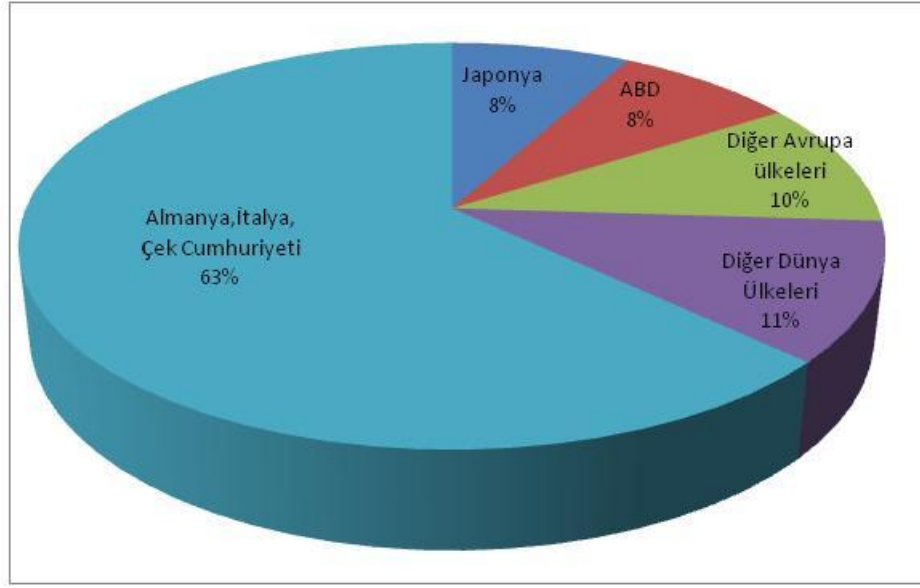
2009 yılında en büyük kurulu güç 13.000 MW ile Çin'de olmuş ve Çin'deki rüzgar enerjisi kurulu gücü %107'lik önemli bir büyüme sergilemiştir. Çin'i sırasıyla, 9.922 MW ile ABD, 2.459 MW ile İspanya, 1.917 MW ile Almanya, 1.271 MW ile Hindistan izlemiştir. 2009 yılı sonu itibariyle dünyadaki en büyük rüzgar kurulu gücü 35.159 MW ile ABD'de bulunmaktadır. ABD'yi sırasıyla 25.777 MW ile Almanya ve 25.104 MW ile Çin takip etmektedir. Çizelge 2.2'de 2009 yılı verilerine göre küresel rüzgar enerji kurulu güç durumları, 2009 yılındaki artış miktarı ve değişim yüzdeleri görülmektedir (URL-1 2013).

Çizelge 2.2 Ülkelerin rüzgar enerjisi kurulu gücü ve artış değerleri (URL-1 2013).

ÜLKELER	KURULU GÜÇ(MW)	ÜLKELER	ARTIŞ DEĞERİ(MW)	DEĞİŞİM YÜZDESİ(%)
ABD	35.159	ABD	9.922	39,32%
ALMANYA	25.777	ALMANYA	1.917	8,03%
ÇİN	25.104	ÇİN	13.000	107,40%
İSPANYA	19.149	İSPANYA	2.459	14,73%
HİNDİSTAN	10.926	HİNDİSTAN	1.271	13,16%
İTALYA	4.850	İTALYA	1.114	29,82%
FRANSA	4.492	FRANSA	1.088	31,96%
İNGİLTERE	4.051	İNGİLTERE	1.077	36,21%
PORTEKİZ	3.535	PORTEKİZ	673	23,52%
DANİMARKA	3.465	DANİMARKA	950	37,77%
TÜRKİYE	792	TÜRKİYE	428	85%
DİĞER ÜLKELER	21.391	DİĞER ÜLKELER	3.994	22,96%
<b>TOPLAM</b>	<b>158.691</b>	<b>TOPLAM</b>	<b>26.054</b>	<b>19,37%</b>

**Güneş Enerjisi:** Günümüz koşullarında yoğun bir şekilde kullanıldığından, birincil enerji kaynaklarının giderek azalması ve diğer enerji kaynaklarının üretim, taşınım sorunu olması, bu sorunları taşımayan temiz ve sonsuz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim gösterir. Güneşin Dünya'ya ışınım yolu ile aktardığı güç 178.000 TW (Terawatt)'dir. Ancak, bu gücün 62.000 TW'lik bölümü dünya yüzeyinden yansımakta, 76 000 TW'lık bölümü ise, dünya'dan uzaya yayılmaktadır. Güneş enerjisi, kollektörler ve ısı pompaları yardımıyla ısı enerjisine, güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür

(URL-12 2013). Küresel güneş pili (PV) pazarı, 2009 yılında 7,2 GW (Gigawatt) kurulu güç artış ile dünya çapında 22 GW kurulu güce ulaşmıştır. Bu, şimdiye kadar yapılan en önemli yıllık kapasite artışıdır ve bir önceki yılın zor finansal ve ekonomik şartlarına rağmen oldukça etkileyici bir orandır. Avrupa’da 2009 yılında 4.000 MW kurulu güç gerçekleştirilmiş olup 2010 yılı sonunda toplam 18.000 MW kapasiteye ulaşması beklenmektedir. 2010 yılında yıllık artışın %15, küresel toplam kurulu güneş pili kapasitesinin %40 olması beklenmektedir. 2009 yılında dünyadaki güneş pili pazarının dağılımı Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Güneş pili pazarının 2009 yılındaki dağılımı (URL-1 2013).

Şekil 2.2 incelendiğinde güneş pili pazarında en büyük paya sahip ülkelerin Almaya, İtalya ve Çek Cumhuriyeti olduğu, bunları sırasıyla Japonya ve ABD takip etmektedir. Ülkelerin yatırım programları dikkate alındığında 2010 yılında Almanya en büyük pazar olacak ve Güney Avrupa, ABD ve Asya’da da yeni pazarlar önemli ölçüde büyüyecektir. Güneş pili pazarı en olumsuz senaryoya göre bile 2014 yılına kadar 2,5 kat büyüyecektir. Uluslararası Enerji Ajansının yol haritasına göre; 2050 yılına kadar güneş enerjisinin, küresel elektrik üretiminin %20 ile %25’ini oluşturması ön görülmektedir (URL-1 2013).

### 2.3 TÜRKİYE’DEKİ ENERJİ DURUMU

Türkiye, her çeşit enerji kaynağına sahip bir ülkedir. Ülkemizin en temel enerji kaynakları doğalgaz, güneş enerjisi, hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerji, linyit, petrol, rüzgar enerjisi

ve taşkömürüdür. Ancak hidrolik ve kömür dışındaki diğer kaynaklar ülkenin ihtiyacını karşılayacak düzeyde değildir. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından da ülkemiz önemli bir coğrafya üzerinde bulunmaktadır. Büyüme oranlarına bakıldığında Türkiye'nin enerji ihtiyacının hızlı bir şekilde artacağı öngörülmektedir. Bu büyümeye rağmen enerji kaynakları alanının sınırlı olması, Türkiye'yi enerjiyi ithal eden ülke konumuna düşürmektedir. 2011 yılında 229.395 GWh brüt elektrik üretimi yapılan ülkemizde toplam tüketim ise net 230.306 GWh olmuştur. 2011 yılı itibariyle elektrik enerjisi ihracatımız ise 3.645 GWh olmuştur. Ülkemizde elektrik enerjisi üretmek için dış ülkelere temin edilen enerji kaynaklarının yanında dış ülkelere elektrik enerjisi de satın alınmaktadır (URL-11 2013).

Ülke ihtiyacının %60'tan fazlasının ithal edildiği ve her yıl bu payın arttığı görülmektedir. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında, bölgesel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmalıdır. 2012 yılı itibariyle ülkemizde kurulu güç 57.794 MW'dır (URL-11 2013).

Çizelge 2.3 Türkiye'nin birincil enerji kaynakları üretimi (URL-12013).

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (Bin TEP)	LİNYİT (Bin TEP)	ASFALTİT (Bin TEP)	PETROL (Bin TEP)	DOĞALGAZ (Bin TEP)	HİDROLİK ve JEOTERMAL ELEKTRİK (Bin TEP)	JEOTERMAL ISI (Bin TEP)	RÜZGAR (Bin TEP)	GÜNEŞ (Bin TEP)	ODUN (Bin TEP)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (Bin TEP)	BİYO YAKIT (Bin TEP)	TOPLAM (Bin TEP)
2001	1.521	6.553	13	2.551	284	20.726	687	5	287	4.879	1.332		38.835
2002	1.415	5.683	2	2.442	344	29.059	730	6	318	4.684	1.290		45.972
2003	1.259	5.078	144	2.375	511	30.460	784	4	350	4.497	1.251		171.054
2004	1.187	4.808	310	2.276	644	39.712	811	5	375	4.318	1.214		55.661
2005	1.324	6.348	382	2.281	816	34.103	926	5	385	4.146	1.179		51.895
2006	1.415	6.763	194	2.176	825	38.131	898	11	403	4.023	1.146	0	55.987
2007	1.502	7.933	336	2.134	813	30.966	914	32	420	3.880	1.116	3	50.048
2008	1.587	8.379	271	2.160	925	28.752	1.011	76	420	3.679	1.123	5	48.387
2009	1.746	8.313	455	2.237	623	31.300	1.250	135	429	3.530	1.118	2	51.139
2010	1.540	7.667	506	2.544	621	45.119	1.391	262	432	3.392	1.141	3	64.617

Çizelge 2.3 incelendiğinde ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özellikle rüzgar enerjisinin her yıl arttığı görülmektedir. Türkiye'nin enerji politikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca; enerjinin, ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkileri de göz önünde tutularak tüketiciye sağlanması şeklinde tanımlanmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2009 yılı birincil enerji kaynak rezervleri; taş kömürü 1.334.615 bin ton, linyit 11.445 milyon ton, asfaltit 76.977 bin ton, ham petrol 42 milyon ton, doğalgaz 7 milyar metreküp kadar kaldığı ön görülmüştür (ETKB 2010). Ülkemizde 2009 yılı itibariyle birincil enerji kaynaklarının üretim ve tüketim değerleri ETKB'den alınarak TEP birimine çevrilerek Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de verilmektedir.

Çizelge 2.4 Birincil enerji kaynakları tüketimi (ETKB 2010).

YILLAR	TAKÖMÜRÜ (Bin TEP)	LİNYİT (Bin TEP)	ASFALTİT (Bin TEP)	PETROL (Bin TEP)	DOĞALGAZ (Bin TEP)	HİDROLİK ve JEOTERMAL ELEKTRİK(Bin TEP)	JEOTERMAL İSİ (Bin TEP)	RÜZGAR (Bin TEP)	GÜNEŞ (Bin TEP)	ODUN (Bin TEP)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (Bin TEP)	BİO YAKIT (Bin TEP)	TOPLAM (Bin TEP)
2001	6.817	6.711	13	29.661	14.868	20.726	687	5	287	4.879	1.332		90.133
2002	8.436	5.724	2	29.776	16.102	29.059	730	4	318	4.684	1.290		99.278
2003	10.696	5.066	144	30.669	19.450	30.460	784	5	350	4.497	1.251		103.944
2004	11.531	4.931	310	31.729	20.426	39.712	811	5	375	4.318	1.214		114.682
2005	11.847	6.223	317	31.062	24.726	34.103	926	5	385	4.146	1.179		113.757
2006	13.907	6.620	259	31.395	28.380	38.131	898	11	403	4.023	1.146	0	123.511
2007	15.487	7.955	272	32.143	33.381	30.966	914	31	420	3.880	1.116	3	125.007
2008	13.859	8.276	271	30.877	33.604	28.752	1.011	73	420	3.679	1.123	4	121.616
2009	14.456	8.321	434	29.845	32.578	31.300	1.250	129	429	3.530	1.118	2	122.657
2010	15.596	7.616	450	28.359	34.697	45.119	1.391	251	432	3.392	1.141	3	137.674

Çizelge 2.3 ve 2.4 incelendiğinde enerji üretiminde gözle görülür bir artış olmamasına rağmen enerji tüketimi yıllara göre artış göstermiştir. Ülkemiz 2009 yılında birincil enerji kaynaklarından 51.139 bin tep enerji üretmiş, 122.657 bin tep değerinde enerji tüketmiştir. Enerji tüketimi ile üretimi arasındaki yaklaşık 71 bin tep'lik fark, karşılayamadığımız enerji miktarını aynı zamanda dışarıya bağımlılığımızın oranını göstermektedir.

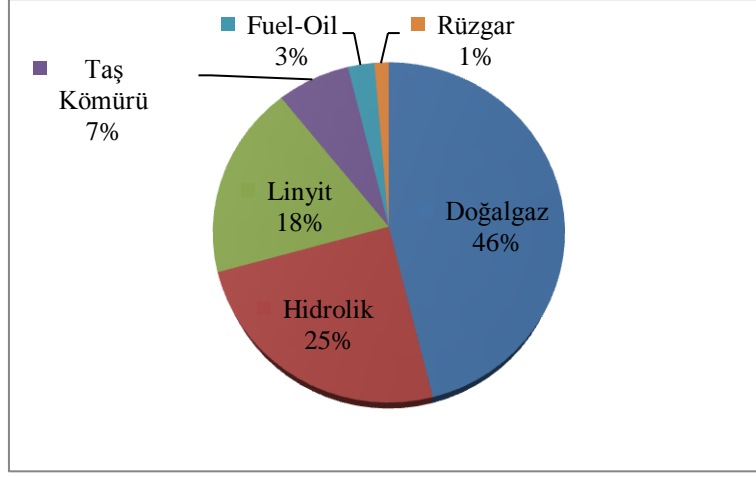
2000'li yıllardan itibaren rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimindeki artış dikkatleri çekmektedir. Yıllara göre artan enerji talebinin büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtlarının tükenerek olmasına karşın, enerji talebinin artış göstereceği gerçeği karşısında rüzgar ve güneş enerji kaynaklarının öneminin artacağı görülmektedir.

Türkiye'nin elektrik üretimi ve tüketimi gelişmekte olan ülkeler sınıfında değerlendirilmektedir. 31 Ağustos 2012 tarihi itibari ile Türkiye toplam elektrik kurulu gücü 57.059 MW'a ulaşmıştır. Bu toplam içinde, termik yakıtlı santrallerinin payı % 63 (34.656 MW) ve yenilenebilir yakıtlı santrallerinin payı % 37 (20.724 MW)'dır (URL-9 2013).

Çizelge 2.5 Türkiye, kurulu güç ve yıllar itibariyle gelişimi (ETKB 2010).

KURULU GÜÇ (MW)					ÜRETİM (GWh)			
YIL	TERMİK	HİDROLİK	JEO+ RÜZGAR	TOPLAM	TERMİK	HİDROLİK	JEO+ RÜZGAR	TOPLAM
2003	22.974	12.579	34	35.587	105.101	35.330	150	140.581
2004	24.145	12.645	34	36.824	104.464	46.084	151	150.699
2005	25.902	12.906	35	38.843	122.242	39.560	153	161.955
2006	27.420	13.062	81	40.563	131.835	44.244	220	176.299
2007	27.271	13.394	169	40.834	155.196	35.850	511	191.557
2008	27.595	13.829	393	41.817	164.140	33.270	1.009	198.419
2009	29.339	14.553	869	44.761	156.923	35.958	1.931	194.812
2010	31.706	15.525	1.266	48.497	158.706	51.511	3.255	213.472

Çizelge 2.5'de Türkiye'de kurulu güç ve üretimleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. 2010 yılında, 213,5 milyar kWh elektrik enerjisi üretimi, 1,6 milyar kWh ithalat, 2,7 milyar kWh ihracat yapılmış ve 212,4 milyar kWh olan ülke tüketimi talebi karşılanmıştır. Buna göre, kişi başına düşen brüt tüketim 2,871 kWh olmuştur. Aynı yıl Türkiye elektrik enerjisi üretiminin %65,3'lük kısmı termik santrallerden, %32,1'lik kısmı hidroelektrik santrallerden sağlanmış olup, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santrallerin toplam üretime katkısı %2,6 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye de elektrik enerji üretmek için yararlanılan kaynakların kullanım oranları Şekil 2.3'de verilmiştir (ETKB 2010).



Şekil 2.3 Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları (ETKB 2010).

Şekil 2.3’e göre 2010 yılında gerçekleştirilen elektrik enerjisi üretiminin %45,9’si doğal gazdan, %18,4’ü linyit, %24,5’i hidrolik, %6,92’ü taş kömürü, %2,5’si fuel-oil, %1,35’i rüzgar, %0,47 jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır (ETKB 2010).

Çizelge 2.6 Türkiye elektrik enerjisi brüt-net üretimi, ithalat, ihracat ve iletim kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi (URL-11 2013).

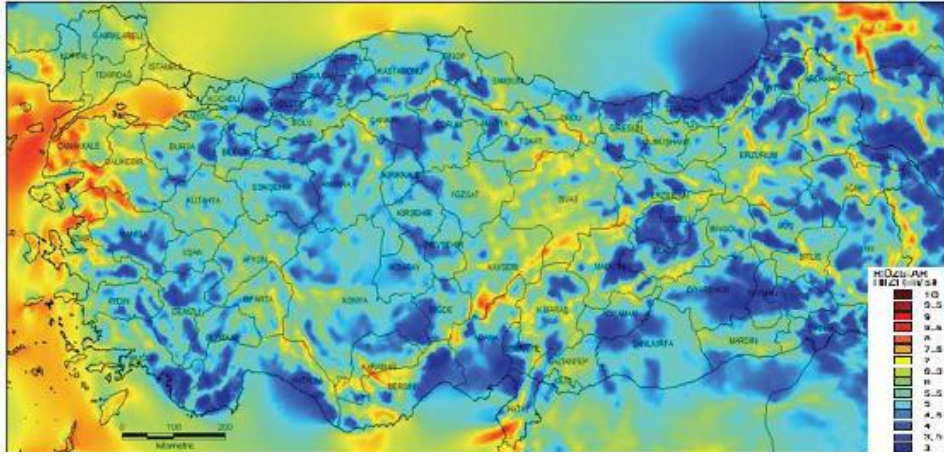
YILLAR	BRÜT ÜRETİM(GWh)	İÇ İHTİYAÇ(GWh)	NET ÜRETİM(GWh)	İTHALAT(GWh)	BRÜT TÜKETİM(GWh)	İLETİM KAYBI	İHRACAT (GWh)
2007	191.558	8.218	183.339	864	184.204	4.523	2.422
2008	198.418	8.656	189.761	789	190.551	4.388	1.122
2009	194.813	8.193	186.619	812	187.431	3.973	1.545
2010	211.207	8.161	203.046	1.143	204.189	5.690	1.917
2011	229.395	11.837	217.557	4.555	222.113	4.189	3.644

Çizelge 2.6 incelendiğinde tüketim miktarı kadar elektrik enerjisi üretilmediği, talebin karşılanması için enerji ithalatının sürekli arttığı görülmektedir.

### 2.3.1 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu

Rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından ülkemiz çok iyi bir coğrafi konum üzerinde bulunmaktadır. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgar

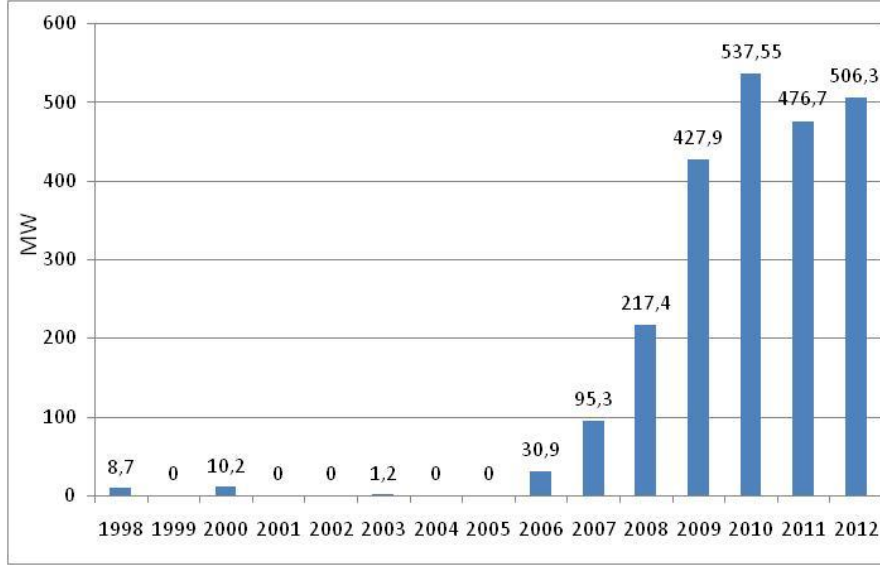
kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla EİE (Elektrik işleri etüd idaresi) tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasla verilen detaylı rüzgar kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgar enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgar kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlardaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgar hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgar hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgar gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Şekil 2.4'de 50m yükseklik değeri için Türkiye rüzgar haritası verilmiştir.



Şekil 2.4 Türkiye rüzgar atlası (50m yükseklik için) (URL-2 2013).

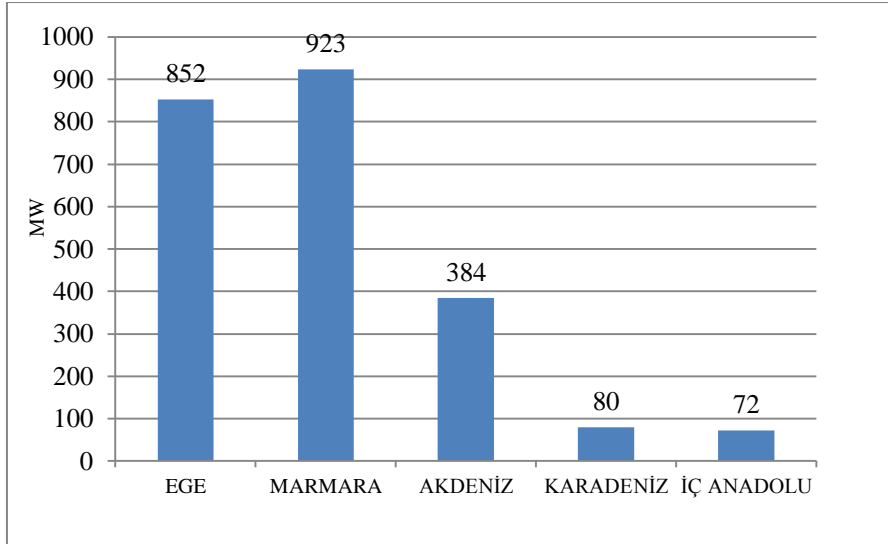
Türkiye rüzgar atlası (REPA)'da 50m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. REPA verilerine göre 7 m/s'den büyük rüzgar hızları göz önüne alındığında Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 47.849,44 MW olarak belirlenmiştir. Ülkemizde 2004 yılı itibariyle sadece 18 MW düzeyinde olan rüzgar enerjisi kurulu gücünün artırılmasında ciddi aşama kaydedilmiştir. 2012 yılı sonu itibariyle rüzgar kurulu gücümüz 2312 MWdüzeyineulaşmıştır. Ülkemizde rüzgar enerjisi kurulu güçlerinin yıllara göre dağılımı Şekil 2.5'de verilmiştir.2006 yılından sonra rüzgar enerjisi santrallerinin kurulmasının arttığı görülmektedir. Bunun en büyük nedeni ise rüzgar santrali yatırımlarının bir kısmının devlet tarafından finanse edilmesi ve üretilen enerjinin alımına garanti verilmesidir (URL-2 2013).





Şekil 2.5 İşletmedeki rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç olarak yıllara dağılımı (URL-2 2013).

Ülkemizde kurulu olan RES'lerin bölgelere göre dağılımı Şekil 2.6'daki grafikte gösterilmektedir. Şekil 2.6 incelendiğinde Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinin rüzgardan elektrik enerjisi üretimi için çok uygun olduğu görülmektedir. Diğer bölgeler için hibrit santrallerin önem kazandığı tahmin edilmektedir.



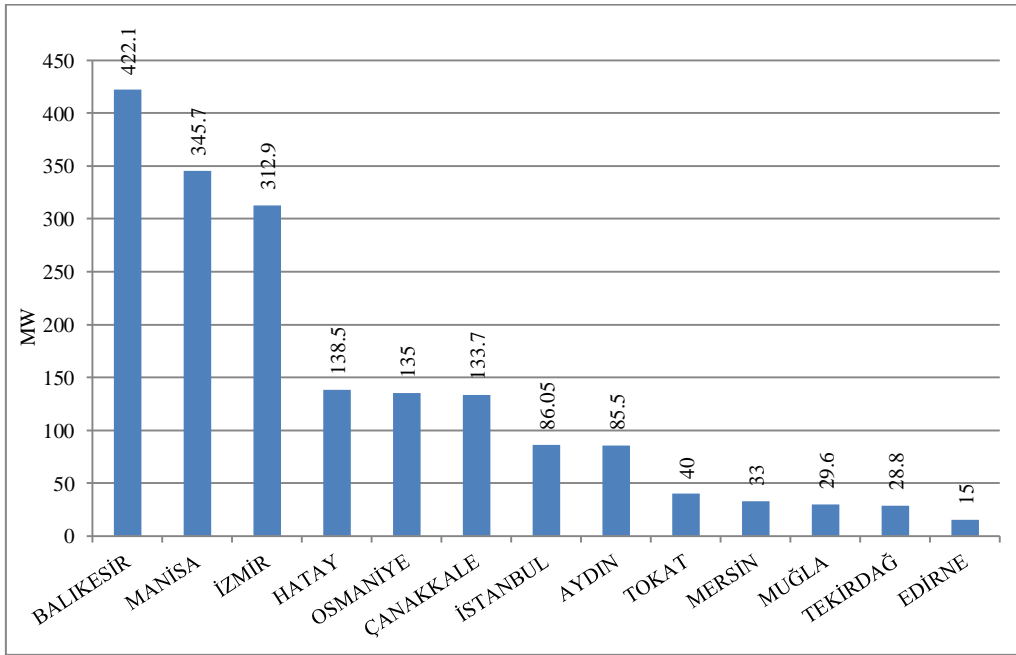
Şekil 2.6 Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç olarak bölgelere dağılımı (URL-10 2013).

Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun yürürlüğe girmesinden sonra 3.363 MW kurulu güç kapasitesinde 93 adet yeni rüzgar projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden yaklaşık 1.100 MW kurulu gücündeki santrallerin yapımı devam etmektedir.

Türkiye’de elektrik üretimi yapılan rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç olarak illere göre dağılımı Şekil 2.7’de verilmektedir. Rüzgar santrali kurulumunun Ege, Marmara ve kısmen Akdeniz bölgesi illerinde ağırlık kazandığı görülmektedir. Ege bölgesinde İzmir, Manisa ve Balıkesir, Marmara bölgesinde Çanakkale ve İstanbul, Akdeniz bölgesinde Hatay ve Osmaniye illeri Rüzgar türbini kurulumunda öne çıkan illerimizdir (URL–2 2013).

Zonguldak iline ait rüzgar enerjisi bilgileri içeren Şekil 2.8’de gri renkli olan alanlara santral kurulması uygun değildir. Bu alanlar dere, nehir veya göl kenarları, doğal yaşam alanları, insan yaşamını tehlikeye düşürecek emniyet mesafeleri veya arazinin eğiminin fazla olduğu yerlerdir.

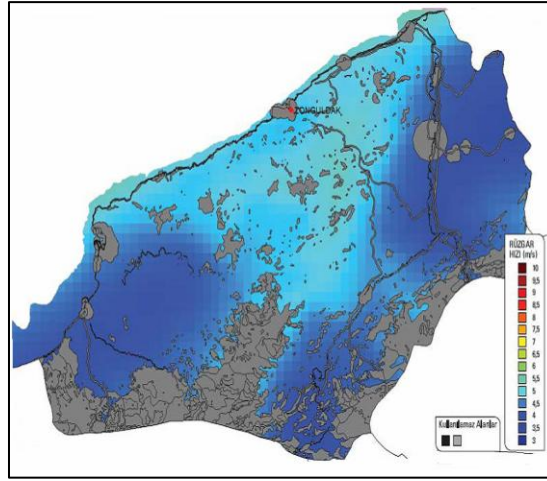
Ekonomik rüzgar enerji santrali yatırımı için 7 m/s ve üzeri rüzgar hızı gerekmektedir. Zonguldak iline ait Şekil 2.8 incelendiğinde rüzgar hızının 7 m/s ve üzerinde olduğu yerlerin çok az olduğu görülmektedir. Bu nedenle küçük ölçekli hibrit enerji santrallerinin Zonguldak ili için daha verimli olduğu düşüncesi önem kazanmaktadır.



Şekil 2.7 Rüzgar enerji santrallerinin illere göre dağılımı (URL-10 2013).

### 2.3.1.1 Zonguldak İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Zonguldak iline ait rüzgar enerjisi bilgileri Şekil 2.8’de verilmektedir.



Şekil 2.8 Zonguldak ili rüzgar enerjisi verileri (URL-5 2013).

Bülent Ecevit Üniversitesinde bulunan küçük ölçekli hibrit enerji santraline ait ölçüm sisteminden alınan ve bölüm 6.2’de gösterilen veriler değerlendirildiğinde, rüzgar hızının enerji üretimi için gerekli olan hızlarda sabit kalmayıp anlık olarak yüksek hızlara ulaşması nedeniyle enerji sürekliliği bakımından hibrit santral kurulmasının gerekliliğini doğrulamaktadır.

### 2.3.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu

Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeline yönelik ilk çalışma 1970 yılında, bilimsel bir araştırma kapsamında yapılmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE (Elektrik İşleri etüd idaresi) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi günlük toplam 7,2 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’nin günlük ve aylık güneşlenme değerleri, güneş enerjisi kullanan pek çok ülkenin değerlerinden yüksektir (URL-3 2013). Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli 80 MTEP’dir (Milyon ton eşdeğer petrol).

Çizelge 2.7 Ülkemizin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (URL-3 2013).

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
	kcal/ cm <sup>2</sup> -ay	kWh/m <sup>2</sup> -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
MAYIS	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
EKİM	7,73	89,90	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311,16	2640
ORTALAMA	308 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Türkiye’de aylık olarak güneşlenmeye ve güneş potansiyeline ait değerler Çizelge 2.7’de verilmiştir (URL-3 2013).

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi dönüşüm sistemleri için gerekli güneş panellerinin üretimleri henüz ülkemizde yapılamadığı için ve teknolojinin PV (güneş pili) panellerinde çok gelişmemesinden dolayı sistem maliyeti yüksek olmaktadır. Ancak reklâm panoları, sokak aydınlatmaları, trafik ikaz levhaları, tarlalarda su çıkarma amaçlı gibi pek çok uygulamada rahatlıkla kullanılmaktadır. Bu değerler ışığında ülkemizde güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin kullanımının artırılması hem ülke ekonomisi için hem de enerji kaynaklarının verimli tüketilmesi açısından büyük faydalar sağlayacaktır. Türkiye’nin enerji kaynakları yönünden dışa bağımlılığını azaltacaktır. Türkiye’nin coğrafi yapısına göre bölgelerdeki güneşlenme süreleri farklılık göstermektedir. Çizelge 2.8’de bölgelere göre güneş enerji durumları gösterilmektedir (URL-3 2013).

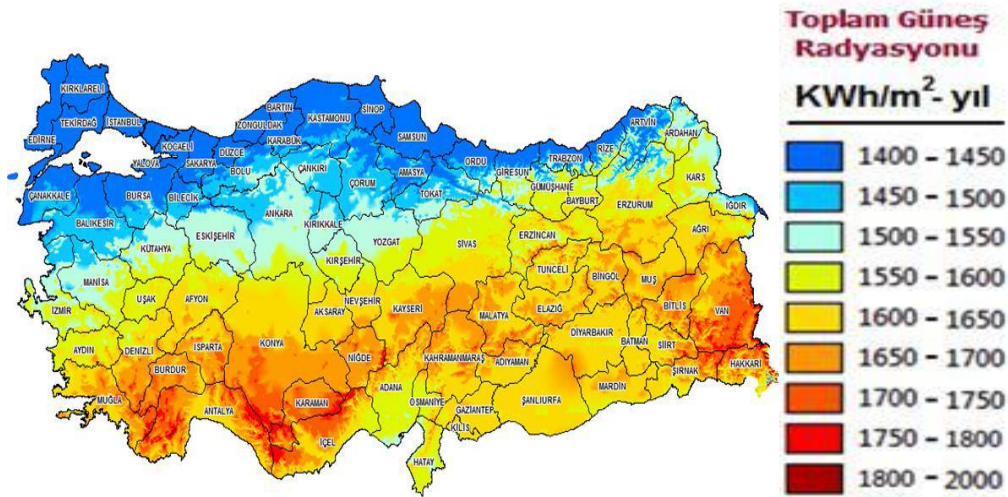
Çizelge 2.8 Ülkemiz güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (URL-3 2013).

BÖLGELER	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ kWh/m <sup>2</sup> -YIL	GÜNEŞLENME SÜRESİ Saat/yıl
G.DOĞU ANADOLU	1.460	2.993
AKDENİZ	1.390	2.956
DOĞU ANADOLU	1.365	2.664
İÇ ANADOLU	1.314	2.628
EGE	1.304	2.738
MARMARA	1.168	2.409
KARADENİZ	1.120	1.971

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) 2009 yılı verilerine göre doğal kaynaklarımız arasında güneş enerjisi 428 KTEP/Yıl (1 Tep = 1 ton eşdeğer petrol) olan miktarıyla çok önemli bir yer tutmaktadır (URL-1 2013).

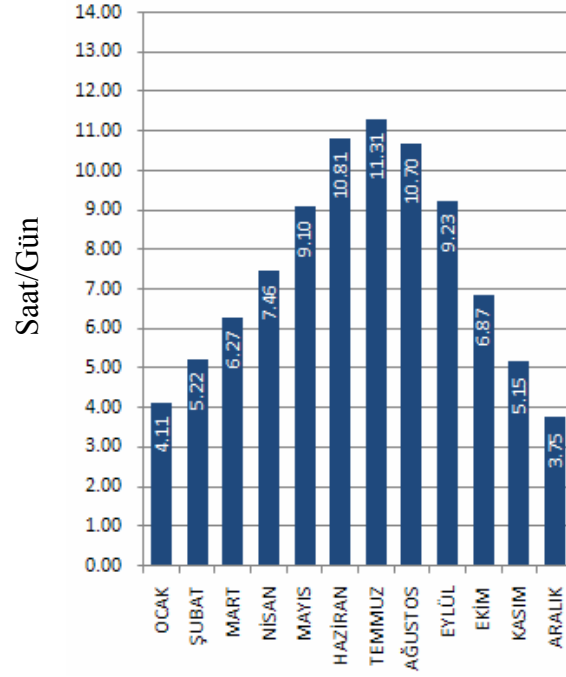
Türkiye günlük enerji potansiyeli 3,6 kWh /m<sup>2</sup>, yıllık enerji potansiyeli 1311 kWh /m<sup>2</sup>, günlük güneşlenme süresi 7,2 saat/gün' dür.

Şekil 2.9'da Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası verilmektedir. Burada Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelleri yüksektir.

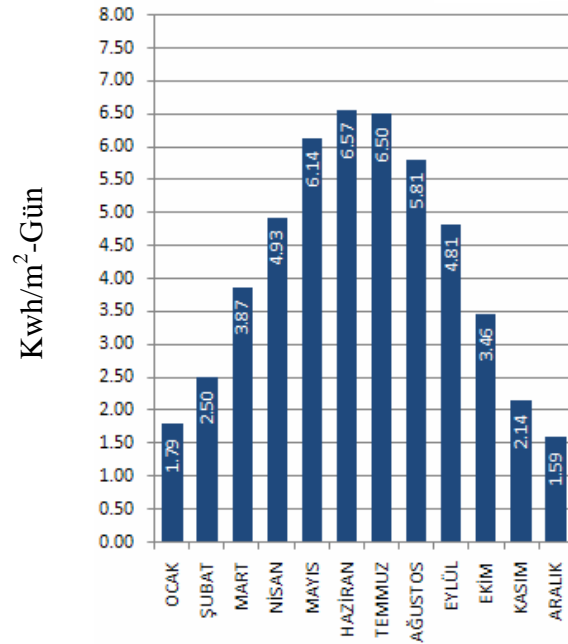


Şekil 2.9 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (URL-3 2013).

Şekil 2.10 ve 2.11 incelendiğinde ülkemizin güneş enerjisi bakımından mükemmel bir kaynağa sahip olduğu görülmektedir. Her ay güneş radyasyon değerinin olduğu görülmektedir. Ancak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise enerji üretimi için maksimum değerlerin yakalanabileceği görülmektedir.



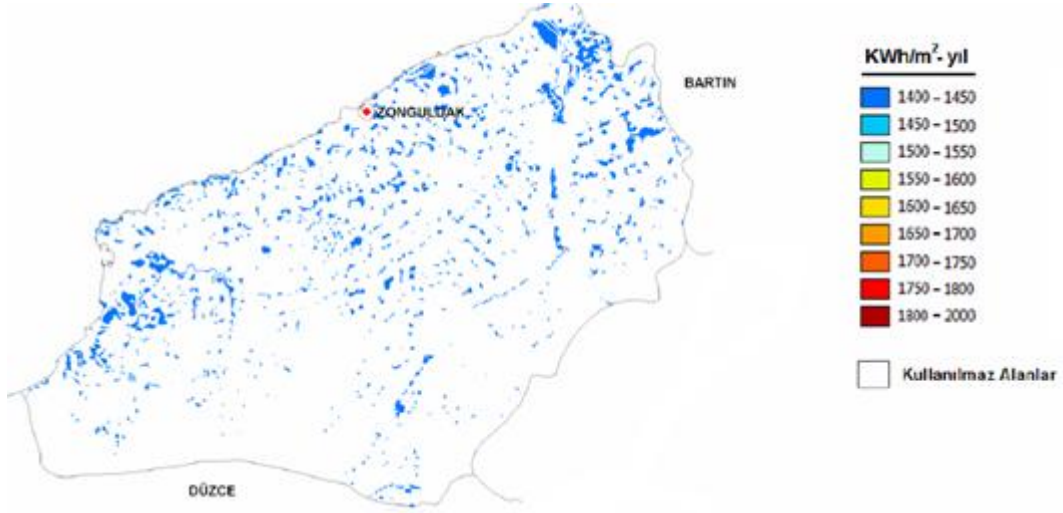
Şekil 2.10 Türkiye güneşlenme süresi değerleri (URL-3 2013).



Şekil 2.11 Türkiye global radyasyon değerleri (URL-3 2013).

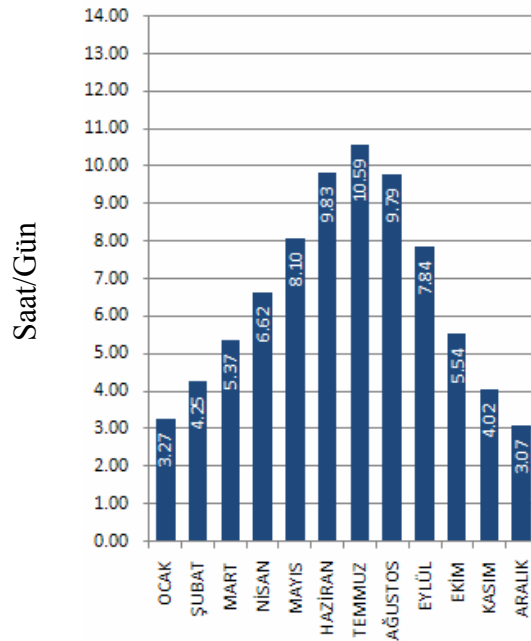
### 2.3.2.1 Zonguldak İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Doğu Karadeniz bölgesi illeri hariç Türkiye Güneş enerjisine sahip olma açısından çok iyi bir konumdadır. Şekil 2.12’de Zonguldak iline ait Güneş enerjisi verileri verilmektedir.

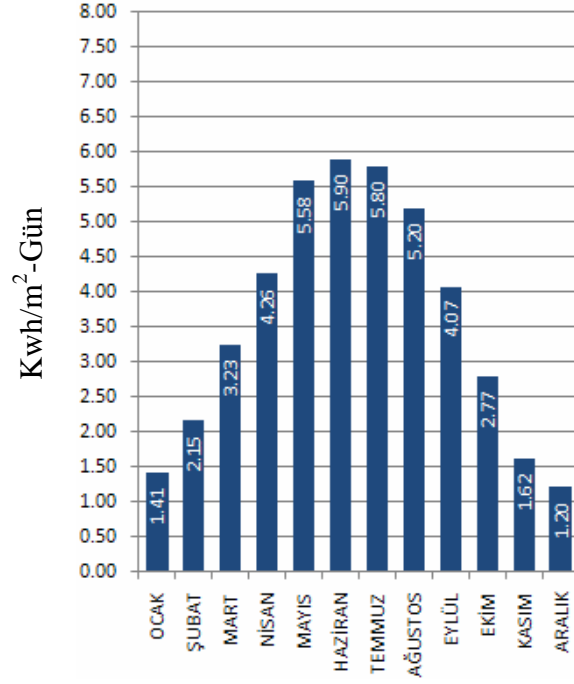


Şekil 2.12 Zonguldak iline ait güneş termik santrali kurulamayacak alanlar (URL-4 2013).

Şekil 2.13 ve 2.14, Şekil 2.10 ve 2.11 ile karşılaştırıldığında Zonguldak ilinin Türkiye güneş verileri ortalama değerlerine yakın kapasiteye sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.13 Zonguldak iline ait günlük güneşlenme süresi değerleri (URL-4 2013).



Şekil 2.14 Zonguldak ili güneş enerjisinden elektrik üretimi (URL-4 2013).

Zonguldak iline ait güneş enerjisi verileri incelendiğinde rüzgar enerjisine göre güneş potansiyelinin daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Her iki kaynağın tek başına yeterli olmaması hibrit santral gerekliliğini doğrulamaktadır.

## 2.4 HİBRİT ENERJİ SANTRALİ

Tükenmeyen enerji kaynağı olarak da bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarını da kapsayan tüm enerji kaynaklarında yaz ve kış ya da gece ve gündüzden dolayı bazı kesintiler gerçekleşmektedir. Bu kesintileri ortadan kaldırmak için birden fazla enerji kaynağı bir arada kullanılmaktadır. Böylece enerji kaynaklarının birleşiminden yararlanarak kesintisiz enerji elde etmek için literatür anlamı melez olarak bilinen hibrit enerji sistemleri günümüzde araştırmaları yapılan yaygın bir konudur.

Milattan önceki yıllarda Rüzgar enerjisinden yel değirmenleri vasıtası ile sulama, Güneş enerjisinden ise besin kurutma amacıyla istifade edildiği bilinmektedir. Ancak Rüzgar ve Güneş enerjisinden elektrik üretimi teknolojik gelişime bağlı olarak 20.yy'ın 2. yarısına dayanmaktadır. 1950'li yıllardan 1970'li yıllara kadar araştırma amaçlı olarak güneş enerjisinden elektrik üreten photovoltaik piller üretilse de güneş enerjisinden direk olarak



elektrik üretimi yarı iletken teknolojisinin gelişimine bağlı olarak 1970'li yılların başında uyduların enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaya başlamasıyla önem kazanmıştır. Ancak güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretimi bu enerji kaynaklarının süreklilik arz etmemesi, elektrik üretimindeki belirsizlik ve yüksek ilk yatırım maliyetleri gibi nedenlerle 1990'lı yıllara kadar sadece özel uygulamalar için söz konusu olmuştur. Yaşanan petrol krizleri ve çevre sorunlarının belirgin olarak kendini göstermeye başlaması nedeni ile 1990'lı yıllardan itibaren Rio Sözleşmesi ve Kyoto Protokolüne taraf olan ülkelerin uygulamaya başladıkları teşvik sistemleri ile güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretimini ticari olarak konvansiyonel elektrik üretim sistemlerine alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır (Patel 2006).

Agbossou ve diğerleri tarafından PV panellerinden ve küçük bir rüzgar türbininden oluşan talep fazlası enerjiyle yakıt pillerinde kullanılacak hidrojeni üretmek için elektrolizöre gönderen bir yenilenebilir enerji sistemi tanımlamıştır. Çalışmalarında, tasarım optimizasyonu için en iyi yöntemi bulacak deneysel testler ve kontrol stratejileri yapılmıştır, yakıt pillerinin sisteme entegrasyonu incelenmiştir. Böyle bir sistem uzak iletişim araçlarında uygun görülmüştür (Agbossou et al. 2001).

Bernal-Agustin ve diğerleri tarafından izole bir hibrit sisteme çok amaçlı Pareto Analizini uygulamışlar ve sistem konfigürasyonu için maliyet, emisyon optimizasyonunu yapmışlardır (Bernal-Agustin et al. 2005).

Bugün için yüzlerce MW'lık rüzgar ve güneş enerjisine dayalı elektrik santralleri yapılmaktadır. Rüzgar ve güneş çiftlikleri olarak da adlandırılan bu büyük santraller coğrafi potansiyele bağlı olarak genellikle yerleşim ve endüstri noktalarına uzak yerlerde kurulmakta ve iletim sistemine bir noktadan dahil olmaktadırlar. Söz konusu bu durum hat kayıplarını artırmakta ve meydana getirdikleri harmonik problemleri nedeni ile şebekeye bağlantı noktasında kapasite sınırlaması yaptırımına maruz kalmaktadır. Ancak potansiyel barındırır bile yerleşim merkezleri içerisinde büyük güçlü rüzgar ve güneş enerji santrallerin yapılması kapladıkları alan nedeni ile pratik gözükmemektedir (Patel 2006).

Bilindiği üzere enerjinin tüketildiği noktada üretilmesi hat kayıplarını azaltarak sistem verimini arttırmaktadır. İletim sistemi gereksinimini de ortadan kaldırdığından ilk yatırım maliyeti de azalmaktadır. Buna rağmen yerleşim merkezlerinden uzak bölgelerde bulunan

kırsal alanlardaki GSM istasyonları, köprü, tünel ve otoyolların aydınlatılması ve trafik sinyalizasyon sistemleri, orman yangın kuleleri, gözlem evleri, deniz fenerleri ve dağlık arazilerde bulunan kamp ve kampüs gibi küçük yerleşim birimlerinin enerji ihtiyaçları için iletim ve dağıtım şebekesi yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacın giderilmesi noktasında en uygun çözüm alternatifi olarak, rüzgar ve güneş gibi birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanıldığı hibrit (melez) enerji santrali olarak da adlandırılan elektrik üretim sistemlerini birlikte kullanan bölgesel yapıdaki santraller ön plana çıkmaktadır (Patel 2006).

Elektrikli araçların yaygınlaşmasına paralel olarak önümüzdeki yıllarda özellikle benzin istasyonlarında rüzgar ve güneş enerjisi ile çalışan akü şarj merkezlerinin hızla artması beklenmektedir. Söz konusu bu durum küçük güçlü rüzgar ve güneş enerjisine dayalı hibrit enerji santrallerinin önemini daha da arttıracaktır.

Bölüm 2’de verilen bilgiler ışığında ülkemiz hibrit enerji santralleri için uygun özelliklere sahiptir. Uzak bölgelere enerjiyi ulaştırma masrafları yerine bölgesel enerji kaynaklarının iyi analiz edilerek küçük ölçekli hibrit santral kurulabilirliğinin araştırılarak yatırımların yapılması çok daha yararlı olacaktır.

Hibrit enerji santrallerinde amaç en az iki veya daha fazla enerji kaynağını bir arada kullanarak enerji sürekliliğini sağlamaktır. Bu santrallerde enerji kaynakları;

- a) Rüzgar-Güneş
- b) Rüzgar-Dizel
- c) Dizel-Güneş
- d) Biyokütle-Dizel-Güneş
- e) Biyokütle-Dizel-Rüzgar

gibi değişik şekillerde olabilir. Hibrit santraller şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olabilirler.

### **Rüzgar ve Güneş santrali kurulamayacak alanların özellikleri**

- a) Arazi eğimi 3 dereceden büyük olan alanlar.
- b) Yerleşim alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar.

- c) Kara ve demir yolları ile 100 m emniyet şeridi içindeki alanlar.
- d) Havaalanları ile 3 km emniyet şeridi içindeki alanlar.
- e) Çevre Koruma, Milli Parklar ve Tabiat Alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar.
- f) Göller, nehirler, baraj gölleri ile sulak alanlar.
- g) Koru ormanları, ağaçlandırma Alanları, özel ormanlar, fidanlıklar, sazlık ve bataklıklar, muhafaza ormanları.

## BÖLÜM 3

### RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPILARI, TİPLERİ, TEMEL YASA VE KAVRAMLAR

Bu bölümde tezimin araştırma konusu olan küçük ölçekli hibrit enerji santralının kaynağı olan rüzgar türbinlerinin yapıları ve özellikleri, rüzgar enerjisi santrallerinin yapıları, temel yasa ve kavramları incelenmektedir.

#### 3.1 RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için rüzgar türbinler kullanılmaktadırlar. Rüzgar türbinine bağlı elektrik üretici, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2-3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlayabilmektedir. Türbin tarafından üretilen enerjinin miktarı, rüzgar hızı dağılımına bağlıdır. Kullanımdaki rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik göstermekle birlikte; güçlerine, eksen yapılarına ve kanat sayılarına göre sınıflandırılmaktadır.

##### 3.1.1 Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinlerinin eksen yapısı ve kanat sayılarına göre yapılan sınıflandırmalarda temel olarak mekanik gövde yapısı üzerinden sınıflandırma yapılmaktayken, güç odaklı sınıflandırma yaklaşımında türbinlerin ürettikleri güç miktarlarına göre ayırım yapılmaktadır.

Bunlar dört ana gruba ayrılmaktadır;

- a) Küçük güç sistemleri
- b) Orta güç sistemleri
- c) Büyük güç sistemleri
- d) Megawatt güç sistemleri

Küçük güç sistemleri genellikle 0-10 kW gücündeki sistemlerdir. Trafik sinyalizasyon uygulamaları, ev tipi rüzgar türbinlerinde ve küçük güç gerektiren yerlerde kullanımı yaygındır. Orta güç sistemleri ise genellikle 10-100 kW arasında ki sistemler olup genellikle küçük güç sistemlerinin yetersiz kaldığı alanlarda ve biraz daha fazla güç gerektiren sistemlerde kullanılır. Örnek olarak fabrikalarda, enerji tüketimi fazla olan tesislerin kendi enerjilerini üretebilmeleri için kullanılırlar. Büyük güç sistemleri 100 kW'dan daha büyük olan sistemlerdir. Megawatt güç sistemleri ise Megawatt gücündeki türbinlere sahip olan santrallerdir (Nurbay ve Çınar 2005).

### 3.1.2 Eksen Yapısına Göre Rüzgar Türbinleri

Eksen yapılarına göre rüzgar türbinleri yatay eksenli rüzgar türbini (YERT) ve düşey eksenli rüzgar türbini (DERT) olarak ikiye ayırmak mümkündür.

**Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT):** Yer konumuna göre rotoru yatay eksenle çalışan bu türbinler daha geleneksel ve daha modern bir kullanım sunarlar. Bu türbinlerde; dönme eksenli rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu tür türbinler bu konuma, rotor kule üzerinde döndürülerek getirilir. Yatay eksenli türbinlerin kule üzerinde yatay eksen yönündeki hareketi, motorlar (rüzgar veya elektrik), rüzgara yönelik birimlerde kılavuz bir kuyruk ve rüzgarı arkadan gören birimlerde ise oluşturulan konik açılı ile sağlanır. Yatay eksenli türbinlerin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları daima rüzgar akışı yönünde olmalıdır. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir (Nurbay ve Çınar 2005).

**Düşey Eksenli Türbinler (DERT):** Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır (Nurbay ve Çınar 2005).

Düşey eksenli rüzgar türbinleri değişen rüzgar yönlerinde dönerler. Böylece rüzgarı her yönden kabul edebilme gibi bir üstünlüğe sahiptirler. Bu türbinlerin diğer üstünlükleri ise şu şekilde sıralanabilir;

Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez. Böylece kule masrafı olmaz.

- a) Türbini rüzgar yönüne çevirmeye gerek yoktur. Yani dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- b) Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- c) Elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha kolaydır.

Sakıncaları ise;

- a) Yere yakın oldukları için alt noktalarındaki rüzgar hızları düşüktür.
- b) Verimi düşüktür.
- c) Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir. İlk hareket motoruna ihtiyacı vardır.
- d) Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir. Bu da pek pratik değildir.
- e) Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir (Nurbay ve Çınar 2005).

### 3.1.3 Pervane Kanat Sayısına Göre Rüzgar Türbinleri

**Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için hub çok iyi yapılmalıdır (Demirtaş 2008).

**Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 m ile 100m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden (rüzgar türbini) sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat maalesef iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına

sebeptir. Hub'un titreşimi azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir (Demirtaş 2008).

**Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, hub içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını  $1/n$  oranında arttıran dişliler kullanılır ve "Cut in" olarak adlandırılan hız değerine ulaşıncaya kadar, jeneratör boşa çalıştırılır (Demirtaş 2008).

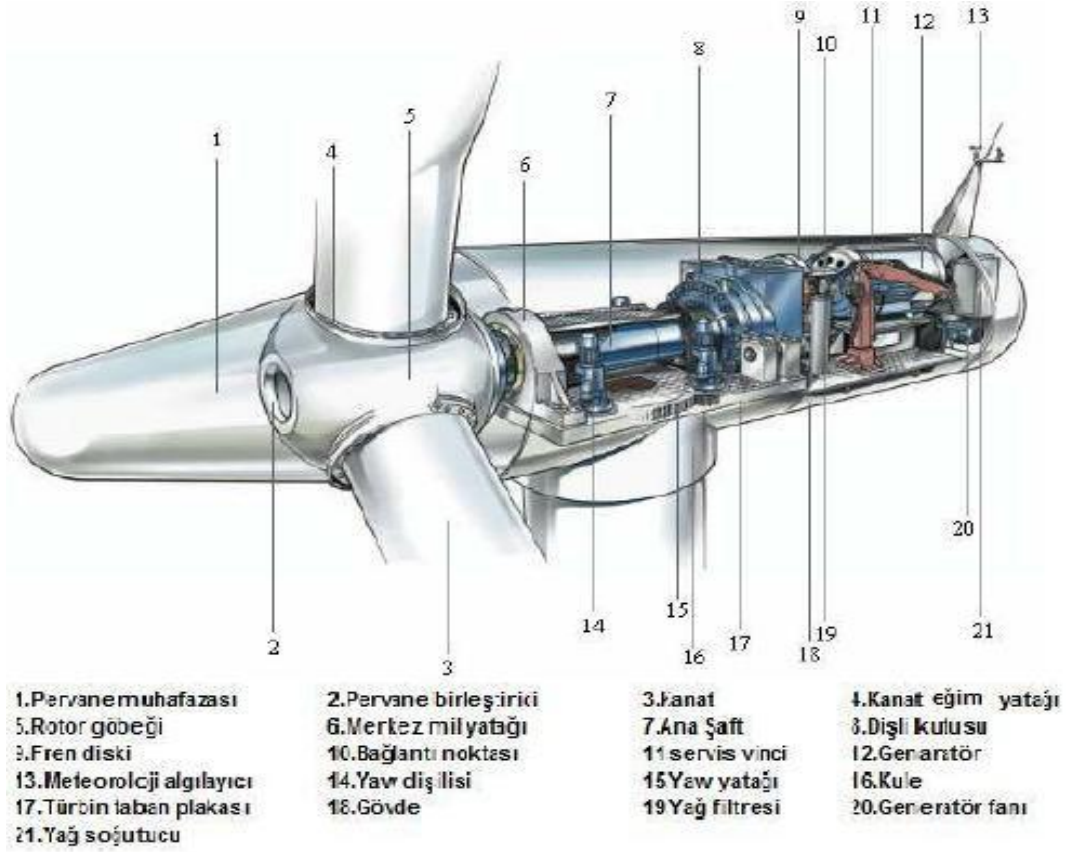
**Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Çok Kanatlı RT'ler, RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgar gülleri, rüzgargülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgargülü yönlendiricisi taşımaktadırlar (Demirtaş 2008).

### 3.1.4 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)

Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde bir açı yapan RT'lerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır (Demirtaş 2008).

### 3.1.5 Rüzgar Türbini Elemanları

Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren tüm sistemler, rüzgarın enerjisini bir şafta dönme hareketi olarak verecek bir kanat veya rotor, bu hareketi iletecek genellikle bir dişli kutusu ve bir jeneratörden oluşan hareket mekanizması kanatları ve mekanizmayı destekleyecek bir kuleden oluşmuştur (Demirtaş 2008).



Şekil 3.1 Rüzgar türbin bileşenleri (Demirtaş 2008).

Türbin bileşenleri, türbin tasarım tipine veya imalatçısına göre değişebilmektedir. Ancak, her türbinde özellikleri farklı da olsa aynı görevleri gerçekleştiren benzer bileşenler vardır. Bir türbinde yer alan belli başlı bileşenler; rüzgar hızı ölçme cihazı (anemometre), kanatlar, fren düzeni, kontrol sistemi, dişli kutusu, jeneratör, yüksek ve düşük hız şaftları, gövde, pitch, rotor, kule, rüzgar vanası, yaw motoru ve tahrik gurubundan oluşmaktadır (Fesli 2009).

Yukarıdaki Şekil 3.1’de bir rüzgar türbininin temel bileşenleri gösterilmekte olup her bir sistem elemanına ait özet bilgiler aşağıda verilmektedir.

**Kule:** Rüzgar kulesi türbini destekler ve gövde elemanlarını taşır. Kulelerde çelik ve beton malzeme kullanılır. Kule tasarımı boru veya kafes şeklinde olabilir. Kule tasarımındaki temel sorun, dinamik yapısıdır. Değişik rüzgar hızı altında meydana gelen titreşim saykılları, kule ve rotor kanatlarının yorulmasına, gerilmesine sebep olur. Değişik rüzgar hızı altında kule, rotor ve gövde elemanlarının titreşim saykıllarını uygun aralıkta tutmak için komple model analizleri yapılır. Türbin kulesinin oturduğu temel, betonarme inşaat olup 40–50 m kuleyi



taşımak için 120m<sup>2</sup> dairesel bir temel atılır. Büyük vinçler yardımıyla kuleler inşaat temeline yerleştirilir (Ceylan 2006).

**Türbin:** Kule üzerine yerleştirilen montaj platformu olup, rotor, dişli kutusu, şaftlar, jeneratör, kontrolör ve frenleme düzeninin yuvalandığı ana rotor gövdeye monte edilmiş olup, kapasitesine göre bir teknisyenin içinde tamirat yapabileceği kadar serbest alana sahiptir. Rüzgar türbinlerinin tüm imalat giderlerinin % 11-20' si kule imalatına aittir (Ceylan 2006).

**Kanatlar:** Türbinlerin çoğu iki veya üç kanatlı olarak tasarlanmaktadır. Kanatlara çarpan rüzgar, kanatları kaldırarak döndürmektedir. Kanat yapısı türbinin önden veya arkadan rüzgar almasına göre değişmektedir. Kanatlar; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastikten (cam elyafı, karbon elyafı, aramid elyafı) imal edilmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten üretilirler. Çelikten üretilen kanatların eğilmeye dayanımı çok iyidir. Fakat yorulma dayanımları ve korozyon sorunu oluşturmaktadır (Ceylan 2006).

**Anemometre:** Rüzgar hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır (Ceylan 2006).

**Frenler:** Acil durumlarda, mekanik, elektriksel veya hidrolik olarak uygulanan bir disk ile rotorun hareketinin durdurulmasını sağlayan sistemlerdir. Birincil frenleme sistemi aerodinamik kanat uç frenidir. İkincil fren yüksek hız miline yerleştirilmiş disk frenidir. Her iki sistem birbirinden bağımsız olarak tehlikeli durumdan güvenli duruma ulaşabilmek için türbini yavaşlatır (Ceylan 2006).

**Kontrolör (Kontrol Sistemi):** Türbinlerin, 3 ile 5 m/s rüzgar hızlarında, dönme hareketini başlatan, bu hareketi yöneten ve saatte 24-25 m/s'yi aşan yüksek hızlarda durduran beyin fonksiyonu icra eden kritik bir sistemdir. Türbinler fırtınalı havada ve özellikle 24-25 m/s 'yi aşan rüzgar hızlarında, jeneratörleri aşırı ısındığından çalıştırılmazlar (Ceylan 2006).

**Pitch:** Kanatları, aşırı yüksek veya düşük hızlarda dönüşünü kontrol eden döndürme mekanizmasıdır. Pitch kontrollü türbinlerde kanatlar, göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş değildirler. Kanat, pitch kontrol mekanizması sayesinde rüzgar hızına göre eksenini etrafında

döndürülebilmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Bu sistem bütün hızlarda kullanılarak elde edilen enerjinin artırılması sağlanabilir ya da sistemde aşınmayı azaltmak için sadece nominal hızın üzerinde güç kontrolü için kullanılabilir. Pitch kontrollü türbinlerden elde edilecek performans artışı temel olarak kullanılan pitch mekanizmalarının hıza ve hassasiyetine bağlıdır (Ceylan 2006).

**Jeneratör:** Elektrik üreten makinelerdir. Rüzgar türbinlerinde senkron, asenkron ve doğru akım jeneratör olmak üzere üç değişik jeneratör kullanılmaktadır. Sincap kafesli indüksiyon jeneratörü, rotoru sargılı indüksiyon jeneratörü, sabit mıknatıslı senkron jeneratör ve rotoru sargılı senkron jeneratör olmak üzere çeşitli yapılarda imal edilirler. Burada elde edilen elektrik akımı, yetersiz kalitede alternatif akım veya doğru akım bile olsa, çeşitli güç elektroniği düzenekleriyle şebekeye uygun hale getirilebilir. Doğru akım jeneratörleri, büyük güçlü rüzgar enerjisi tesislerinde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimi ve alternatif akım jeneratörlerine göre daha pahalı olmasıdır. Doğru akım jeneratörleri, günümüzde sadece küçük güçlü rüzgar enerji tesislerinde akülere enerji depolamak için kullanılır (Ceylan 2006).

**Yüksek hız mili:** Jeneratörü süren, eğer mevcutsa dişli kutusu ile jeneratör arasında bulunan mildir (Ceylan 2006).

**Düşük hız mili:** Kanatların bağlandığı mil olup dakikada 30-60 devirle (rpm) dönmektedir (Ceylan 2006).

**Dişli kutusu:** Dişli kutuları, düşük ve yüksek hız şaftlarının yatakladığı mekanizmalardır. Jeneratörlerin elektrik üretebilmeleri için dakikada, 1200–1550 devirlik bir döndürme yükü almaları gerekmektedir. Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük devirli milden gelen 30–60 d/dk'lık dönme hızını, yüksek hız mille 1200-1500 d/dk'lık bir hıza yükselten makinelerdir. Dişli kutularının ağır olması, kule ömrünü olumsuz etkilemektedir. Günümüzde araştırmaların büyük bir bölümü, dişli kutuların yenilenmesine yönelmiştir. Dişli kutuların revize edilmesi ile rotor doğrudan jeneratörlere bağlanabilecektir (Ceylan 2006).

**Rotor:** Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı mekâna rotor adı verilir (Ceylan 2006).

**Yön kontrol cihazı:** Rüzgar yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgar yönüne taşıyan mekanizmadır (Ceylan 2006).

**Yaw (Kuyruk) Tahrik:** Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgara doğru konumlanır. Rüzgarın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgara dik tutacak şekilde ayarlayan mekanizmalardır. İki kanatlı rotorlar, kafalarını rüzgar doğrultusuna ters konumlandıkları için, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar (Demirtaş 2008).

Rüzgar türbinleri güçlerine göre sınıflandırıldığında, türbinlerin mekanik sistemleri arasında da belirli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Megawatt mertebesindeki türbinlerde mutlak suretle dişli ve vites kutusu gibi elemanlar olmasına rağmen, küçük güçlü türbinlerde bu parçalara ihtiyaç duyulmamakta ve hatta alternatör direk kanatlara monte edilebilmektedir (Demirtaş 2008).

### 3.2 RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN JENERATÖRLER

Rüzgar türbininin ürettiği mekanik enerjiyi minimum kayıpla elektrik enerjisine dönüştürmek için, farklı hız ve çıkış kombinasyonları kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinde üç çeşit jeneratör kullanılmaktadır.

- a) Doğru akım jeneratörler
- b) Senkron jeneratörler
- c) Asenkron jeneratör

**Doğru Akım Jeneratörleri:** Doğru akım makineleri, düşük güvenilirlik ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar. DA (doğru akım) jeneratörleri küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler (Dursun ve Binark 2008).

**Senkron Jeneratör:** Senkron jeneratör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Rotorun oluşturduğu manyetik alan ya daimi mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. Senkron jeneratörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza

bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rüzgar türbinlerinde, genellikle rotoru sargılı (alan sargılı) ve daimi mıknatıslı olmak üzere iki tip senkron jeneratör kullanılmaktadır (Mergen ve Zorlu 2006).

**Asenkron Jeneratör:** Rüzgar türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir jeneratör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dezavantajı duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Ani rüzgar artışlarında oluşan tork titreşimlerini azaltmada çok iyidir (Mergen ve Zorlu 2006).

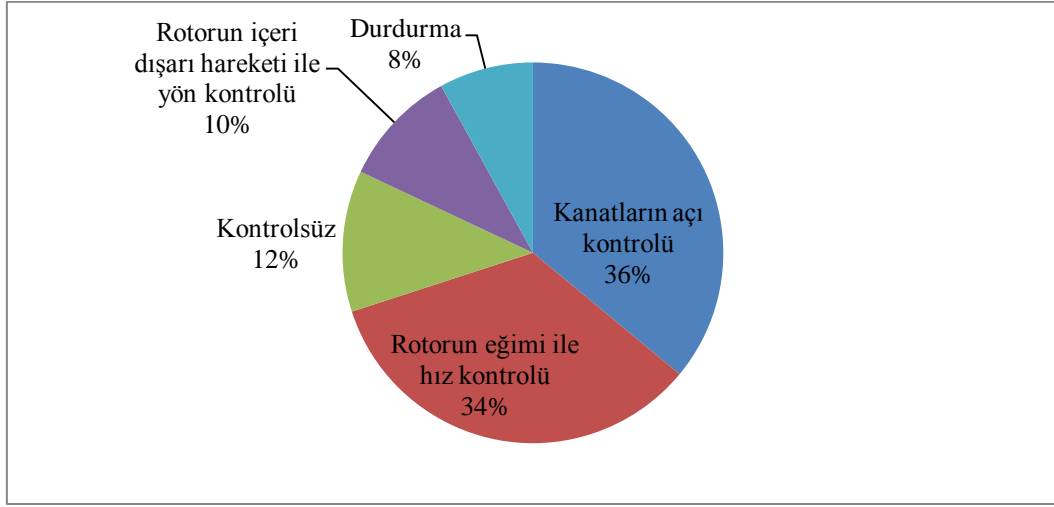
Bir asenkron makine, jeneratör olarak çalışmada makinenin güç kaynağı rotordan alınan mekanik güçtür. Asenkron jeneratörün statoru üç faz grubundan müteşekkil birçok sarıma yataklık yapar. Bu üç grup sargı fiziksel olarak stator etrafına yayılmıştır. Bu sargılar üzerindeki akım akışından dolayı rotor etrafında, çevresinde dönen bir manyetik alan oluşur ki bu manyetik alan asenkron makinenin en önemli çalışma özelliğini oluşturur. Rotor akımı ile stator akısı arasındaki etkileşim bir momente neden olur. Eğer rotoru bir rüzgar türbinine bağlarsak ve senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürürsek, rotorda indüklenen akım ve momentin yönü motor çalışma durumuna göre ters yönde olur. Bu durumda makine jeneratör olarak çalışır. Türbinin mekanik gücünü elektrik gücüne çevirir ve stator uçlarına bağlı yükü besler. Eğer makine şebekeye paralel olarak çalışıyor ise şebekeye güç temin edecektir. Yani makinenin jeneratör olarak çalışabilmesi için senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülmesi gerekir. Asenkron makinelerde stator ile rotor arasında elektriksel bir bağlantı olmayıp, tamamen elektromanyetik endüksiyon prensibine göre çalışır. Asenkron jeneratörler rotor yapılarındaki farklılığa göre sincap kafesli asenkron jeneratör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron jeneratör olmak üzere ikiye ayrılırlar (Patel 2006).

### 3.3 HIZ DENETİMİ

Hız kontrol yöntemleri, küçük ve orta ölçekli türbinlerde kullanılır. Büyük güçlü türbinlerde hız kontrol sistemi uygulanması mümkün değildir. Türbin pervanesinin dönme hızını denetleme gereği temelde üç farklı nedene dayanır (Patel 2006).

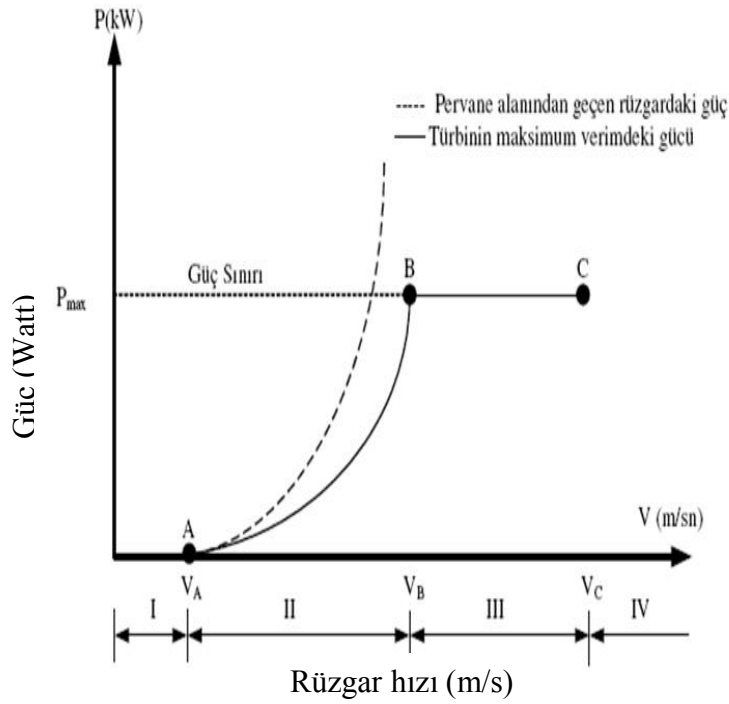
- a) Sistemin verimli çalışmasını sağlamak (maksimum verim bölgesi)
- b) Sistemin üreteceği gücü sınırlayabilmek (maksimum güç bölgesi)

c) Çok yüksek rüzgar hızlarında sistemin tahrip olmasını engellemek üzere sistemi durdurmak (emniyetsiz bölge).



Şekil 3.2 Türbin kontrol yöntemlerinin dağılım yüzdeleri (Patel 2006).

Hız denetim yaklaşımlarını daha iyi anlayabilmek için bir rüzgar türbininin güç eğrisindeki bölgeleri incelemek faydalı olacaktır.



Şekil 3.3 Hız denetim bölgeleri (URL-6 2013).

Şekil 3.3'deki bölgelerden I. yetersiz rüzgar bölgesi, II. maksimum verim bölgesi, III. maksimum güç bölgesi, IV. emniyetsiz bölge olarak tanımlanır. Bu bölgeler ile ilgili açıklamalar kısaca verilecektir (URL-6 2013).

### **3.3.1 Yetersiz Rüzgar Bölgesi**

Rüzgar türbinleri belli bir  $V_A$  rüzgar hızının altında çalışamazlar. Bu  $V_A$  hızına kadar olan bölge “ yetersiz rüzgar bölgesi” olarak adlandırılır. Bu bölgede sistem çalışmadığı için hız denetimine de gerek yoktur (URL-6 2013).

### **3.3.2 Maksimum Verim Bölgesi**

Bu bölgede, sistemin maksimum verimle çalışması halinde, rüzgardaki enerjinin türbin tarafından yakalanabilecek miktarı türbin güç sınırının altındadır. Bu yüzden bu bölgedeki kontrolün amacı aerodinamik verimin mümkün olan en yüksek değerde olmasını sağlamaktır. Bu durumda Şekil 3.3'deki güç eğrisinin A-B noktaları arasındaki bölgesini “maksimum verim bölgesi” olarak adlandırmak mümkündür. Bu bölgede ideal kontrol, aerodinamik verimin sürekli olarak maksimum değerde tutulabildiği durumdur. Fakat sabit hızla çalıştırılan türbin pervanelerinde bu mümkün olmamakta, maksimum aerodinamik verim sadece tek bir rüzgar hızında elde edilebilmekte ve diğer rüzgar hızlarında belli bir verim kaybı kaçınılmaz olmaktadır. Aerodinamik verimin sürekli olarak maksimumda tutulabildiği durum ancak değişken hızlı denetim yaklaşımıyla elde edilebilmektedir (URL-6 2013).

### **3.3.3 Maksimum Güç Bölgesi**

Rüzgar türbinler tasarlanırken sistemin üretebileceği belli bir “güç sınırı”ve çalışabileceği belli bir “ hız sınırı”göz önüne alınır. Pervane boyutları, generator ve tüm sistem buna bağlı olarak tasarlanır. Bu yüzden artan rüzgar hızıyla birlikte türbinin güç üretimi bu sınıra yaklaştığında artık sistemin verimli çalışması değil, bu sınırın üzerinde güç üretmemesi istenir. Bu durumda güç eğrisinin B-C noktaları arasında kalan bu bölgesi“maksimum güç bölgesi”olarak adlandırılır. Bu bölgede rüzgardaki enerji türbinin kapasitesinin üzerinde ve gereğinden fazla miktardadır. Sistem aerodinamik olarak maksimum verim noktasının altında çalışmasına rağmen maksimum kapasitede güç üretimi yapar. Başka bir deyişle bu bölgede rüzgar hızı artarken pervanenin aerodinamik verimi azalmak durumundadır. Ancak bu şekilde

güç sınırında üretim yapılabilir. Bu bölgedeki hız denetiminin amacı, maksimum kapasitede sabit güç üretimi sağlamaktır (URL-6 2013).

### **3.3.4 Emniyetsiz Bölge**

Genellikle rüzgar türbinlerinin üretim yapabileceği bölgeyi belli bir rüzgar hızıyla sınırlandırmak gerekir. Rüzgar hızının yıllık frekans dağılımına bakıldığında yüksek rüzgar hızlarıyla yıl boyunca çok az karşılaşıldığı görülmektedir. Bu az karşılaşılan yüksek hızlardaki rüzgarlar karşısında sistemin yeterince dayanıklı yapılması, bu hızlarda sistemden yıl boyunca elde edilebilecek toplam enerji göz önüne alındığında oldukça pahalı olmaktadır. Bu yüzden rüzgar türbinlerinin çalışma alanı belli bir rüzgar hızıyla sınırlandırılır. Böylece yüksek rüzgar hızlarında oluşabilecek aşırı yüklere engel olunarak sistemin hasara uğraması önlenir (URL-6 2013).

### **3.3.5 Hız denetimi yöntemleri**

Rüzgar türbinleri emniyetli hızlara kadar güvenli çalışma şartlarına sahiptirler. Güvenli çalışma hızlarına ulaşıncaya sistem kendisini belirlenen emniyet şartlarında korumaya almaya başlamaktadır. Bu yöntemler;

- a) Otomatik olarak sistem durdurulmaktadır. Enerji sürekliliğinin istenmediği durumlarda tercih edilir.
- b) Kanat açısı kontrolü ile hızın düşürülmesi sağlanır. Türbin kanatlarının açıları değiştirilerek türbinin hızı sabit tutulmaya çalışılır.
- c) Türbin yönünün değiştirilmesi ile hızın düşürülmesi sağlanır. Türbin yönü değiştirilerek hızı sabit tutulmaya çalışılır.
- d) Hız kontrol türbinleri küçük ve orta güçteki türbinlerde kullanılır. Büyük güçlü sistemlerde kullanılamaz (Patel 2006).

## **3.4 RÜZGAR TÜRBİNİ MATEMATİKSEL MODELİ**

Rüzgar türbinleri, havada bulunan kinetik enerjiyi hareket halinde mekanik enerjiye dönüştürürler. Rüzgar türbinini rotorunu döndüren kinetik enerjinin gücü; rüzgar hızına, hava yoğunluğuna ve rotor kanat çapına bağlıdır. Rüzgar hızı, yüzeyin pürüzlülüğüne ve

yükseklığe bağılı olarak değişir. Havanın yoğunluğu ise, mevsimsel olarak basınç ve sıcaklığa bağılı olarak değişiklik gösterir. Rüzgar gücü watt olarak;

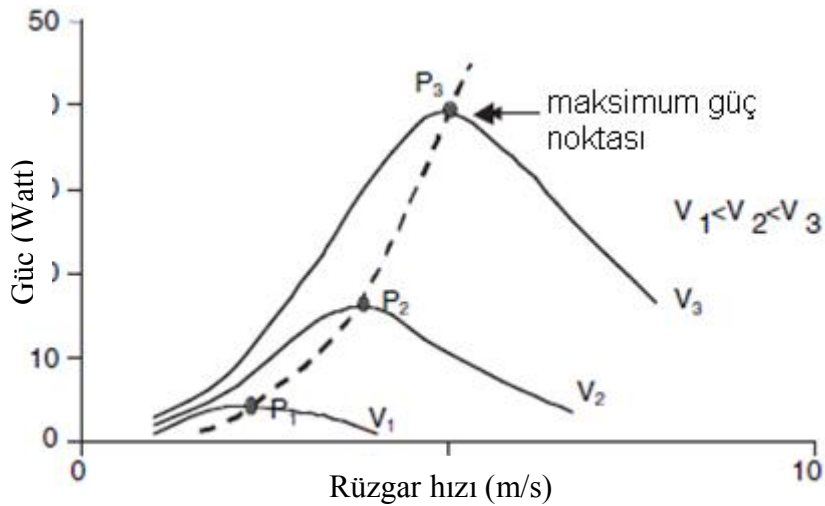
$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (3.1)$$

Ancak rüzgar türbini tarafından üretilen teorik güç;

$$P_W = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p \lambda, \beta \quad (3.2)$$

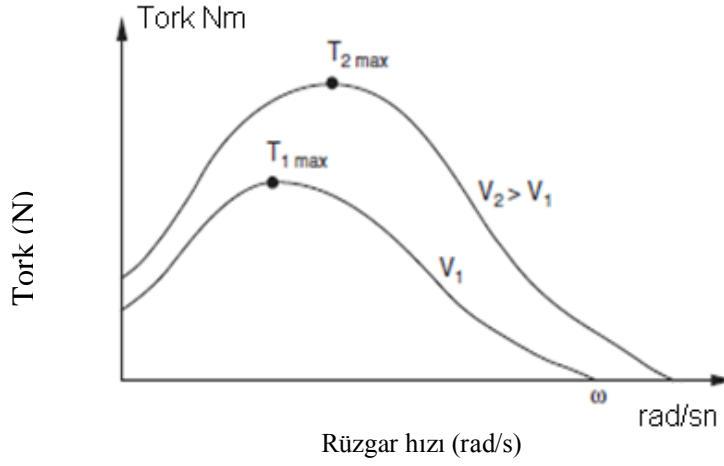
$$P_0 = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p \quad (3.3)$$

Denklem (3.2) ve (3.3)'de verilen ifadeler rüzgar türbini tarafından üretilen güçü göstermektedir. Burada  $\rho$  (ro) hava yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ), R rotorun yarıçapını (m), A rotorun süpürme alanını ( $\text{m}^2$ ), V rüzgar hızını (m/s),  $C_p$  rüzgar türbinin güç sabitini,  $\lambda$  kanat hız oranını ve  $\beta$  pitch açısını temsil etmektedir. Rüzgardan elde edilecek teorik maksimum güç sürtünmeden dolayı elde edilecek enerjiyi sınırlandırmaktadır. Betz yasasına göre elde edilebilecek maksimum güç toplam rüzgar gücünün 0.593 veya 16/27'sidir. Yani bir rüzgar türbininde güç sabitinin alabileceği maksimum değer 0.593 olur. Bu güç sabitinin pratikte alabileceği değerleri ise 0.10 ile 0.45 arasında değişir (Patel 2006).



Şekil 3.4 Rüzgar hızı ile güç üretimi arasındaki değişim (Patel 2006).





Şekil 3.5 Rüzgar hızı ile tork üretimi arasındaki değişim (Patel 2006).

Rüzgardan elde edilebilecek teorik tork ifadesi düşük hızlı milin açısal hızı ( $\omega$ ) ve rüzgar hızına bağlı olarak ifade edilebilir. Tork ve güç arasındaki ilişki Denklem (3.4)'de görüldüğü gibi olur.

$$T_w = \frac{P_w}{\omega_w} = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 (C_p / \lambda) V^2 \quad (3.4)$$

Rüzgar hızının artması ile birlikte türbinlerden elde edilecek tork ve enerji üretimi artmaktadır (Patel 2006).

**Hava Yoğunluğu:** Rüzgar gücü, kanatların süpürdüğü havanın yoğunluğuyla doğru orantılı olarak değişir. Deniz seviyesinde havanın yoğunluğu, 1 atm basınç ve 15 °C sıcaklıkta 1.225 kg/m<sup>3</sup> dir. Hava yoğunluğu Denklem (3.5)'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho = \frac{P M W 10^{-3}}{R T} \quad (3.5)$$

P mutlak basınç (atm), MW=28.97 g/mol havanın moleküler ağırlığını, R=8.2056.10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>.atm.K<sup>-1</sup>.molhava özgül gaz sabitini, T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı temsil etmektedir (Masters 2004).

**Kanat Hız Oranı:** Kanat hız oranı; rüzgar hızına, kanatların açısal dönme hızına ve kanat yarıçapına bağlı olarak değişmektedir. Kanat hız oranı Denklem (3.6)'da verilmektedir.

$$\lambda = \frac{R\omega}{v} \quad (3.6)$$

Bu denklemde eğer rotor hızı sabit tutulursa o zaman rüzgar hızındaki herhangi bir değişimin kanat hız oranına yansıtacağı görülür. Bunun sonucu rüzgar türbini güç sabitinin aynı zamanda rüzgar türbininden üretilen güç çıkışının değişmesi demektir. Bununla birlikte eğer rüzgar hızındaki değişime göre rotor hızı ayarlanırsa, o zaman tepe hız oranının optimum bir noktada bulunması sağlanabilir. Bunun sonucunda sistemden maksimum güç çıkışı üretilebilir. Denklem (3.7) açısal hız değerinde yazılacak olursa;

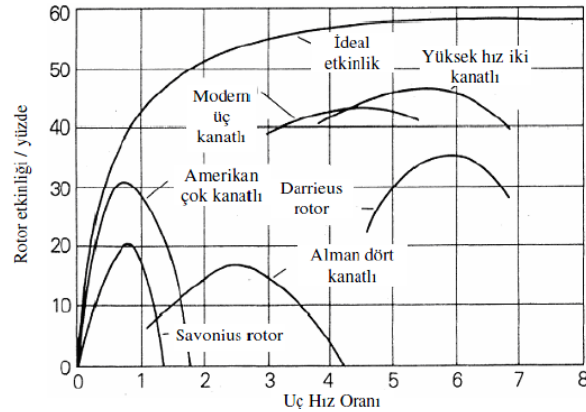
$$P_w \omega = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p \left(\frac{R\omega}{\lambda}\right)^3 \quad (3.7)$$

$$P_w \omega = \frac{1}{2} \rho \pi C_p R^5 \left(\frac{\omega}{\lambda}\right)^3 \quad (3.8)$$

Denklem (3.7), rüzgar türbini tarafından üretilen güç (açısal hız değerinde) Denklem (3.8)'deki eşitlik elde edilir. Kanat sayısı ile uç hız oranı arasındaki ilişki Çizelge 3.1'de vefarklı rotor tiplerinin rotor verimliliği Şekil 3.6'da gösterilmektedir (Patel 2006).

Çizelge 3.1 Kanat sayısı –  $\lambda$  değişimi (Uğuz 2005).

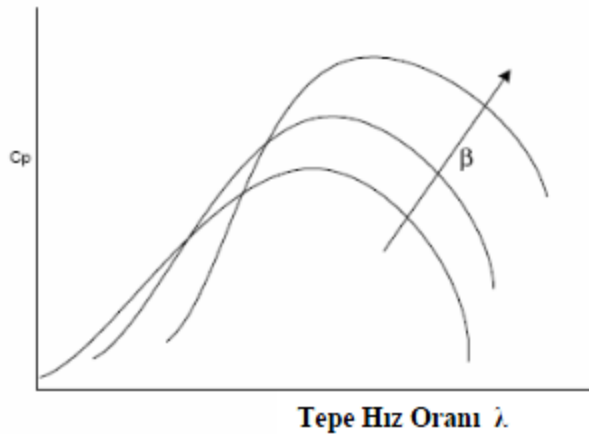
Kanat sayısı	Kanat Hız Oranı( $\lambda$ )
8 - 24	1
6 - 12	2
3 - 6	3
2 - 4	4
2 - 3	>5



Şekil 3.6 Farklı kanat yapılarında  $C_p$ - $\lambda$  değişimi (Patel 2006).

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.6 incelendiğinde kanat sayısının güç sabitinin üzerindeki etkisi görülmektedir. Buna göre modern üç kanatlı ve yüksek hızlı iki kanatlı rotor tiplerinin daha yüksek verimlerde çalıştığı görülmektedir. Bununla birlikte Amerikan çok kanatlı rotor tipi düşük kanat hız oranları için daha verimlidir (Patel 2006).

**Güç Sabiti:**  $C_p$  olarak gösterilen güç sabiti, kanat açısı  $\beta$  ve kanat hız oranına  $\lambda$  bağlı doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekil 3.7 tipik bir rüzgar türbinin kanat pitch açısının değişik değerleri için tepe hız oranı ve güç sabiti  $C_p$  arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Dusonchet et al. 2007).



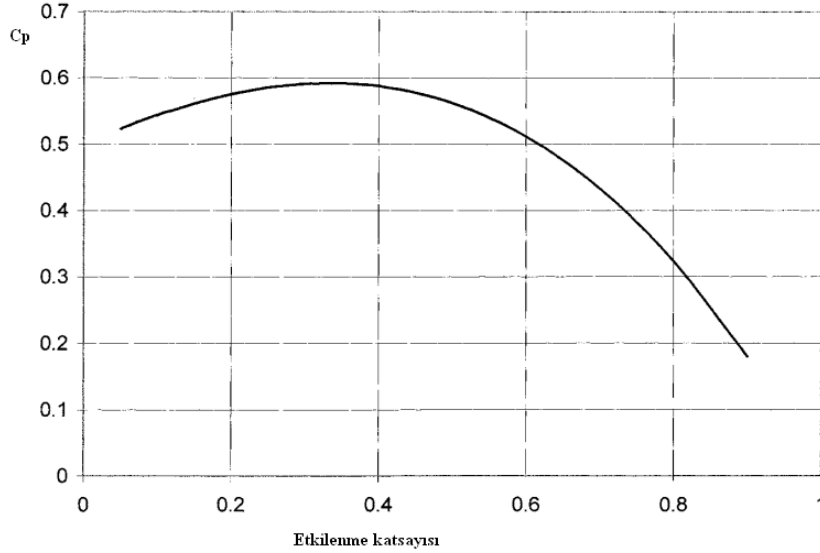
Şekil 3.7  $C_p$ 'nin tepe hız oranı ve pitch açısıyla değişimi (Dusonchet et al. 2007).

Eğer bir türbin rotorunun güç performansı değerlendirilecekse  $C_p$  eğrisi rüzgar türbini imali sırasında elde edilmeli ve her bir tepe hız oranı ve kanat pitch açısı için performans katsayısı değerlendirilmelidir. Rotor kanatlarından elde edilen mekanik güç, giren rüzgar gücünün  $C_p$  güç sabiti ile çarpımından oluşur.

$$C_p = \frac{1 + \frac{V_0}{V} - \left(1 - \frac{V_0}{V}\right)^2}{2} \quad (3.9)$$

$$e = \frac{(V - V_1)}{V} = \frac{V_0}{V} \quad (3.10)$$

Burada  $V$ rotora giren rüzgar hızı,  $V_0$ rotor kanatlarından çıkan rüzgar hızı,  $V_1$ ise rotor kanatlarını etkileyen rüzgar hızıdır. Denklem (3.9)'daki güç katsayısının ve Denklem (3.10)'daki etkilenme katsayısı ile değişimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Patel 2006).



Şekil 3.8 Cp-e değişim eğrisi (Patel 2006).

$C_p$  rotor kanatlarına etkileyen rüzgar gücünün bir katsayısıdır. Kalan güç türbinden çıkararak kaybolur.  $C_p$ 'nin değeri, etkilenme katsayısına bağlıdır. Etkilenme katsayısı ile  $C_p$ 'nin değişim eğrisi Şekil 3.8'de görülmektedir. Etkilenme katsayısı  $1/3$ 'e eşit olduğunda, maksimum rotor verimi  $0,593$  elde edilir. "Betz yasasına" göre, rüzgar türbini rüzgarın kinetik enerjisinin en fazla  $\%59$ 'u mekanik enerjiye çevirebilir. Bu değer uygulamada yüksek hızlı iki kanatlı türbinler için  $0,5$  değerinin altında iken, düşük hızlı çok kanatlı türbinler için  $0,2$  ile  $0,45$  arasında değişim gösterir (Patel 2006).

**Yüksekliğin Rüzgar Hızına Etkisi:** Meteorolojik veriler gösteriyor ki rüzgar hızı, ölçüm yapılan yerin coğrafi koşullarına ve yüksekliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Toprak seviyesindeki engeller rüzgar akışını dağıttığı için, rüzgar hızı yükseklikle artar. Bu yüzden, arazinin topografya yapısı ve istenen yükseklikte rüzgar hızının değerlendirilmesi önemlidir. Genellikle, ölçümler,  $10m$  yükseklikte ölçülür. Fakat birçok rüzgar türbini, yükseklik ile güç artışını arttırmak ve türbülansı azaltmak için  $10$  metreden daha uzun kulelere kurulur.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{h}{h_0}^n \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de referans hız ile bulunmak istenen hız arasındaki ilişki verilmiştir. Denklem (3.11)'de kullanılan  $V_0$  referans alınan rüzgar hızını (m/sn),  $V$  bulunmak istenen rüzgar hızını,  $h_0$  referans alınan rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m),  $h$  hesaplanacak rüzgar hızının yüksekliğini ve  $n$  ise pürüzlük katsayısını ( $0,10 < n < 0,40$ ) belirtmektedir. Yerden yükseklik arttıkça rüzgar hızı artmaktadır (Patel 2006).

YÜKSEKLİK (m)	RÜZGAR HIZI (m/s)	
	200	6,8
	100	5,8
	50	5,2
	25	4,7
	10	4,1
YÜZEY		

Şekil 3.9 Rüzgar hızının yükseklikle artışı.

Rüzgar hızı ve dolayısıyla bir rüzgar türbininin üreteceği enerji miktarı yükseklik arttıkça arazi pürüzlülüğüne, arazinin topografik yapısına ve atmosferik şartlara bağlı olarak üssel şekilde artmaktadır.

**Rüzgar Hız Dağılımı:** Rüzgar hızı dakika, saat, gün, mevsim ve yıllık olarak değiştiğinden rüzgar modelleri genellikle bir yıllık periyot üzerinden tekrarlanır. Rüzgar türbinlerinden elde edilen gücü etkileyen parametrelerin en önemlisi, rüzgar hızıdır. Rüzgar, herhangi bir bölgede hiçbir zaman kararlı değildir. Hava sistemlerinden, bölgesel arazi yapısından ve toprak seviyesindeki yükseklikten etkilenir. Bu nedenle, rüzgar enerji potansiyeli değerlendirilmek istenen bir alanın rüzgar hız değerlerinin, zaman içindeki dağılımının doğru olarak saptanması çok önemlidir. Türbin tasarımcıları, türbin iyileştirilmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Eğer bir yıl boyunca rüzgar ölçülürse, genel olarak çok şiddetli rüzgarların nadiren, ılımlı ve şiddetli rüzgarların daha çok ortaya çıktığı görülür. Bir bölge için rüzgar dağılımı ya ölçülerek, ya da ölçümlere dayalı değişik nokta ve yüksekliklerde “Weibull dağılımı “ ile belirlenir. Bu dağılım iki parametre ile temsil edilir. Bu parametreler şekil katsayısı ( $k$ ) ve ölçek katsayısı ( $c$ )’dır (Aytaç 2010).

Verilerin işlenmesi yoluyla elde edilen Weibull parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgar hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir.

### **3.5 RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ**

Rüzgar türbinlerinin rüzgar enerjisi üretiminde maksimum verimde çalıştırılabilmesi için, alternatörün parametrelerine bağlı olarak maksimum güç noktasının takip edilmesi gerekmektedir. Ayrıca rüzgar hızındaki ani değişiklikler ve türbinin mekanik tepkilerinin de bilinmesi gereklidir. Bu bilgiler ile birlikte kullanılan türbinin yapısına bağlı olarak, MPPT kontrol sistemi çeşitlilik göstermektedir. MPPT kontrol uygulamalarındaki temel farklılıklar şu şekilde sıralanabilir;

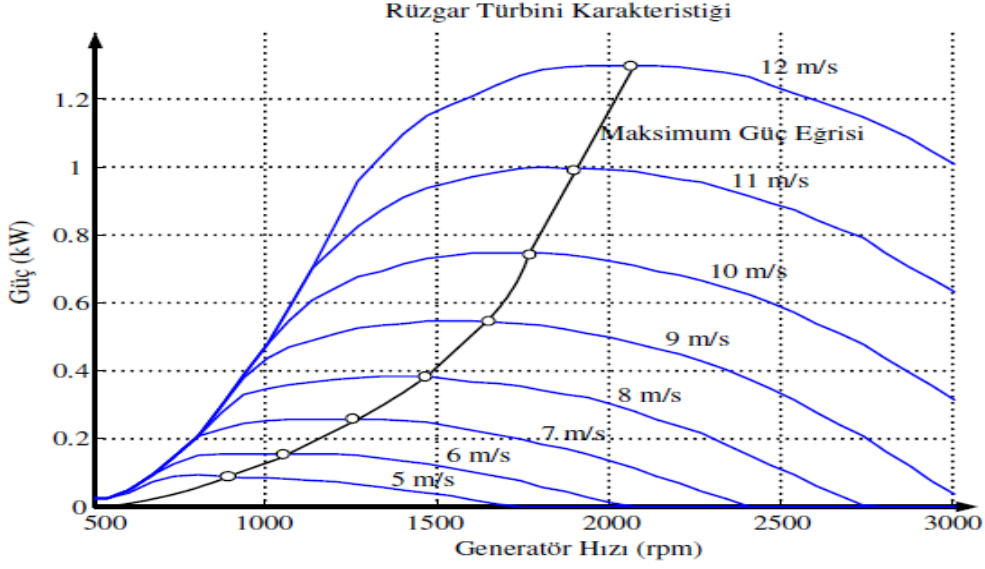
a) Maksimum güç noktası izleme adımları rüzgar hızındaki değişimlere bağlı olarak ayarlanan sistemler,

b) PWM (güç darbe modilasyonu) sinyalindeki ölü zamanı (dead time effect) doğru belirlemek güç anahtarlarının kısa devre olmasını, ya da ısınmasını engeller. Aynı zamanda, ölü zamanın alternatörün dönüş hızıyla senkronize edildiği sistemler ki burada, güç eğrisinin kararlı olması ve MPPT noktasının izlenmesi için alternatörün dönüş hızıyla senkronize PWM sinyali üretilir.

c) Alternatörün dönüş hız referansındaki dalgalanmaları azaltmak için MPPT kontrolörün çıkışında alçak geçiren filtre kullanılan sistemler. Bu sistemlerde filtrenin gecikme etkisi ile sistemin mekanik zaman sabiti dikkatle incelenmelidir.

Sonuçta bu sistemlerle, yüksek verimli, düşük maliyetli, hızlı ve kararlı enerji dönüşümü yapılması amaçlanmaktadır (Yaoqin et al. 2002).

Rüzgar türbinleri ile yapılan MPPT uygulamalarında öncelikle kullanılan rüzgar türbininin çeşitli rüzgar hızı değerlerindeki, alternatör hızı ve çıkış gücünü karşılaştıran eğrileri çıkarılmaktadır. Sonra bu eğrilerden faydalanılarak türbinin maksimum güç noktaları belirlenmekte ve sistem buna göre düzenlenmektedir. 1,5 kW'lık bir rüzgar türbini için yapılan deneyler sonucunda elde edilen hız-çıkış gücü eğrisi Şekil 3.10'da verilmiştir (Demirtaş 2008).



Şekil 3.10 1,5 kW'lık rüzgar türbininin hız-güç eğrisi (Demirtaş 2008).

Şekilde çeşitli rüzgar hızı değerlerinde türbinin alternatör dönüş hızına bağlı olarak elde edilen çıkış gücü eğrileri verilmiştir. Eğrilerin tepe noktalarını birleştiren üçüncü eğri ise bu türbin için maksimum güç noktası takip eğrisi olmaktadır.

Rüzgar türbinlerinde elektronik olarak maksimum güç takibi işlemi yapılabilmesi için türbinden elde edilen gerilim değeri ile yüke aktarılacak gerilim değeri arasında bir fark oluşturulabilmelidir. Bunu sağlamak için güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi değişik konvertör yapıları kullanılır. Yükseltici, alçaltıcı ve çifte yükseltici gibi konvertör yapıları bunlara örnektir. Türbin çıkışından elde edilen üç fazlı AA gerilim öncelikle üç fazlı köprü doğrultucudan geçirilerek DC gerilim elde edilir. Elde edilen gerilim konvertöre uygulanarak maksimum güç noktası takibine ilişkin işlemler uygulanır. Burada amaç türbinden elde edilen gerilimi sürekli olarak verimin yüksek olacağı bir aralıkta tutabilmektir (Demirtaş 2008).

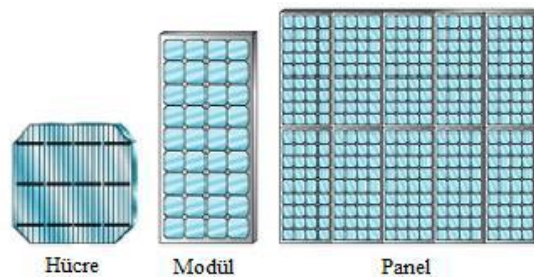
## BÖLÜM 4

### GÜNEŞ ENERJİSİ VE PANELLERİNİN YAPILARI, TİPLERİ, TEMEL YASA VE KAVRAMLAR

Bu bölümde küçük ölçekli hibrit enerji santralının kaynaklarından biri olan Güneş panellerinin yapıları, temel yasa ve kavramları incelenmektedir.

#### 4.1 GÜNEŞ ENERJİSİ VE PANELLERİ

Güneş pilleri (PV fotovoltaiik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaiik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan MW'a (mega-watt) kadar sistem oluşturulur. Şekil 4.1'de hücrelerin birleşimi ile meydana gelen modül ve güneş paneli görülmektedir.



Şekil 4.1 Güneş pili, hücre, modül ve panel (Keçel 2007).



**Güneş Pillerinin Yapısı:** Günümüzde farklı maddelerden ve farklı teknolojilerde birçok tipte güneş pili üretilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellürid, Bakır İndiyum Diseleneid'tir.

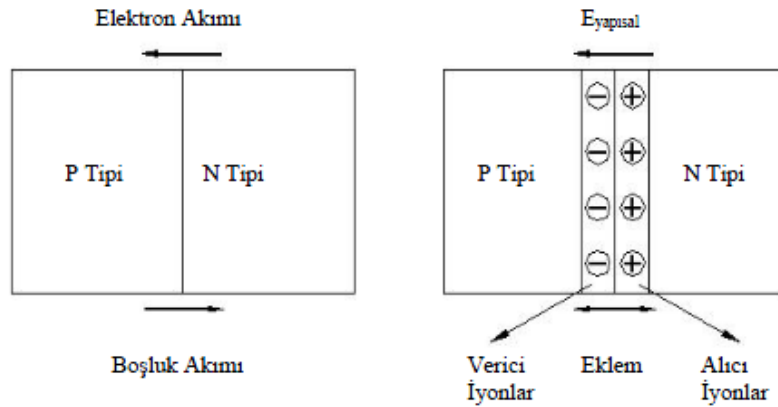
Kullanılan malzeme, üretim şekilleri ve diyotların çalışma ilkeleri, temelde benzerdir. Elektronik sanayisinin en önemli malzemelerinden olan silisyum kristali, bugün güneş pillerinin çoğunluğunun üretiminde kullanılmaktadır. Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gram'dan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Kontakların altında 150 mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışımının üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde yerleştirilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunmaktadır (Altaş 1998).

Güneş pilleri, güneş-elektrik çevriminin bir elemanı olup, optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemedan yapılmış diyotlardır. PV hücreler, gerçekte birbirine benzemeyen P tipi ve N tipi olmak üzere iki zayıf yarı iletken malzemedan oluşmaktadır. Yarı iletken malzemeler başlangıçta silikon malzemelerle yapılırken şimdi farklı malzemelerden üreilmeye başlanmıştır (Altaş 1998).

**Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi:** Güneş pilleri, ilke olarak elektronik düzeneklerin içerisinde kullanılan ve çok küçük boyutlara sahip olan yarı iletken diyotların, geniş yüzey alanlara uygulanmış seklidir. Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için P veya N tipi katkıları gereklidir.

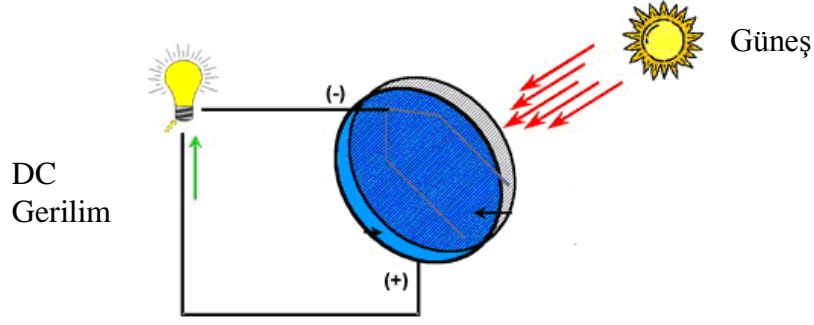
Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı iletkenin P ya da N tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan N tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. grup elementlerine "verici" ya da "N tipi" katkı maddesi denir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan (alüminyum, indiyum, bor gibi) bir element eklenir. Bu elementlerin son

yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "P tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir. P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarı iletken eklem oluşturulur. N tipi yarı iletkende elektronlar, P tipi yarı iletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani P tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, N tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. P-N eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. P-N tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Şekil 4.2'de P-N eklem oluşması gösterilmiştir (Altaş 1998).

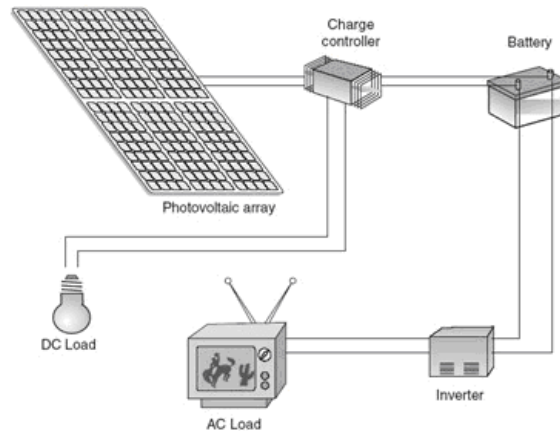


Şekil 4.2 P-N eklem oluşması (URL-7 2013).

Yarı iletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır (Altaş 1998).



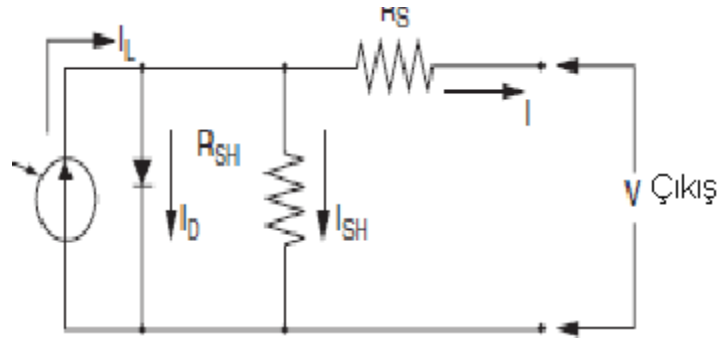
Şekil 4.3 Fotovoltaik hücre diyagramı (URL-7 2013).



Şekil 4.4 Güneş panellerinin çalışma diyagramı (URL-7 2013).

#### 4.1.1 PV Güneş Piliin Eşdeğer Devre Modeli

Güneş pillerin I-V karakteristikleri güneş pili eşdeğer devre modeli ile elde edilir. İdeal bir güneş pilinin devre modeli Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ideal model sadece akım ürettiği için bir akım kaynağı ve P-N ekleminden oluştuğu için de bir diyot içermektedir.



Şekil 4.5 İdeal güneş pili eşdeğer devre modeli (Patel 2006).

Şekil 4.5’de verilen devre modeli, güneş pilinin genel statik eşdeğer devresidir. Bu modeldeki parametreler ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla hesaplanacak her çıkış değeri için ışık ve sıcaklık seviyelerinin bilinmesi gerekir. Bu şekilde verilen devre modeli, matematiksel olarak aşağıdaki denklemlerle temsil edilebilir (Patel 2006).

$$V_{\text{ÇIKIŞ}} = V + I R_s \quad (4.1)$$

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (4.2)$$

$$I = I_L - I_D e^{\frac{q V_{\text{ÇIKIŞ}}}{A k T}} - 1 - \left( \frac{V_{\text{ÇIKIŞ}}}{R_{sh}} \right) \quad (4.3)$$

Burada;

V : Güneş pili tarafından üretilen gerilim (V)

I : PV pilin çıkış akımı (A)

$I_L$  : Fotovoltaik hücre akımı (A)

$I_D$  : Diyotun ters doyma akımı (A)

$R_s$  : Eşdeğer devrenin seri direnci ( $\Omega$ )

$R_{SH}$  : Eşdeğer devrenin paralel direnci ( $\Omega$ )

e : Elektron yükü ( $1,60 \times 10^{-19}$  C)

k : Boltzmann sabiti ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/°K)

T : Referans çalışma sıcaklığı (°K)

A : Diyot kalite faktörü

q : Elektronik şarj

ile temsil edilmektedir. Güneş pilinin verdiği akım, yüzeyine gelen güneş ışınımı şiddetine ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bir güneş pilinin yüzeyine gelen ışınım şiddeti arttığında, pil akımı ve gücü doğrusal olarak artar. Güneş pilinin yüzey sıcaklığı arttığında ise pil akımı az miktarda artar, gerilim büyük ölçüde düşer. Güneş pili üreten firmalar, I-V eğrilerini, ya sabit ışınım şiddeti altında, değişik sıcaklıklarda, ya da sabit sıcaklıkta, değişik ışınım şiddetlerinde çizilmiş olarak verirler (Patel 2006).

**Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler:** Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

Kristal Silisyum, Galyum Arsenik (GaAs), Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid (CdTe), Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe<sub>2</sub>), Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler (Demirtaş 2008).

**Güneş Pili Çeşitleri:** Güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri bakımından son derece çeşitlidir. Güneş pili yapım için şu anda kullanılmakta olan ondan fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır. Pillerin temel malzemesini silisyum oluşturmakta ve yaygın olarak mono kristalin piller kullanılmaktadır. Aşağıda pratikte kullanılan bazı güneş pili türlerinin isimleri verilmiştir (Demirtaş 2008).

- a) Kristal Silisyum Güneş Pilleri
- b) Tek-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri
- c) Yarı-Kristal Silisyum Güneş Pilleri
- d) Çok-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri
- e) İnce Film Güneş Pilleri
- f) Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri
- g) Amorf Güneş Pilleri
- h) Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

**Panel Verimine Etkiyen Faktörler:** Yarı iletken pillerin verimini etkileyen etkenleri doğal etkenler ve teknolojik etkenler olarak iki grupta toplanabilir:

#### 1- Doğal Etkenler

- a) Tam olmayan soğurma
- b) Foton enerjisinin tamamının elektron hol çiftinin oluşturulmasında kullanılmaması
- c) Eğri etkeni
- d) Güneş pilinin sıcaklığı
- e) Yüzey kirlenmesi

#### 2- Teknolojik Etkenler

- a) Güneş pilinin iç seri direncinden ileri gelen kayıplar
- b) Fotovoltaik güneş pili üzerindeki yansıma kayıpları
- c) Toplama kayıpları
- d) Güneş pilinin kalınlığı

#### 4.1.2 Fotovoltaik Modüllerin Sağladığı Avantajlar

Fotovoltaik modüllerin bina kabuğunda cephe veya çatı kaplama elemanı olarak kullanılmasının avantajları şöyle sıralanabilir:

- a) PVmodüllerin kullanımı, değişen modül boyutları ve pil yapılarına bağlı olarak görünüm itibarıyla sınırsız tasarım olanağı sağlar.
- b) Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için kurulan PVmodüller ek mekân ve yüzey gerektirmezler.
- c) PVmodüllerin bina kabuğuna entegre edilmeleri ek bir konstrüksiyon gerektirmez.
- d) PVmodüller saydam veya renkli olarak hazırlanabilmektedirler. PV pilleri rengi monokristal silisyumda siyah, multikristal silisyumda mavi, amorf silisyumda ise kırmızımsı kahverengi olup, güneş ışınlarını soğurma güçleri de renklere bağlı olarak değişmektedir.
- e) PVmodüllerin çok tabakalı olarak üretilmeleri olanaklıdır. Çünkü bu tür konstrüksiyonlar ışıklık olarak uygulandıklarında, gerekli ısı yalıtımı sağlamak zorundadırlar.

Kısaca, konvansiyonel cephe ve çatı elemanlarının yerini PVmodüller alabilmektedir. Bu modüller tarafından üretilen elektrik enerjisinin bağlantısı kablolar aracılığı ile cam yüzeyler delinerek modüllerin arkasında yapılmaktadır (Demirtaş 2008).

#### 4.1.3 Maksimum Güç Noktası Takipi

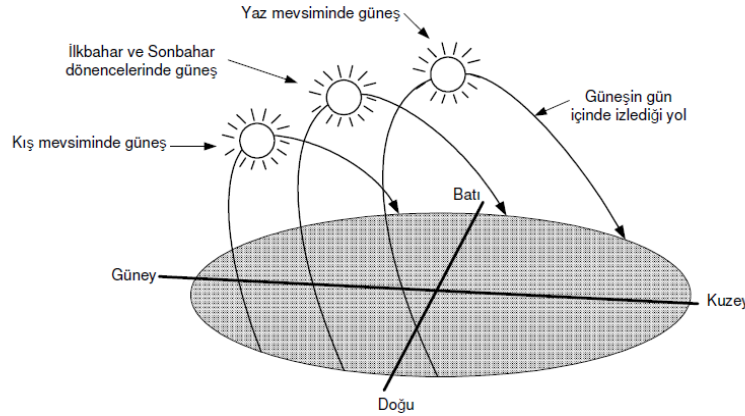
Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları elektrik enerjisi üretiminde önemli rol oynamaktadır. Çeşitli yenilenebilir kaynaklar örneğin güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal v.b. bu tür kaynakların en çok kullanılan türleridir.

Güneş enerjisi elektrik üretim sistemleri için iyi bir seçimdir. Bunun nedeni güneş enerjisinin güneş pilleri tarafından direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilmesidir.

Güneş panelleri silikon hücrelerden meydana gelirler. Her bir silikon hücrenin açık devre gerilimi yaklaşık olarak 0,7 V civarındadır. Hücreler seri bağlanarak solar PV modüller meydana getirilir. Genellikle uygulamada 36 hücre seri bağlanarak yaklaşık 20V gerilim elde edilir. Hücrelerden elde edilecek akım oranı ise hücrelerin yüzeyine bağlı olarak değişen bir faktördür. Hücre alanı ne kadar büyük olursa elde edilecek akımda o kadar yüksek olur.

Yüksek çıkış güçleri elde edebilmek için hücreler seri ve paralel kombinasyonlar halinde bağlanarak güneş panelleri oluşturulur. Güneş panellerinin maksimum verimle çalıştırılabilmesi için karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Aytaç 2010). Santralimizde kullanılan güneş paneli  $1000 \text{ W/m}^2$  güneşlenme değerinde  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta maksimum 18 V gerilim ve 60 Wp güç üretmektedir.

**Güneş takip sistemleri:** Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, güneşlenme de en yüksek seviyede olur. Panellerin güneşi dik açı ile görebilmeleri için sabah gün doğumundan akşam gün batımına kadar güneşi takip etmeleri gerekir. Ancak gün boyu yapılan takip işlemi yılın her mevsimi için aynı verimi sağlamaz. Çünkü dünyanın güneş eksenindeki hareketine bağlı olarak yıl içerisinde güneş her mevsim farklı yörüngeleri takip etmektedir. Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler (Demirtaş 2008).

Güneşin mekanik olarak takip işlemi iki şekilde yapılabilir. Birincisi tek eksenli güneş takip mekanizması, diğeri de iki eksenli güneş takip mekanizmasıdır (Demirtaş 2008).

Tek eksenli güneş takibinde esas; panelin güneşe olan kuzey-güney doğrultusundaki açısını bulunduğu konuma bağlı olarak en uygun açı değerine getirerek, doğu-batı ekseninde gün boyunca takip işlemi yapabildiğini sağlamaktır. İki eksenli güneş takip mekanizmalarında ise; panel güneşi hem kuzey-güney hem de doğu-batı eksenlerinde takip etmektedir. Bu tür uygulamaların verimi tek eksenli olanlara göre fazladır. Ancak panel boyutlarının büyük olmasından dolayı, belirli bir gücü karşılamak için oluşturulacak güneş paneli gruplarının

mekanik olarak iki eksenli hareket ettirilmesindeki güçlükler, rüzgar yükünün fazla olması, dişli v motorların mekanik problemleri bu sistemlerin kullanılmasını kısıtlayıcı sorunlardır (Demirtaş 2008).

## 4.2 GÜNEŞ PANELLERİNİN BESLEDİĞİ KAYNAKLAR

Güneş enerjisi panelleri ürettikleri enerjiyi şebekeye verebilecekleri gibi şebekeden bağımsızda çalışabilirler.

### 4.2.1 Şebekeye Elektrik Veren Güneş Pili (PV) Sistemi

Bu sistem şehir şebekesi ile beraber kullanılan bir sistemdir. Şebekeden bağımsız kurulan sistemlerden en belirgin farkı akü gruplarının kullanılmamasıdır. Ayrıca bu sistemde kullanılan inverterler şebekeden bağımsız kullanılan inverterler ile aynı teknik özelliklere sahip değildir. Bilindiği gibi inverterler DC gerilimi evdeki cihazlarımızda kullanılmak üzere AC gerilime çeviren cihazlardır. Ancak şebeke destekli sistemde kullanılan inverterler bir başka özelliği AC şebeke ile senkronize çalışmasıdır. Bu inverterler evlerdeki dağıtım tablolarımıza bağlanabileceği gibi şehir şebekesinin girişine de çift taraflı sayaçlar sayesinde bağlanabilir (URL-7 2013).



Şekil 4.7 Şebeke bağlantılı güneş pili sistemi (URL-7 2013).

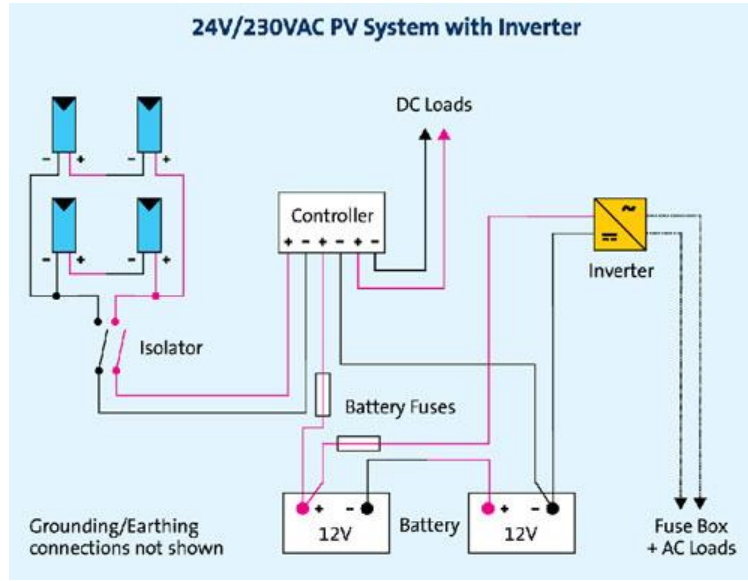
### 4.2.2 Şebekeden Bağımsız Güneş Pili sistemleri

Bu sistem şebekeden uzak çiftlik, dağ kulübesi, su kuyusu motorları, verici antenleri, tekneler vs gibi yerlerin elektrik temininde kullanılır. Bunlara ada sistemleri de denir. Güneş pillerinden üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanır ve invertörler ile AC gerilime çevrilerek kullanılır. Ayrıca üretilen gerilim direk DC gerilim olarak ta kullanılabilir (URL-7 2013).





Şekil 4.8 Şebeke bağlantısız güneş pili sistemi (URL-72013).



Şekil 4.9 PV sistem modeli (URL-72013).

**Şarj Kontrol Ünitesi:** Güneş panellerinde üretilen enerji DC olduğundan doğrudan DC ile beslenen sistemlerde direk kullanılabilceği gibi AC ile beslenen sistemlerde direk kullanılamaz. Akülerde depolanır ve invertörler ile AC'ye dönüştürülerek kullanılır. Üretilen gerilim akülere şarj kontrol ünitesi vasıtası ile doldurulur. Şarj kontrol ünitesinin görevi akülerin aşırı dolmasını ve aşırı boşalmasını önlemektir ve şarj akımınıza uygun bir şarj kontrol ünitesi seçilmelidir (URL-8 2013).

**Akü grubu:** Yeni nesil jel tipi tam bakımsız aküler; güneş, rüzgar ve hibrit sistemler için ideal akülerdir. Bu tip akülere saf su veya elektrolit ekleme ihtiyacı duyulmazlar, uzun ömürlü ve şarj-deşarj kinetikleri çok verimlidir. Farklı konumlarda kullanılanabilen bu tür ürünler aynı zamanda yüksek performans gerektiren uygulamalar için ideal çözümlerdir.- 20 °C ile 60 °C aralığında sorunsuz çalışan bu ürünler aynı zamanda çok düşük kendiliğinde deşarj olma

özelliği sayesinde ilgi çekmektedirler. Konutlar, yazlıklar, endüstriyel tesislerde güvenli ve sorunsuz bir biçimde kullanılabilirler.

Jel aküler güneş sistemlerinde daha çok kullanılmaktadır. Akü seçimi yapılırken kurulacak olan sisteme yönelik olmalıdır. Örneğin bahçe veya sokak aydınlatması için kullanılan güneş enerjili lambalarda jel akü seçilmelidir. Çünkü asit bazlı akülere 4-6 ayda bir bakım yapmak (saf su ilavesi) gerektiği için uygun bir seçim olmayacaktır. Tek başına güneş paneli uygulaması varsa ve bakım yapılabilecekse flooded lead acid aküler kullanılabilir (URL-10 2013).



Şekil 4.10 Solar akü.

**İnvertör:** Kullanılan invertör, panellerin ürettiği 12 veya 24V DC gerilimi 240 V AC gerilime çevirmelidir ve çıkışın sinüzoidal olması (sinüzoidale yakın) gerekmektedir. İnverterin gücü tesisin gücüne uygun olmalıdır. Uygun olarak seçilmeyen invertör güçleri tesisin sağlıklı çalışmasını engellemektedir (URL-7 2013).

#### **Şebekeye bağlı sistemin avantajları:**

- a) Batarya ihtiyacı yoktur. Sadece çok acil durumlar için sistem düşünülebilir.
- b) PV sistemin ürettiği fazla elektrik enterkonnekte şebekeye satılabilir.
- c) PV sistemdeki herhangi bir arızada veya PV sistemin yeterli olmadığı durumda şebeke direk devreye girecektir.
- d) Modül sayısı yani çıkış gücü istenildiği zaman artırılabilir
- e) PV sistem tasarlanırken tüketicinin aşırı kullanımına göre modül boyutu belirlenemez.

### **Şebekeye bağlı sistemin dezavantajları:**

- a) Şebekede bir sorun olduğunda ve PV sistem yeterli gelmediğinde, tüketici enerjisiz kalacaktır.
- b) Frekans, güç faktörü, harmonikler, dalga şekli gibi önemli elektriksel parametreler çok düzenli regülasyon ister. Bunu şebekeye bağlı sistemde yapmak için yüksek kalitede elektronik ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bu da maliyeti arttırmaktadır. Eğer, az maliyetli ve güvenilir bir sistem isteniyorsa şebekeye bağlı ve küçük bir bataryalı sistem düşünölmelidir.
- c) Şebekede bir sorun olduğunda veya kullanıcı PV sistemi şebekeden ayırmayı düşündüğünde, dual-mode inverter bataryadaki DA gerilimi AAgerilime çevirecektir. Ayrıca, şebeke kesintisi kötü ve yağışlı havalarda meydana geldiğinden, bu tip ortamlarda da PV sistem elektrik üretemeyeceğinden, bir jeneratör ihtiyacı doğabilir.

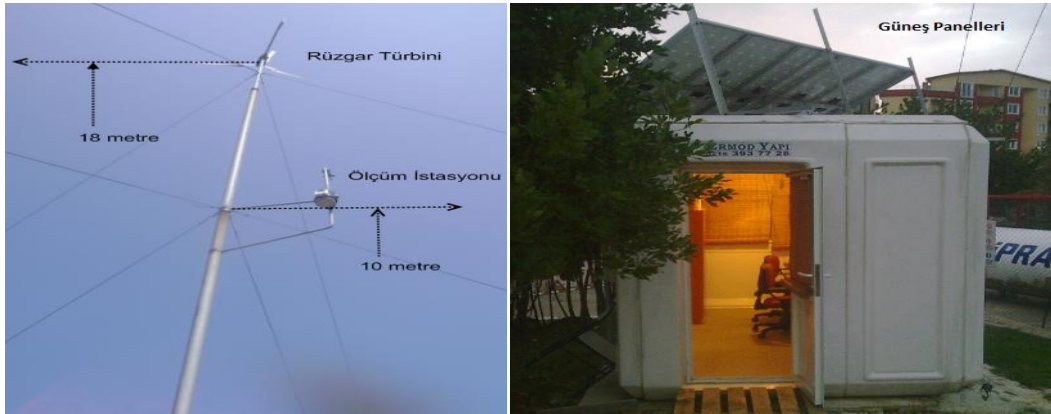
## BÖLÜM 5

### BEÜN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİ

Bu bölümde Bülent Ecevit Üniversitesi Kampüsünde bulunan küçük ölçekli hibrit enerji santralinin özellikleri incelenmekte olup hem rüzgar hem de güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili bilgiler verilmektedir.

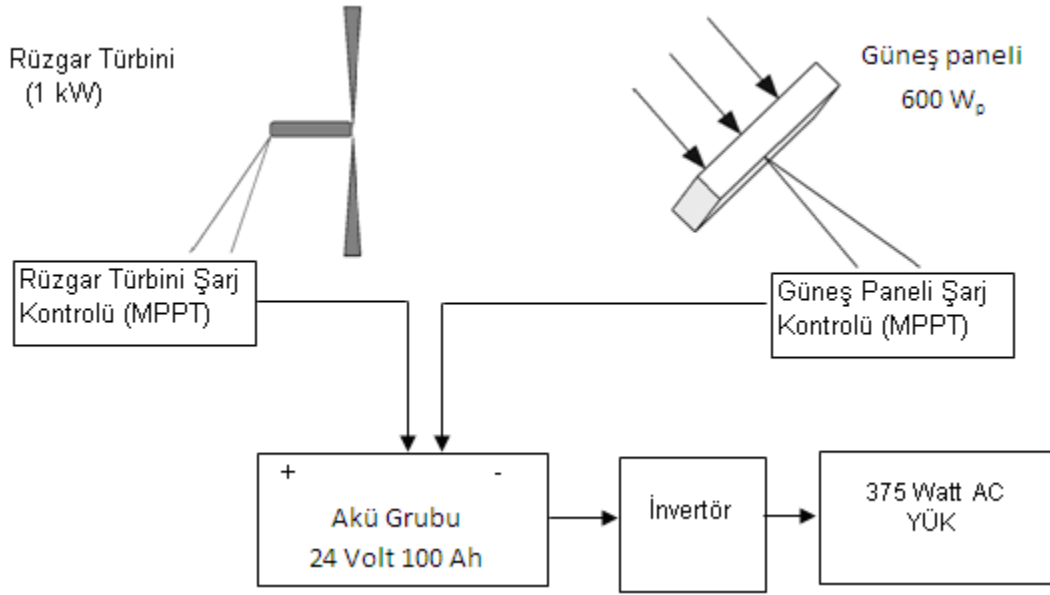
#### 5.1 KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİ

Tez çalışması için Bülent Ecevit Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan rüzgar türbini, güneş panelleri ve ihtiyaç duyulması halinde diğer enerji kaynakları ile çalışabilen küçük ölçekli hibrit enerji santrali incelenmektedir. Hibrit enerji santralinde rüzgar ve güneş enerji üretim sistemleri ile ölçüm ve denetim sistemlerini içermektedir. Rüzgar türbininin yerden yüksekliği 18m, meteoroloji istasyonunun yerden yüksekliği ise 10m'dir. Santral, rüzgar türbini, ölçüm istasyonu ile güneş panelleri Şekil 5.1 görülmektedir.



Şekil 5.1 Hibrit enerji santrali görünümü.

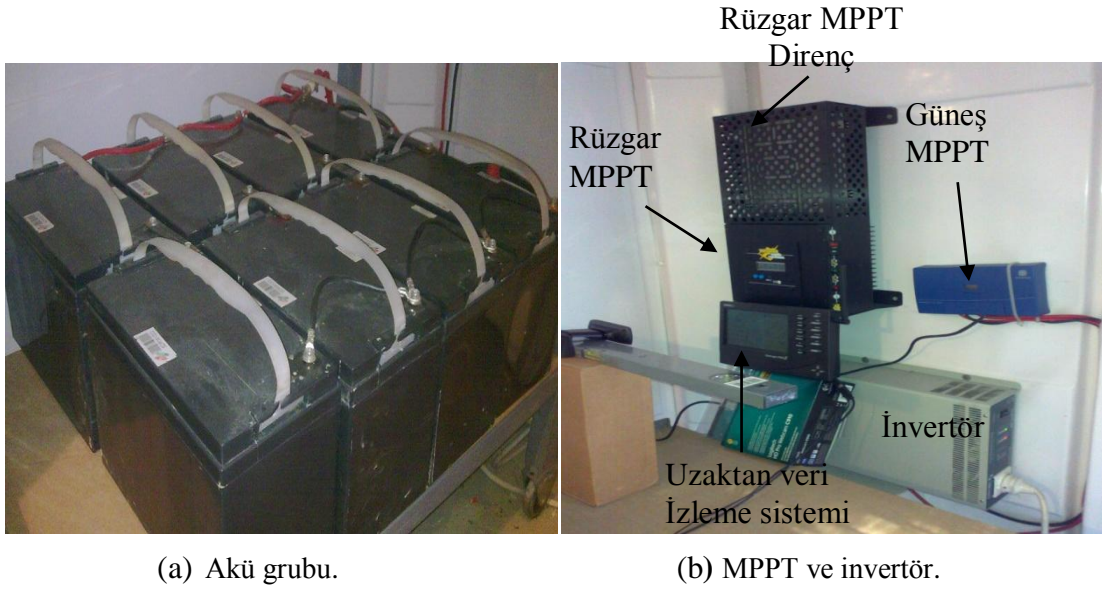
Santral 1 kW'lık rüzgar türbini ve 600 Wp'lik güneş panelli (her biri 60 Wp'lık 10 adet güneş panelinden oluşan) olmak üzere 1,6 kW'lık toplam güce sahiptir. Santralde rüzgar türbini ve güneş panellerinde üretilen enerjinin maksimum transferini sağlayan 2 adet MPPT (maksimum güç noktası takibi) modülü, üretilen enerjinin saklandığı her biri 12 V' luk 8 adet akü, akülerde depolanan enerjinin yüke aktarıldığı 1,5 kW'lık DC/AC (invertör) dönüştürücü ve sistemin değerlerinin izlenmesini sağlayan bilgisayar bulunmaktadır. Santral yapısı Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 BEÜN hibrit santral blok şeması.

Akü grubunda bulunan 12 V, 100 Ah kapasitede 8 adet akünün her biri önce ikişerli gruplar halinde seri bağlanmış ve ikişerli 4 adet grup ise paralel olarak bağlanmıştır. Bu durumda enerji santrali maksimum depolama kapasitesi (12V X 100Ah X 8 adet akü) 9.6 kWh'dir. Rüzgar türbininde üretilen AC gerilim doğrultma (AC/DC) devresine sahip MPPT modülü ile doğrultularak akü grubunda depolanmaktadır. Güneş panellerinde üretilen DC gerilim MPPT modülü ile istenilen seviyede düzenlenerek akü grubunda depolanmaktadır.

Akü grubu, MPPT ve invertöre ait resimler Şekil 5.3 (a) ve (b) de verilmiştir. Rüzgar santralinden üretilen aşırı akımlar rüzgar MPPT modülü üzerinde bulunan direnç üzerinden ısıya dönüştürülerek tüketilmekte ve sisteme zarar vermesi engellenmektedir.



(a) Akü grubu.

(b) MPPT ve invertör.

Şekil 5.3 Hibrit santralde kullanılan ekipmanlar.

#### Rüzgar Türbini Teknik Özellikleri:

Marka ve Model	: Whisper 200
Güç	: 1000 W (11.6 m/s rüzgar hızında)
Rotor Çapı	: 2.7 m
Enerji Üretim Başlangıcı Rüzgar Hızı	: 3.1 m/s
Gerilim	: 24 (2 x 12) V
Kontroller	: Whisper Controller
Kanat Malzemesi	: 3-Carbon reinforced fibreglas
Türbin Malzemesi	: Cast Alüminyum
Ağırlık	: 39.46 kg

#### Güneş Panelleri Teknik Özellikleri:

Marka ve Model	: Solaris S60M
Maksimum Güç:	: 60 W (1000 W/m <sup>2</sup> , 25 ° C de)
Maksimum Gerilim	: 18 V
Maksimum Güç Akımı:	: 3.33 A
Kısa Devre Akımı	: 3.60 A
Açık Devre Gerilimi	: 21.60 V
Çalışma Sıcaklığı	: -40 ° C / + 75 ° C
Hücre Sayısı	: 24
Hücre Verimi	: % 15

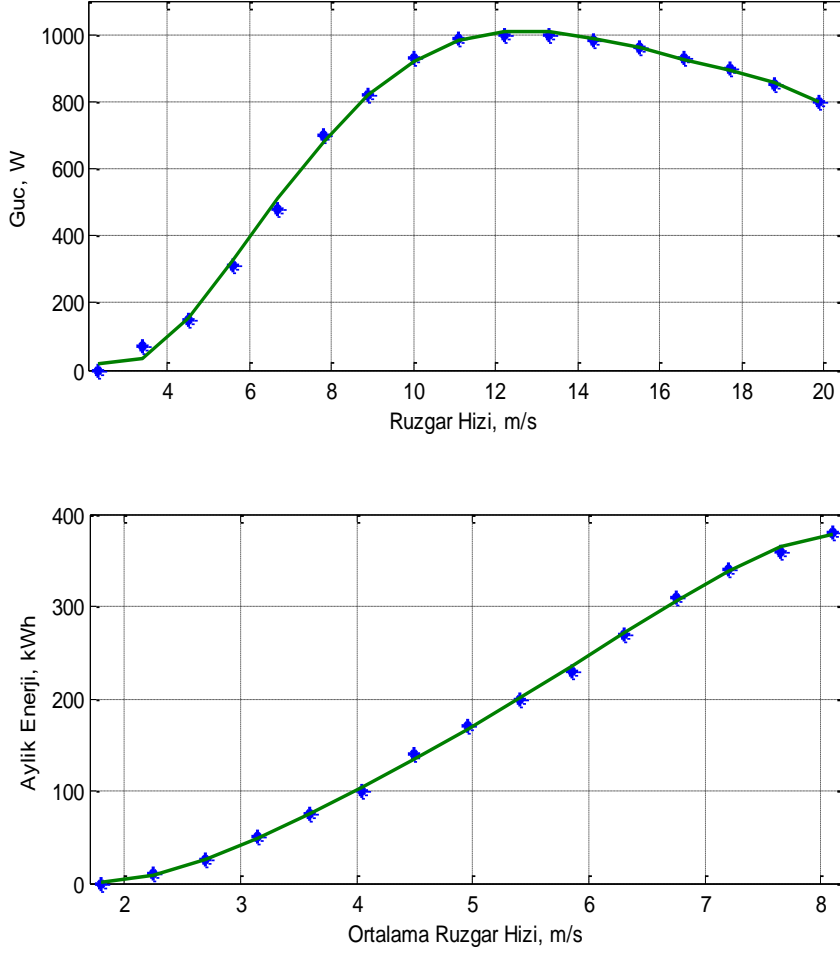
Meteoroloji istasyonu ölçüm sensörleri, anlık verilerin gösterildiği monitör ve verilerin bir dakikalık ortalamalarının değerlendirildiği ve saklandığı veri kayıt sisteminden oluşmaktadır. Rüzgar, güneş ve diğer meteorolojik ölçümler için Davis Marka Vantage Pro2 ve Vantage Pro2 Plus ölçüm modülleri kullanılmıştır.

### **Meteoroloji İstasyonunda Ölçülen Veriler:**

- a) Rüzgar Hızı (m/s)
- b) Rüzgar Yönü
- c) Güneşlenme (Solar Radrasyon)(W/m<sup>2</sup>)
- d) Hava Basıncı(N / m<sup>2</sup>- Pascal)
- e) Hava Sıcaklığı (°C)
- f) Bağıl Nem (gr/m<sup>3</sup>)
- g) Çiğlenme Sıcaklığı (°C)

## **5.2 RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ VERİ ANALİZİ**

Bu bölümde veri toplama sisteminden alınan rüzgar hızı ile güneşlenme miktarı sıcaklık verilerine göre enerji potansiyelin belirlenmesi üzerinde durulacaktır. Bülent Ecevit Üniversitesi Kampüsünde bulunan rüzgar türbinbilgilerine dayalı olarak rüzgar hızına bağlı enerji rüzgar enerji değişimi anlık ve aylık bazda Şekil 5.4'de verilmektedir. Şekil 5.4 incelendiğinde rüzgar hızının 11,6 m/s olduğu durumda türbin tarafından üretilebilecek elektrik enerjisinin 1 kW olduğu görülmektedir. Rüzgar hızının 6 m/s olduğu durumda türbinden beklenen elektrik enerjisi üretimi 400 W'dır. Rüzgar hızının 6 m/s olduğu durumda aylık üretilebilecek elektrik enerjisi ise yaklaşık olarak 270 kWh'dir.

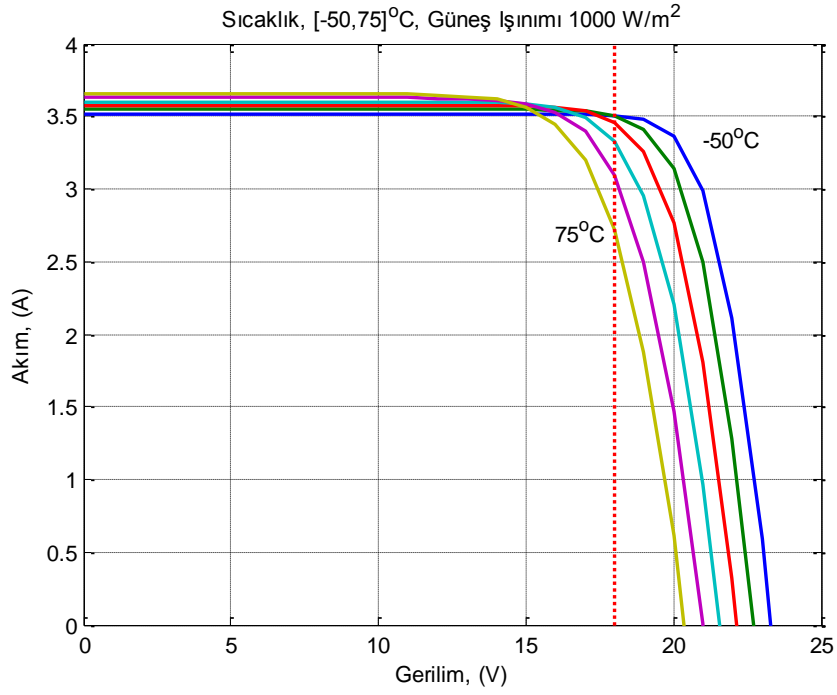


Şekil 5.4 Rüzgar hızı-güç eğrisi.

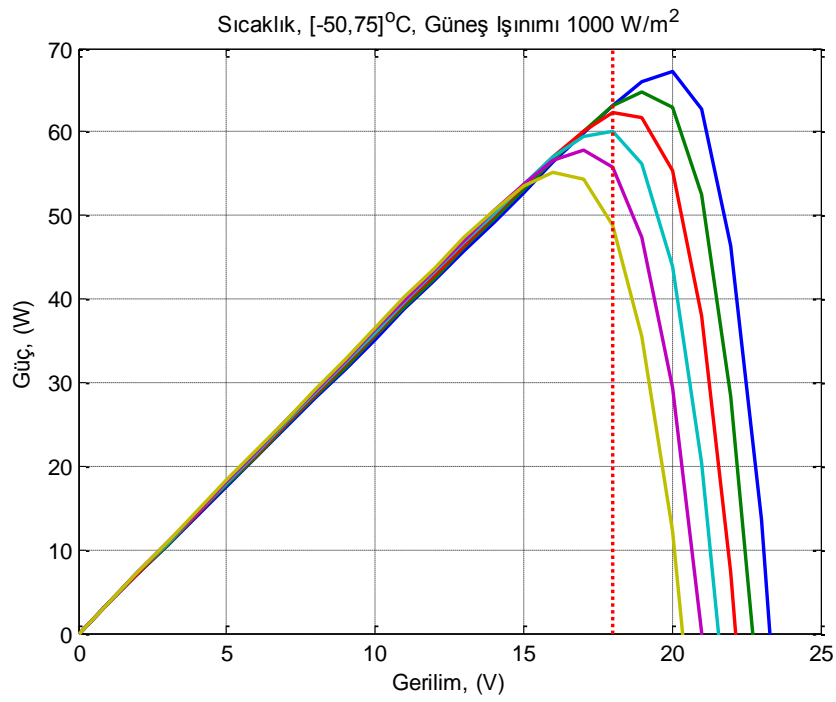
Solar modüller için çıkış gücü, güneşlenme, güneşe bakış açısı ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Güneş panellerimizden elde edilebilecek maksimum katalog gerilim değeri 18 V'dur. Güneş ışınımı değerinin sabit olduğu çeşitli sıcaklık değerlerinde panelin sergilediği çıkış karakteristik davranışlara ilişkin eğriler Şekil 5.5'de (a) ve (b)'de verilmiştir. Şekil 5.5 (a) ve (b)'de görüleceği üzere sıcaklık arttıkça pillerin yapıları bozulmaya başlayacağından elde edilecek akım değeri ve dolayısıyla güç azalmaktadır.

Sıcaklık değerinin sabit olduğu çeşitli güneş ışınımı değerlerinde panelin sergilediği çıkış karakteristik davranışlara ilişkin eğriler Şekil 5.6'da (a) ve (b)'de verilmiştir. Şekil 5.6 (a) ve (b)'de görüleceği üzere güneş ışınımı azaltıkça panellerden elde edilecek akım değeri ve dolayısıyla güç azalmaktadır.



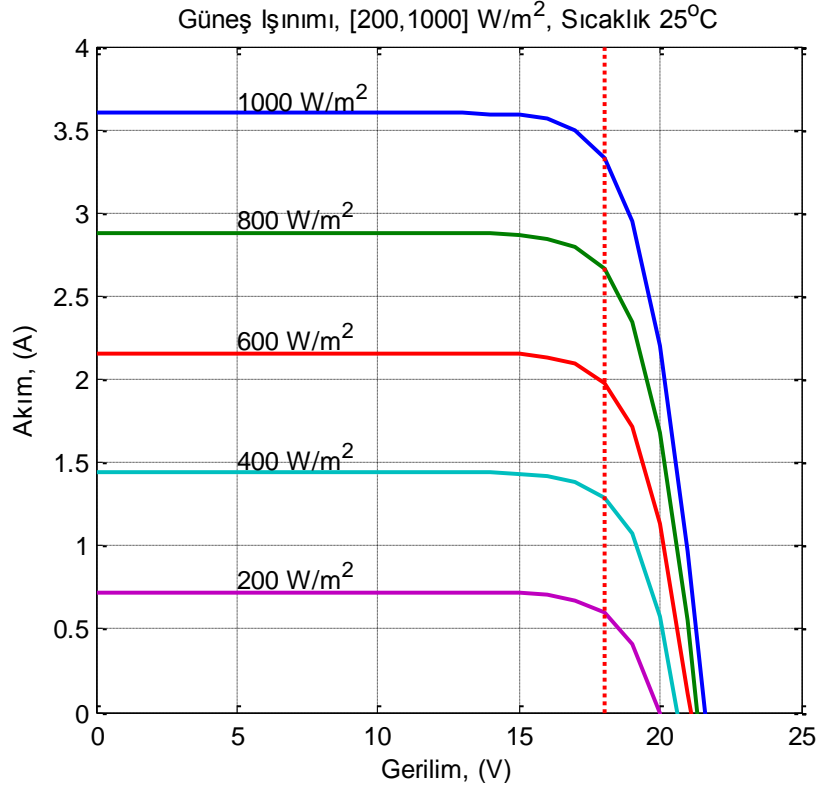


a) Akım-gerilim eğrisi.

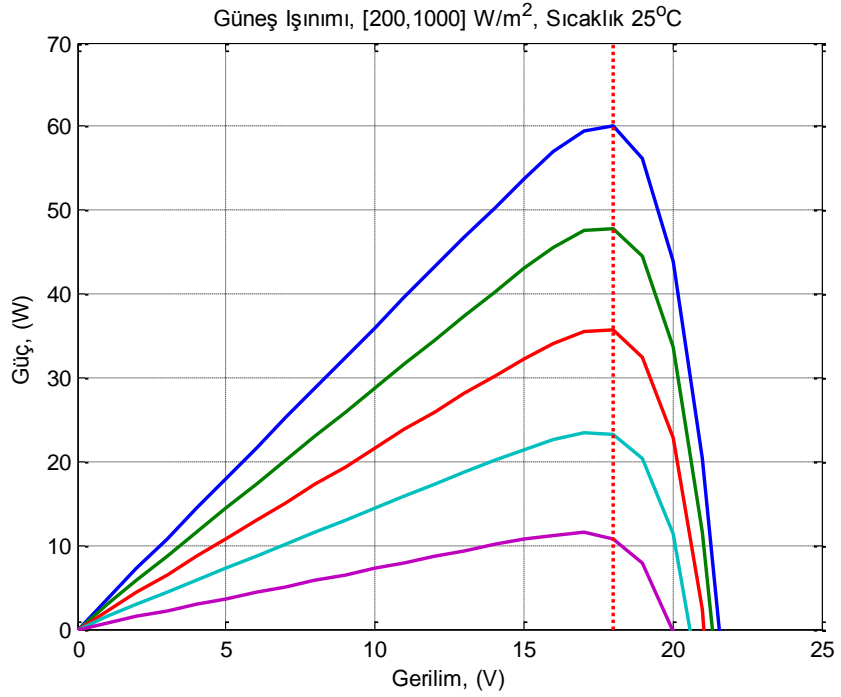


b) Güç-gerilim eğrisi.

Şekil 5.5 Güneş panelinin sıcaklığa bağlı karakteristik eğrileri.



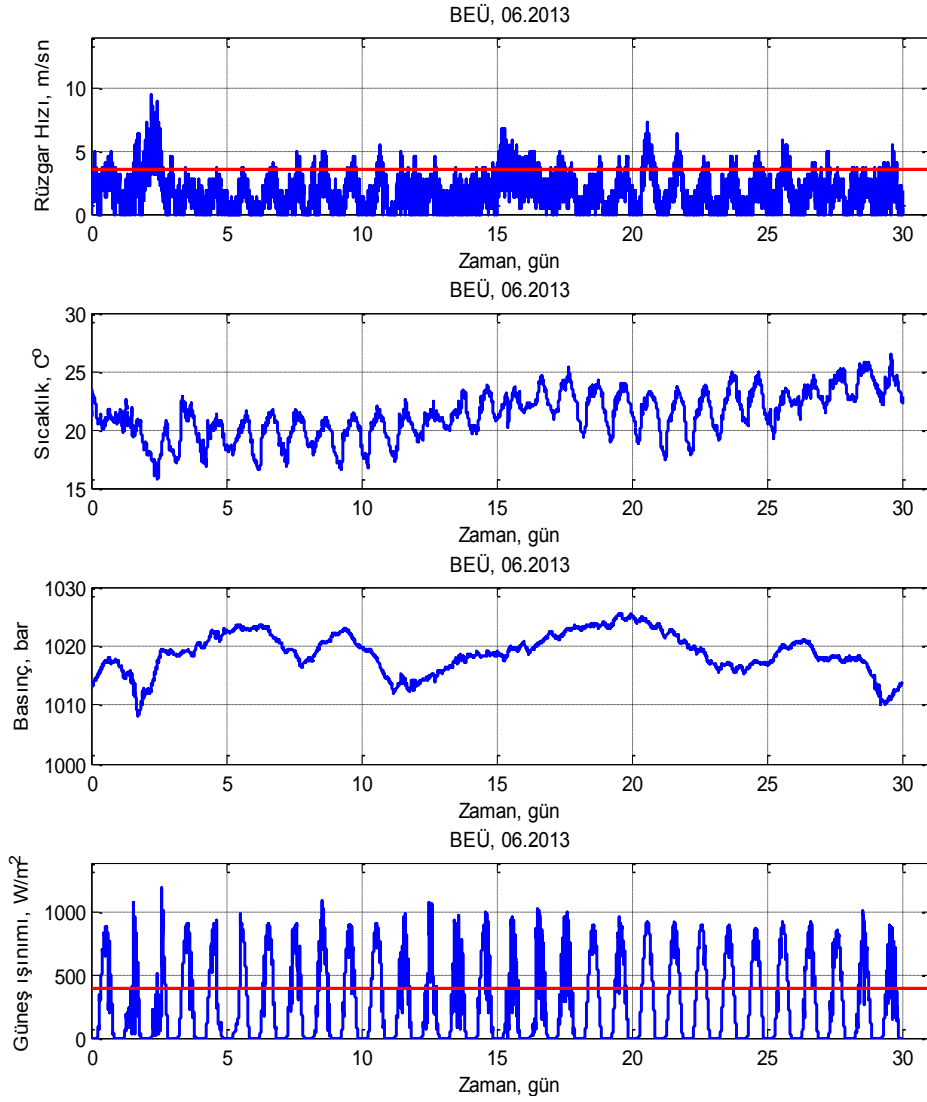
a) Akım-gerilim eğrisi.



b) Güç-gerilim eğrisi.

Şekil 5.6 Güneşlenme miktarındaki değişimin güneş paneli karakteristiğine etkisi.

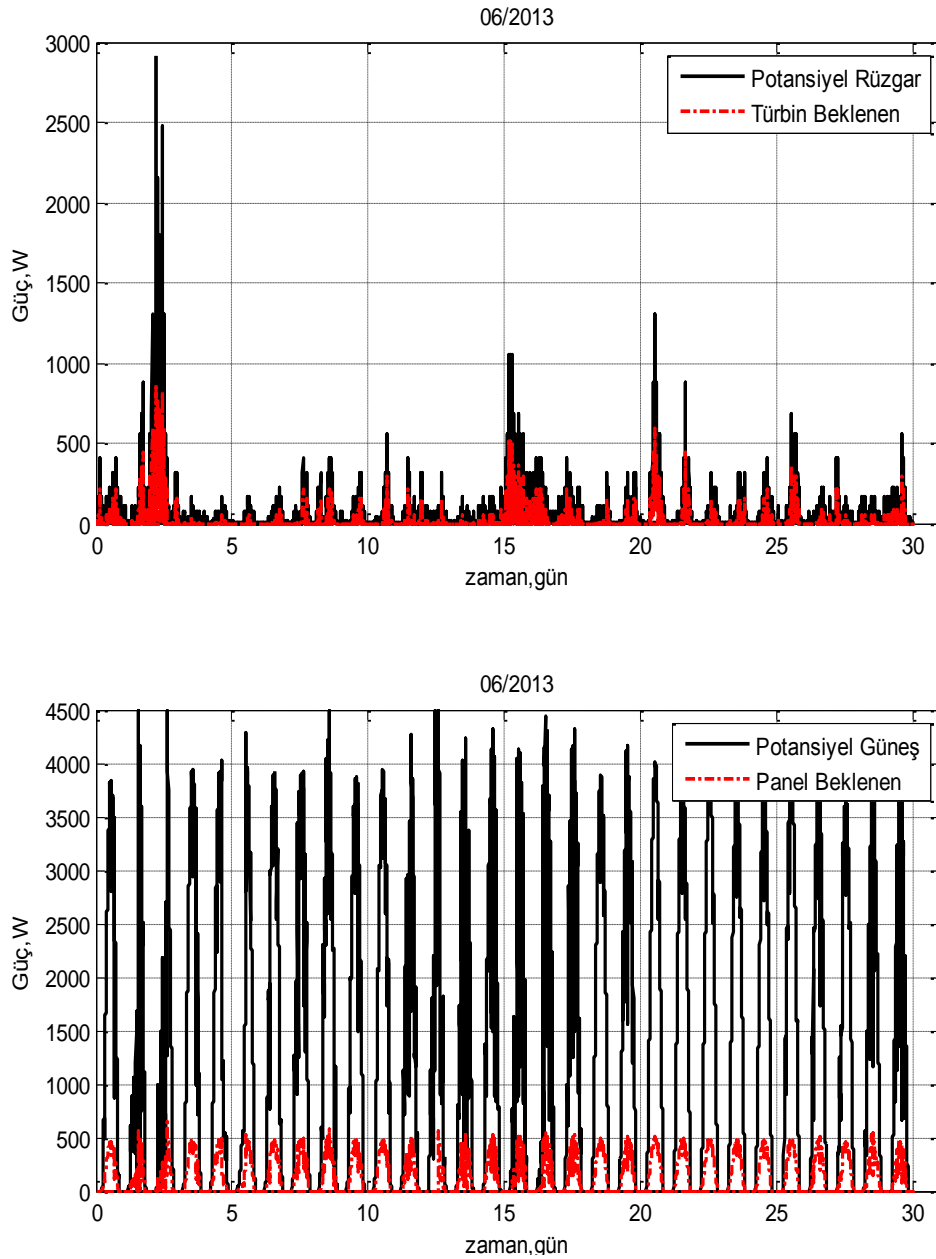
Küçük ölçekli hibrit enerji santralinden elde edilen veriler ile rüzgar hızı ile frekans, rüzgar ve güneş panellerinden beklenen ile üretilen enerji gibi veri analizleri yapılabilmektedir. Veri toplama istasyonundan alınan veriler örnek Haziran ayı için incelendiğinde, Zonguldak bölgesindeki günlük ve aylık bazda rüzgar hızı, güneş ışınımı, basınç ve sıcaklık dağılım grafiği Şekil 5.7 'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5.7 Haziran ayı rüzgar hızı, sıcaklık, basınç ve güneşlenme dağılımı.

Burada rüzgar hızının genellikle 0-5 m/sn arasında değiştiği ve güneş enerjisinden elektrik üretimi için en uygun solar radyasyon seviyesinin 9 ile 17 saatleri arasında olduğu görülmektedir. Mevcut kurulu tesiste rüzgar türbini çapı 2.7 m olduğundan dolayı  $A = \pi (1.35)^2$  den rüzgar türbini 5,72 m<sup>2</sup> alanı süpürmektedir. Aynı zamanda güneş panel ölçüleri

810x534x35mm ve 10 adet panel olduğundan dolayı paneller  $10 \times (0.81 \times 0.534) = 4.3 \text{ m}^2$  alana yerleştirilmiştir.

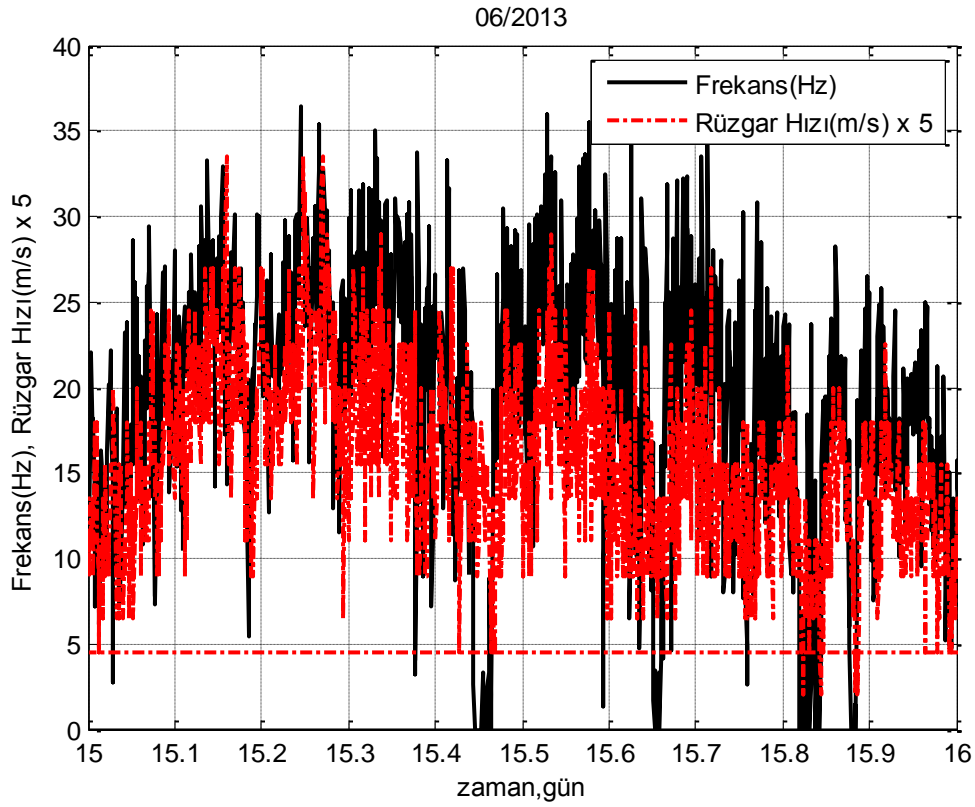


Şekil 5.8 Rüzgar ve Güneş enerjisi potansiyel ve üretilmesi beklenen güç eğrileri.

Şekil 5.8’de rüzgar ve güneş için potansiyel ve üretilmesi beklenen güç eğrileri görülmektedir. Güneş panellerimizin yüzey alanı  $4,3 \text{ m}^2$  olduğundan güneşin enerji potansiyeli ile güneş panellerince üretilmesi beklenen enerji bu alan değerine göre hesaplanmaktadır. Bu değerler  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve güneş ışınımının  $1000 \text{ W/m}^2$  olduğu durumlarda geçerlidir.  $4,3 \text{ m}^2$  alana göre güneşten enerji üretimi potansiyeli ortalama  $3500\text{-}4500 \text{ W}$  arasında değişirken, panellerimizden üretilmesi beklenen enerjinin panel verimi nedeniyle ortalama  $500 \text{ W}$

değerlerinde olduğu görülmektedir. Bu durum panel verimlerinin yaklaşık %15 olduğunu da göstermektedir. Rüzgar potansiyel gücü eşitlik 3.1'e göre, türbinden üretilmesi beklenen güç ise eşitlik 3.2'e göre hesaplanmıştır.

Şekil 5.9'da rüzgar hızı ile frekans arasındaki değişim görülmektedir. Rüzgar hızı ile frekansın değişiminin paralellik gösterdiği görülmektedir. Paralellik değişiminin iyi anlaşılabilmesi açısından rüzgar hızı değeri beş ile çarpılmıştır. Burada da rüzgar hızının değişiminin çok hızlı olması nedeniyle frekansın sabit kalmadığı, dolayısıyla rüzgar türbininden üretilen enerjinin sabit kalmadığı, sürekli değişim olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.9 Rüzgar hızı-frekans değişimi eğrisi.

## BÖLÜM 6

### BEÜNKÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİBRİT ENERJİ SANTRALİNİN DENETİMİ

Bu bölümde BülentEcevit Üniversitesi Kampüsünde bulunan tez çalışması araştırma konusu olan küçük ölçekli hibrit enerji santralının denetim sistemi incelenmektedir.

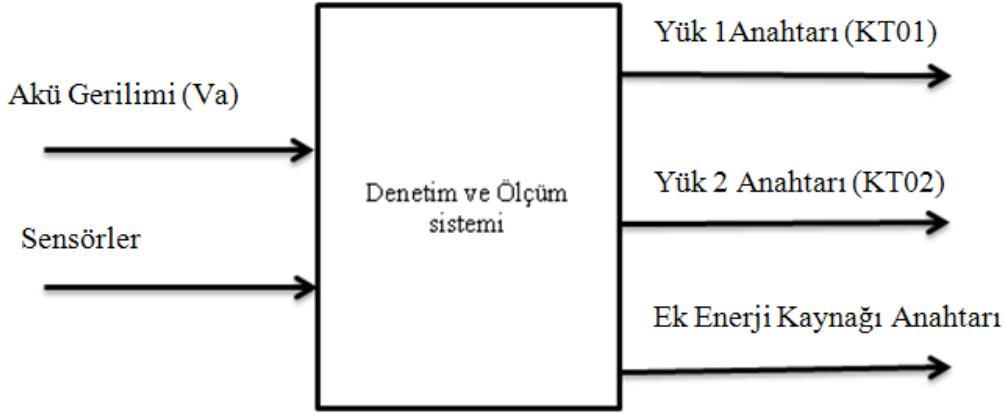
#### 6.1 HİBRİT ENERJİ SANTRALİNİN (RÜZGAR-GÜNEŞ) DENETİMİ

Küçük ölçekli hibrit enerji santralinde üretilen enerjinin verimli kullanılabilmesi ve yüklerin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi ihtiyacının karşılanabilmesi için bu tez çalışmasında hibrit enerji santralının denetlenmesi hedeflenmektedir. Burada amacımız hibrit enerji santrali tarafından üretilen enerjiyi bilmek ve sisteme bağlı yükleri öncelik sırasına göre enerji sürekliliğini sağlayacak şekilde beslemektir.

Şekil 6.1’de denetim ve ölçüm sistemi blok şeması verilmektedir. Blok şemasından anlaşılacağı üzere denetim ve ölçüm sisteminin görevini yapabilmesi için hibrit enerji santralınınŞekil 6.2’de gösterilen ölçüm noktalarından sensörler ile gerçek zamanlı veriler alınmalıdır. Sensörler ile alınan veriler denetim ve ölçüm sistemi içerisinde bulunan ve Şekil 6.3’de verilen akış şemasına göre denetim ve ölçüm sistemi tarafından değerlendirilerek yüklerimizin besleme kaynak seçimi KT01 ve KT02 anahtarları vasıtasıyla yerine getirilmektedir.

Şekil 6.3 gösterilen ve Şekil 6.1’deki denetim ve ölçüm sistemi blok şeması içerisinde bulunan akış şeması ile başlangıç ayarları yapılarak yüklerin akü geriliminin hangi aralık değerlerinde hibrit enerji santralinde üretilen enerji kaynaklarından veya diğer enerji kaynaklarından besleneceği, değişken güçteki yüklerin öncelik sırası, değişken olan yük sayısı düzenlemeleri yapılabilmektedir. Belirlenen değerler istenildiğinde değiştirilebilmektedir.

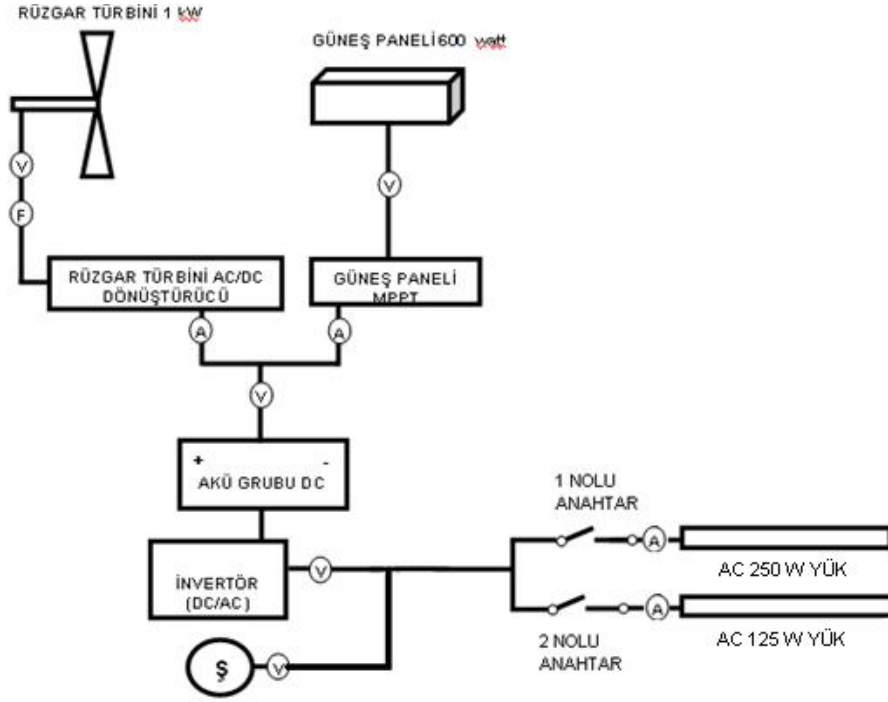
Şekil 6.2’de ölçüm alınan noktalar; Rüzgar türbini çıkışında frekans ve üç fazlı alternatif gerilim değeri, Güneş panelleri çıkışında doğru gerilim, rüzgar ve güneş enerjisi MPTT çıkışlarında ayrı ayrı olmak üzere doğru akım değerleri, akü grubu girişi gerilimi, invertör çıkışı alternatif gerilimi, şebeke gerilimi ve yükün akım değerleridir.



Şekil 6.1 Denetim sistemi blok şeması.

Hibrit enerji santralinde sensörlerden alınan verilerin kayıt altına alındığı bir bilgisayar, bilgisayarı enerji kesintilerine karşı beslemek için 600 VA gücünde kesintisiz güç kaynağı bulunmaktadır. Şekil 6.4’de denetim sistemi için tasarlanan pano görülmektedir.

Öncelikli yük denetim sistemi tarafından hibrit enerji santralinden önce beslenir ve en son devreden çıkarılır. Sistem çalıştırılınca sensörlerden veriler alınmakta ve akü gerilimi kontrol edilmektedir. Akü geriliminin değerine göre denetim ve ölçüm sistemi tarafından yüklerin anahtarlar açılıp kapatılarak besleme kaynak seçimleri yapılmaktadır.

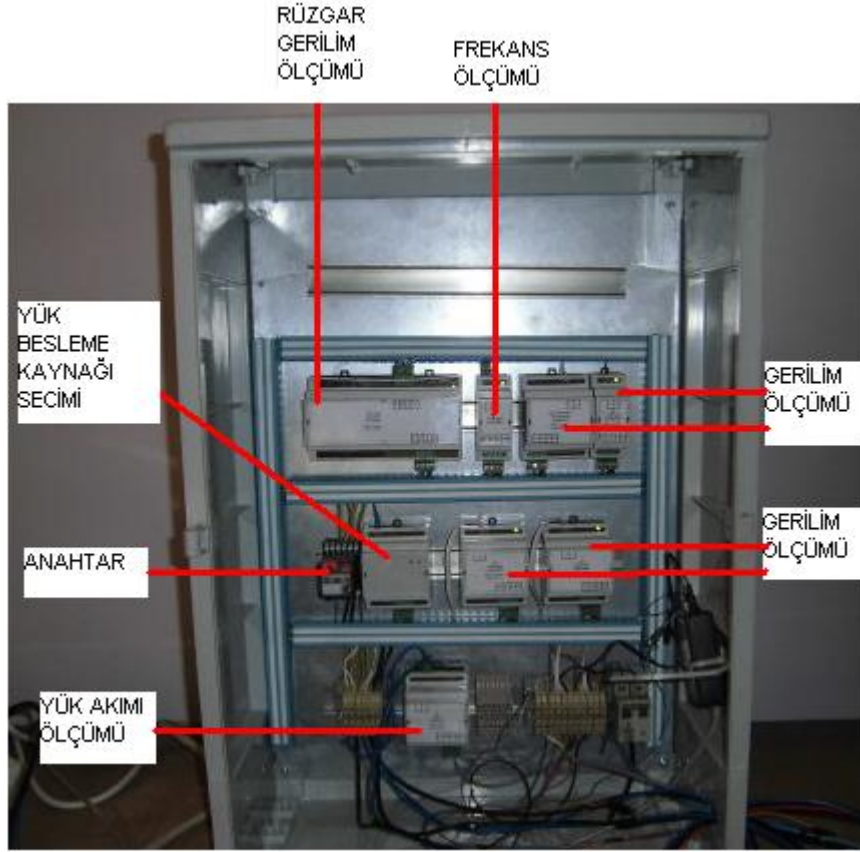


Şekil 6.2 Hibrit enerji santralinde ölçüm yapılan noktalar.



Şekil 6.3 Denetim sistemi kontrol akış şeması.





Şekil 6.4 Denetim ve ölçüm için tasarlanan pano.

Şekil 6.4’de akım ölçümü için akım sensörleri, gerilim ölçümü için gerilim sensörleri, anahtarlama işlemleri için 24 V DC röleler kullanılmaktadır.

## 6.2 DENETİM SİSTEMİ UYGULAMA SONUÇLARI

Denetim sistemi, ölçülen verileri denetim sistemi algoritması ile analiz ederek değiştirilebilen referans değerler ile karşılaştırarak değişken yüklerden hangisinin ve hangi kaynaktan beslenmesi gerektiği işlemini röleler (anahtarlar) vasıtasıyla yerine getirmektedir.

Yüklerin besleme kaynağının seçiminin yapılmasında akü geriliminin değeri önem arz etmektedir. Akünün gerilim değerine göre denetim sistemine referans gerilim değerlerine göre yüklerden hangisinin beslenmesi öncelikli ise onu beslemektedir.

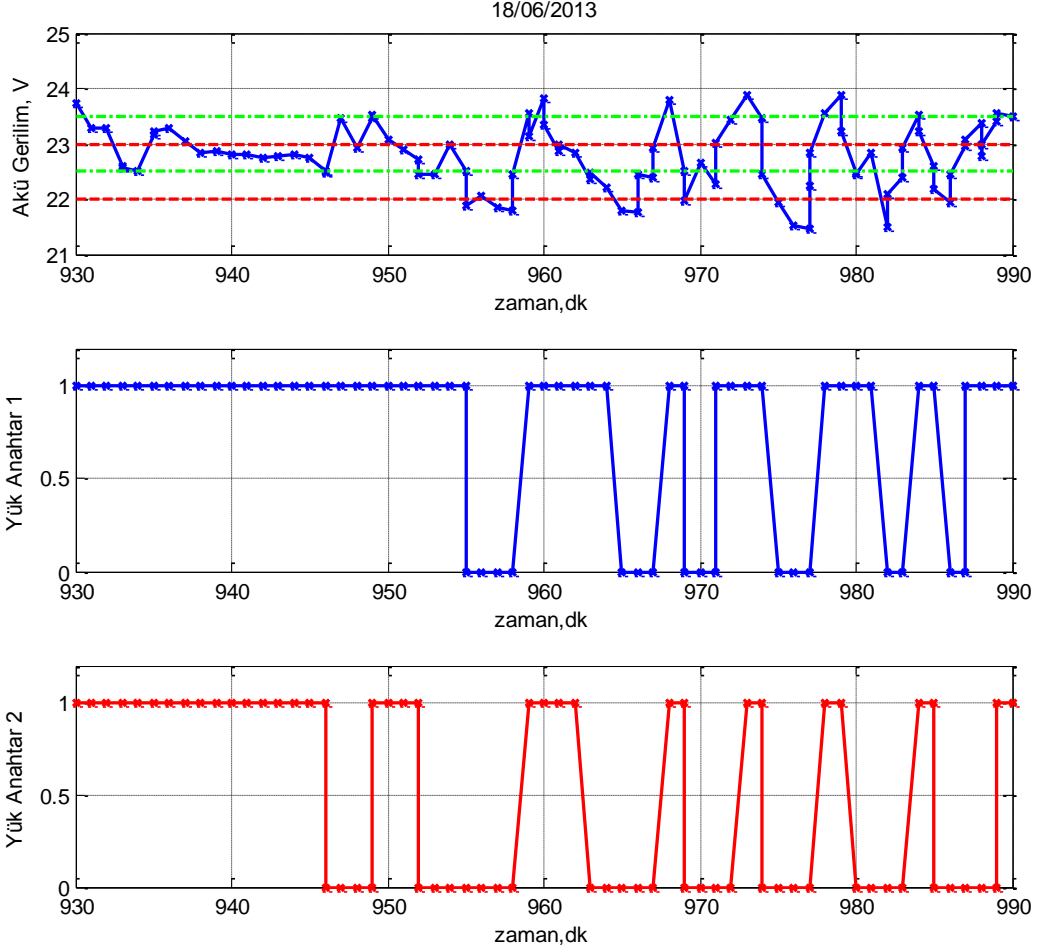
Çizelge 6.1’de akü gerilim değerine göre yük anahtarlarının pozisyonu görülmektedir. Anahtarın pozisyonunun bir olması durumu yükün hibrit enerji santrali tarafından üretilen

enerji kaynağından beslendiğini göstermektedir. Anahtarların pozisyonunun sıfır olması durumu yükün hibrit enerji santrali tarafından üretilmeyen üçüncü bir ek enerji kaynağından beslendiğini göstermektedir.

Çizelge 6.1 Yüklerin anahtar durumu ve akü gerilim değeri.

Akü gerilim (Va) Değeri	Yük 1 Anahtarı (KT01 )	Akü gerilim (Va) Değeri	Yük 1 Anahtarı (KT01 )	Akü gerilim (Va) Değeri	Yük 2 Anahtarı (KT02 )	Akü gerilim (Va) Değeri	Yük 2 Anahtarı (KT02 )
< 22	0	25>	1	< 22	0	25>	1
22	0	25	1	22	0	25	1
22,5<	0	23,5	1	22,5<	0	23,5	1
<23	0	23	1	<23	0	23	1
23	1	23>	1	23	0	23>	1
23,5	1	22,5>	1	23,5	1	22,5>	0
25	1	22	1	25	1	22	0
>25	1	22>	0	>25	1	22>	0

Denetim ve ölçüm sistemi; akü gerilim değeri (Va) 22 V ve üstünde ise KT01 anahtarını kapatarak öncelikli yükümüzü, Va gerilim değeri 22,5 V ve üzerinde ise KT02 anahtarını kapatarak diğer yükümüzü hibrit enerji santrali kaynaklarından beslemektedir. Va gerilim değeri 22 V altına düştüğünde ise yüklerimizin tamamı üçüncü bir ek enerji kaynağından beslenmektedir. Va gerilim değeri 23 V değerine ulaşana kadar öncelikli yükümüz, 23,5 V değerine ulaşana kadar da diğer yükümüz üçüncü bir ek enerji kaynağından beslenmeye devam etmektedir. Yükümüz üçüncü bir ek enerji kaynağından beslenirken akülerimiz rüzgar ve güneş enerjisinden şarj olmaya devam etmektedir. Bu değerler istenildiği zaman değiştirilebilmektedir. Burada önemli olan bir diğer hususta akünün ömrünü uzatmak açısından akülerin devreye girme gerilim değerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Akülerimiz tam şarj olmadan yükleri beslemek için devreye girerse iç yapıları bozulur ve ömürleri azalır. Şekil 6.5’de akü gerilim değerine göre yüklerimizi beslemek üzere açılıp kapanan KT01 ve KT02 anahtarlarının pozisyonları görülmektedir.



Şekil 6.5 Akü gerilimi ve anahtarların pozisyonu.

Şekil 6.5 incelendiğinde akü gerilim değeri Çizelge 6.1’de belirtilen aralıklarda bulunduğu KT01 ve KT02 anahtarlarının pozisyonlarının değiştiği görülmektedir. Yük 1 anahtarı için referans çalışma aralığı 22-23 V, yük 2 için 22,5-23,5 V olarak belirlenmiştir. Akü gerilimi değeri 22 V altına düştüğü zaman diliminde yük 1 anahtarı açılarak yük 1’i üçüncü bir ek enerji kaynağından beslemektedir. Akü gerilimi değeri 23 V ve üstüne çıktığı durumda yük 1 anahtarı kapanarak yük 1’i hibrit enerji santrali tarafından üretilen enerji kaynaklarından beslemektedir. Akü gerilimi değeri 22,5 V altına düştüğü zaman diliminde yük 2 anahtarı açılarak yük 2’yi üçüncü bir ek enerji kaynağından beslemektedir. Akü gerilimi değeri 23,5 V ve üstüne çıktığı durumda yük 2 anahtarı kapanarak yük 2’yi hibrit enerji santrali tarafından üretilen enerji kaynaklarından beslemektedir. Yüklerin beslendiği kaynaklara göre çalışma saatleri (enerji tüketim saatleri) ve enerji tüketim yüzde değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

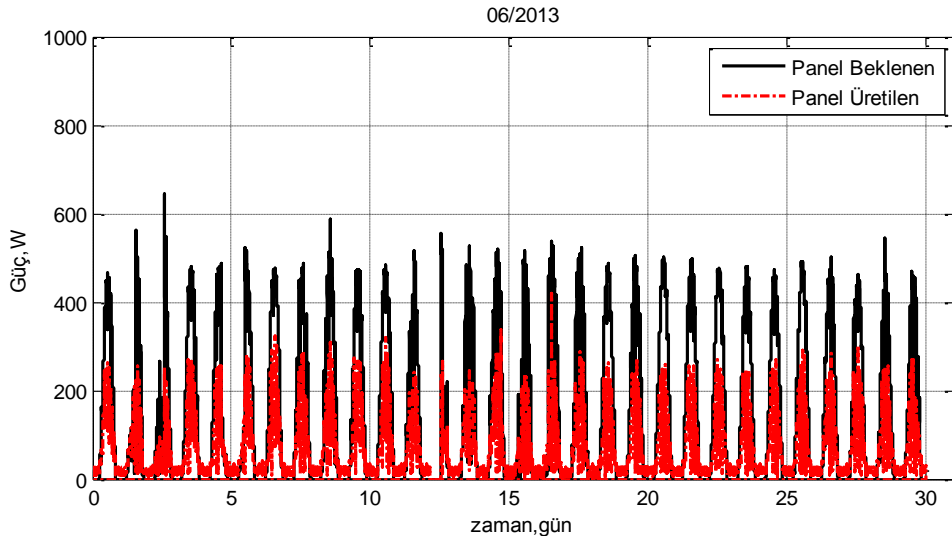
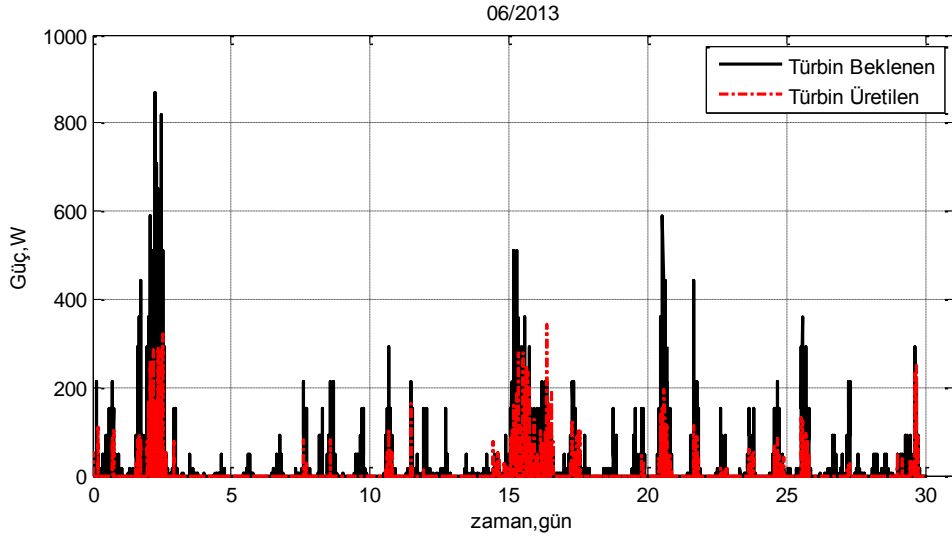
Çizelge 6.2 Yüklerin kaynaklara göre çalışma saatleri ve yüzde değerleri.

ANAHTAR	KT01 ANAHTARI				KT02 ANAHTARI			
	ÜÇÜNCÜ ENERJİ KAYNAĞI		HİBRİT ENERJİ SANTRALİ KAYNAĞI		ÜÇÜNCÜ ENERJİ KAYNAĞI		HİBRİT ENERJİ SANTRALİ KAYNAĞI	
AYLAR / ENERJİ KAYNAĞI	BESLENME SÜRESİ (Saat)	BESLENME YÜZDESİ (%)	BESLENME SÜRESİ (Saat)	BESLENME YÜZDESİ (%)	BESLENME SÜRESİ (Saat)	BESLENME YÜZDESİ (%)	BESLENME SÜRESİ (Saat)	BESLENME YÜZDESİ (%)
MAYIS	228,5	%37,1	515,5	%69	517	%69	227	%35
HAZİRAN	56	%7,7	664	%92,2	390	%54	330	%45
TEMMUZ	92	%15,9	484	%84	407	%78	169	%29

Çizelge 6.2 incelendiğinde üç aylık dönemde öncelikli yükümüzün ortalama %82 oranında, ikinci yükümüzün %36 oranında, yüklerimizin tamamının %60 oranında hibrit enerji santrali üretim kaynaklarından beslendiği anlaşılmaktadır. Yüklerimizin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi için diğer enerji kaynaklarından 258 kWh, %40 oranında faydalanılmıştır. Haziran ayında tüketilen enerjinin 168 kWh'i hibrit enerji santrali kaynaklarından, 86 kWh tüketimin ise diğer enerji kaynaklarından karşılandığı anlaşılmaktadır. Hibrit enerji santralinin haziran ayı verimi %66 oranındadır. Hibrit enerji santraline ait yük ve yük besleme bilgileri ek açıklamalar (Ek A) bölümünde verilmektedir.

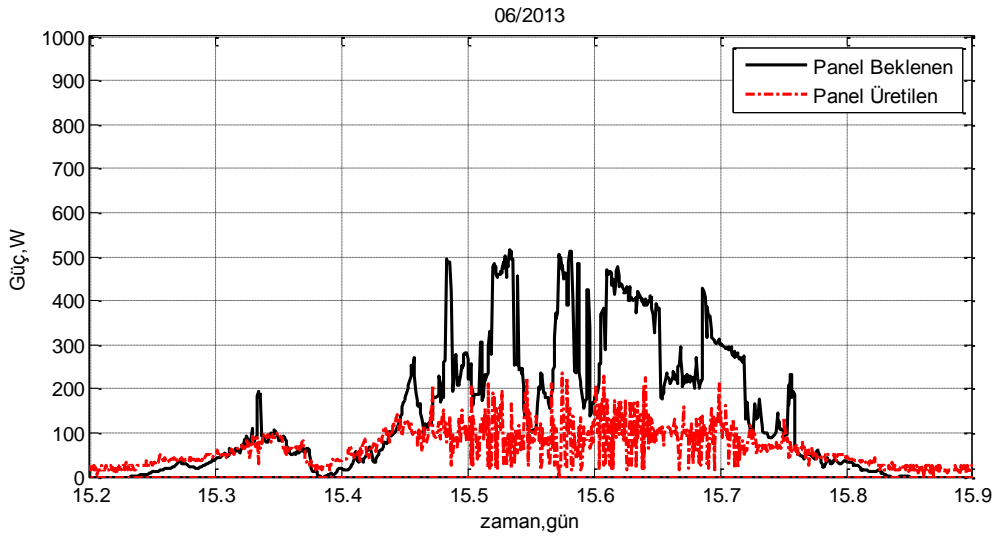
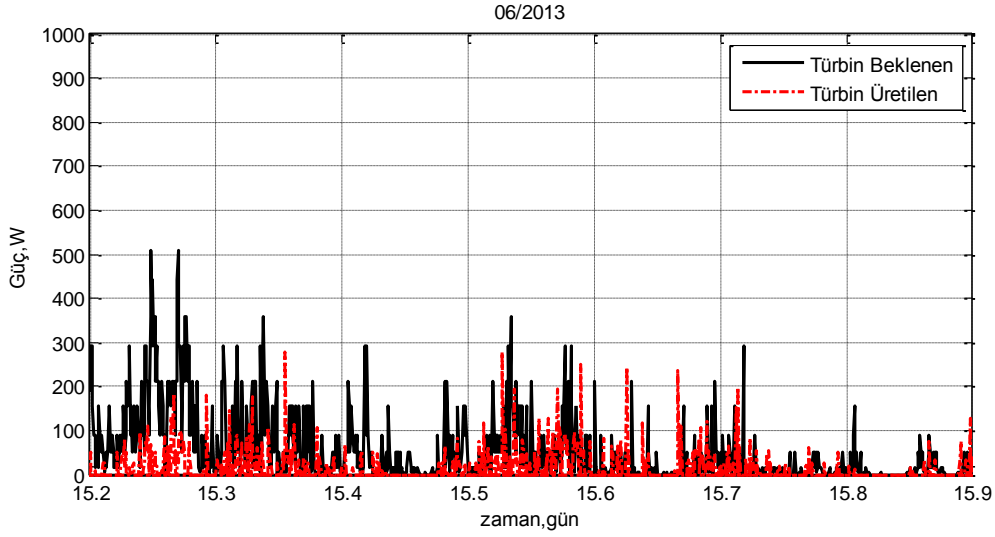
### 6.3 DENETİM SİSTEMİ VERİ ANALİZİ

Burada denetim ve ölçüm sisteminden elde edilen veriler değerlendirilmektedir. Şekil 6.6'da hibrit enerji santrali kaynaklarından üretilmesi beklenen enerji ile üretilen enerji değerleri görülmektedir. Güneş enerjisinden beklenen üretimin ortalama 500 W olması beklenirken gerçekleşen üretimin ortalama 250 W civarlarında olduğu görülmektedir. Üretimin 250 W civarlarında olmasının nedenlerinin ise güneş ışınımının panellere dik gelmemesi, ortam sıcaklığı ve akülerin dolu olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yaz aylarında güneş potansiyelinin arttığı ve yaklaşık sabit kaldığı, rüzgar potansiyelinin azaldığı görülmektedir.



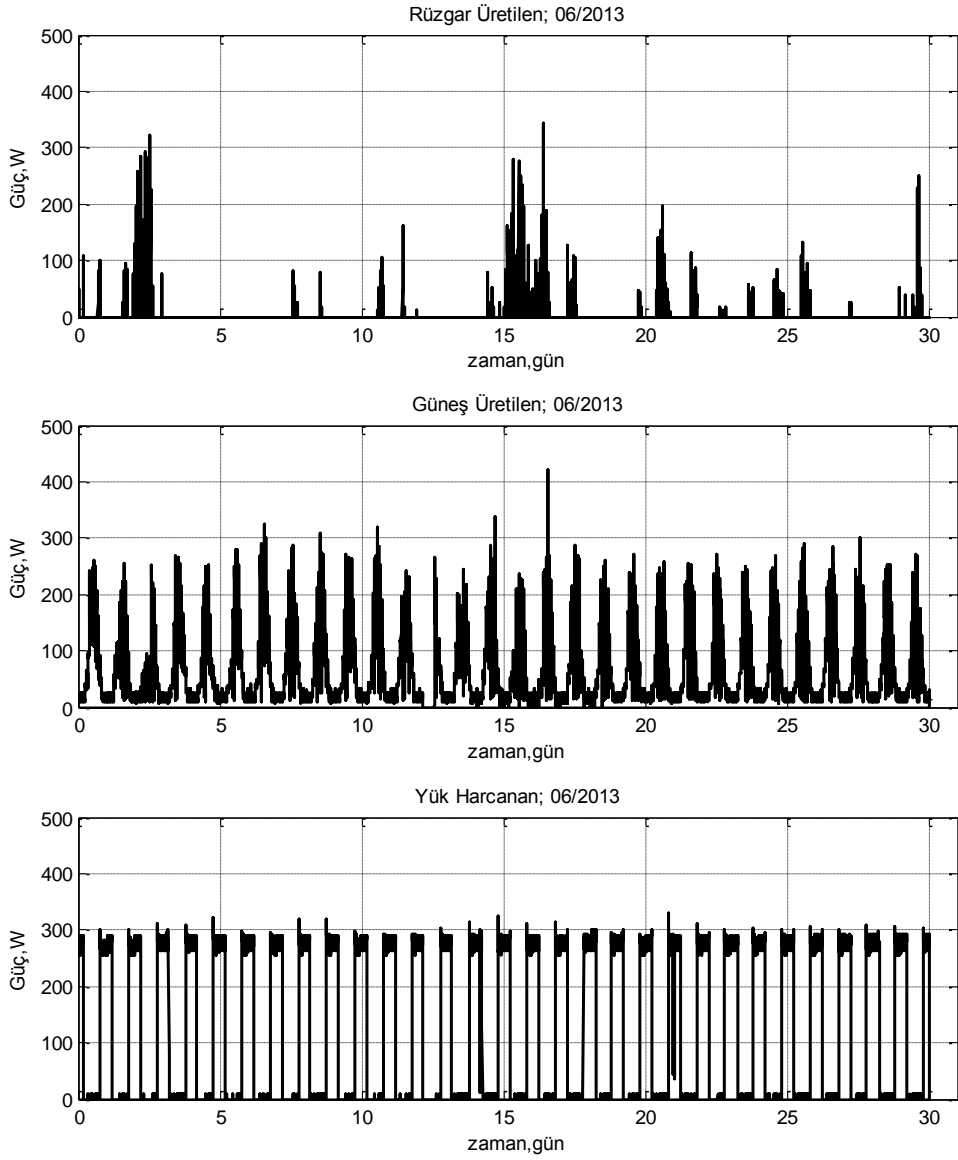
Şekil 6.6 Haziran ayı üretilmesi beklenen ve üretilen güç eğrileri.

Şekil 6.6'daki bir aylık Şekil 6.7'de günlük olarak incelenmektedir. Şekil 6.7'de beklenen ve üretilen enerji değişimleri daha net görülmektedir. Rüzgardan beklenen ve üretilen enerjinin değişimlerinin çok olduğu, sabit kalmadığı anlaşılmaktadır. Bunun rüzgar hızının çok hızlı değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Güneş panellerinden beklenen ve üretilen enerjinin farklılık göstermediği görülmektedir.



Şekil 6.7 Günlük üretilmesi beklenen ve üretilen güç eğrileri.

Şekil 6.8’de rüzgar türbini ve güneş panellerinden üretilen enerji ile yükler tarafından tüketilen enerji değişimleri görülmektedir. Enerji tüketen yük toplamının 300 W civarında olduğu görülmektedir. Şekil 6.8 incelendiğinde haziran ayında 600 Wp’lik güneş panelinden 1 kW’lık rüzgar türbinine göre daha fazla enerji üretildiği, üretilen enerjinin gün içerisinde sabit kaldığı ve süreklilik arz ettiği dikkat çekmektedir.



Şekil 6.8 Hibrit enerji santralinde üretilen ve tüketilen güç eğrileri.

#### 6.4 RÜZGAR TÜRBİNİNİN BAKIMININ YAPILMASI

Hibrit santral denetim sistemi çalışmaları devam ederken rüzgar türbini bakımı da yapılmıştır. Rüzgar türbini bakım çalışmaları ile ilgili bilgilere ek açıklamalar (Ek B) bölümünde yer verilmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş enerjisine dayalı çalışan, küçük ölçekli hibrit enerji santralinin denetimi yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak rüzgar türbini ve güneş panellerine ek olarak veri toplama sisteminden alınan verilerin yanında akım, gerilim ve frekans ölçümleri gerçek zamanlı ölçülerek incelenmiştir. Sensörlerden alınan veriler ve akü gerilim değeri denetim sistemi tarafından değerlendirilerek sisteme bağlı yüklerin öncelik sırasına göre besleme kaynak seçimi anahtarlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Denetim sistemi yazılım programı ile değişken güçteki yüklerin besleme kaynağının seçimini yapmak, akülerin yükleri besleme gerilim değerlerini değiştirmek mümkün olabilmektedir.

Rüzgar enerjisi rüzgar hızının küpü ile orantılı olarak değişmekte ve rüzgar türbini özelliklerine ( $C_p$  katsayısı) dayalı olarak da enerji üretimi sağlanmaktadır. Bu çalışmada öncelikle, kullanılan rüzgar türbininin özelliklerine dayalı olarak ortalama dakikalık veriler ile üretilmesi beklenen enerji hesaplanmıştır. Ancak yapılan gözlemlerde bölgenin engebeli arazi yapısı nedeni ile ani rüzgar değişimlerine açık olduğu, saniyeler kadar kısa sürelerde rüzgar hızı değişimi olduğu ve rüzgar hızının neredeyse hiç sabit kalmadığı görülmüştür

Güneş enerji potansiyeli güneşlenme miktarı, sıcaklık ve bölgedeki güneşlenme miktarına bağlı olarak ortalama dakikalık veriler kullanılarak elde edilmiştir. Güneşlenmedeki değişimin rüzgardaki değişimden çok daha yavaş olduğu görülmüştür.

Rüzgar enerji üretimin bölgede kış aylarında yüksek olduğu, güneş enerji üretiminin de yaz aylarında yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum her iki yenilenebilir enerji kaynağının birlikte bir hibrit santralde kullanılması gerekliliğini göstermektedir. Bölgesel enerji probleminin çözümlenebileceği bu örnek enerji santraline bir üçüncü ek enerji kaynağı da eklenerek enerji ihtiyacının sürekliliği sağlanabilir.



Denetim sisteminin olmadığı durumlarda hibrit enerji santrali tarafından üretilen enerjinin, yükler tarafında kısa sürede tüketilecektir. Üçüncü enerji kaynağının olmadığı durumlarda, öncelik arz etmeyen yüklerin devrede olması nedeniyle öncelikli yükler için enerji sürekliliğini sağlamak mümkün olmayacaktır.

Denetim sisteminin geliştirilebilmesi için güneş takip sistemi ile panellerin desteklenmesi, akü kapasitesinin artırılması ile üniversitenin belirlenecek bir bölümünün enerji beslemesinin hibrit santralden yapılması detaylı olarak araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Agbossou K, Chahine R, Hamelin J, Laurencelle F, Anouar A, StArnaud J M and Bose T K** (2001) Renewable energy systems based on hydrogen for remote applications, *J.Pow.Sou.*, 96(1): 168-172.
- Apaydın M, Filik B Ü, Kurban M ve Üstün K A** (2009) Kyoto Protokolü Kapsamında Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikalarına Genel Bir Bakış, *V. Yenilenebilir enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 23-28.
- Akpınar A, Kömürcü D M ve Kankal M** (2008) Hidroelektrik enerjisi, *Türkiye'de Hidroelektrik Enerjisinin Durumu ve Geleceği*, Gümüşhane Üniversitesi, 2-10.
- Altaş H İ** (1998) Fotovoltaj güneş pilleri, *3e*, 47: 66-71.
- Aytaç İ H** (2010) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Kullanan Hibrit Santral İçin Model Oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 11-25.
- Bernal-Agustin J L, Dufo-Lo'pez R and Rivas-Ascaso D M** (2006) Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions, *Renew. En.*, 31(14): 2227-2244.
- Çağlar M ve Altuntasoglu Z T** (2003) Enerji Sektöründe Serbestleşme, *Yeni Pol.,Str. S. Ekan. Etk. 2*: 157.
- Ceylan M** (2006) Muğla Bölgesinde Mermer Endüstrisinin Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama için, Matlab Paket Programı ile Rüzgar Çiftliği Tasarım Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 28-50.
- Demirtaş M** (2008) Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-75.
- Dursun E ve Binark K** (2008) Jeneratörler, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 17-19.
- Dusonchet L, Massaro F and Telaretti E** (2007) Clean energy, International Conference Clean Electrical Power, University of Palermo, 651-655.
- EPDK** (2012) Enerji değerleri, *Enerji Yatırımcısı El Kitabı*, Ankara, 5-60.
- ETKB** (2010) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve ilgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, *Mavi kitap*, Ankara, 9-29.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Fesli U** (2009) Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 30-32.
- Hammons TJ** (2003) Jeothermal energy, *Power Tech Conference Proceedings*, 1: 8–9.
- Keçel S** (2007) Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-20.
- Koramaz E** (2003) Güneş enerjisi, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu*, Mersin, 2-4.
- Masters, G. M** (2004) Renewable electric power systems, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, New Jersey, 312-315.
- Mergen AF ve Zorlu S** (2006) Senkron makineler, *Elektrik Makineleri 3*, İstanbul, 180-220.
- Nakken T, Strand L R, Frantzen E, Rohden R, Eide O P** (2006) Wind energy, The Utsira wind-hydrogen system - operational experience, Norsk Hydro ASA, N-0246 OSLO, Norway.
- Nurbay N ve Çınar A** (2005) Rüzgar türbinleri, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 164-168.
- Özdamar A** (2000) Enerji kaynakları, *Ege Ün. Su Ür. Fak. Ün. Derg.*, 17: 201-213.
- Patel M R** (2006) Wind turbine design, *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation*, Second Edition, New York, USA, 25-80.
- TKBY** (2010) Yenilenebilir enerji kaynakları, *Tür. Kalk. Bank. Derg.*, 58: 5-16.
- Uğuz S** (2005) Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22.
- URL-1** (2013) Enerji raporu, <http://www.dektmk.org.tr>, 20.07.2013.
- URL-2** (2013) Türkiye rüzgar atlası ve bilgileri, <http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr>, 20.05.2013.
- URL-3** (2013) Güneş enerjisi atlası ve güneş verileri, <http://www.eie.gov.tr>, 20.06.2013.
- URL-4** (2013) Zonguldak ili güneş verileri, <http://www.eie.gov.tr/pages/67.aspx>, 22.03.2013.
- URL-5** (2013) Zonguldak ili rüzgar verileri, <http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/ZONGULDAK-REPA.pdf>, 22.04.2013.
- URL-6** (2011) Hız denetimi, <http://www.ena.com.tr/yelkapanlarindenetimi.htm>, 28.04.2013.

## **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**URL-7** (2013) Güneş pillerinin bağlantısı, <http://320volt.com/gunes-pilleri-teknolojik-uygulamaları>, 20.05.2013.

**URL-8** (2013) Şarj kontrol ünitesi, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/ders-notu>, 13.04.2013.

**URL-9** (2013) Kurulu güç, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/potansiyel.aspx>, 15.04.2013.

**URL-10** (2013) Kurulu rüzgar güçleri, [http://www.tureb.com.tr/index.php?option=com\\_docman&Itemid=86](http://www.tureb.com.tr/index.php?option=com_docman&Itemid=86), 10.06.2013.

**URL-11** (2013) Türkiye'deki enerji durumu, <http://www.enerji.gov.tr/yayinlar>, 12.05.2013.

**URL-12** (2013) Güneş enerjisi, <http://tr.wikipedia.org/wiki/enerjisi>, 21.03.2013.

**Yaoqin J, Zhongqing Y and Binggang C** (2002) A New Maximum Power Point Tracking Scheme for Wind Generation, *Power System Technology, PowerCon2002, International Conference*, 1: 144–148.



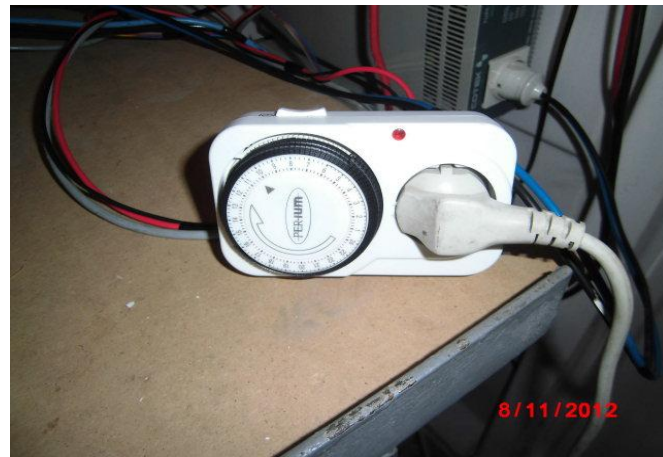
**EK A**  
**HİBRİT ENERJİ SANTRALİNE AİT YÜK VE YÜK BESLEME BİLGİLERİ**



Yüklerimizden bir tanesini oluşturan Şekil A.1'deki çevre aydınlatmalarının belirlenen zaman aralıklarında çalışması için Şekil A.2'deki zaman saati kullanılmaktadır. Böylelikle aydınlatmanın gece saatlerinde yanması sağlanmaktadır.



Şekil A.1 Hibrit enerji santralinden beslenen yükler.



Şekil A.2 Yükün zamana bağlı çalışmasını sağlayan zaman saati.

Şekil A.3'de sistemimizde Akü-yük ve alternatif besleme kaynağı seçiminin yapıldığı röle görülmektedir.





Şekil A.3 Akü-yük ve alternatif besleme seçimini yapan role ve ölçüm bağlantı kutusu.

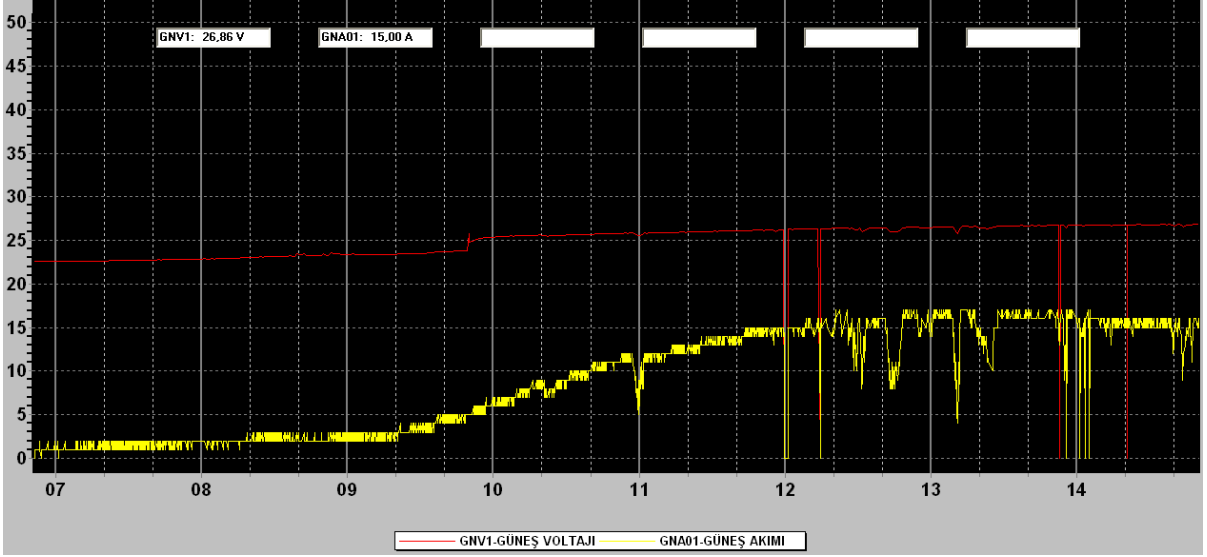
Şekil A.4'de rüzgar ve güneş sisteminin akım değerlerinin ölçüldüğü akım sensörleri görülmektedir.



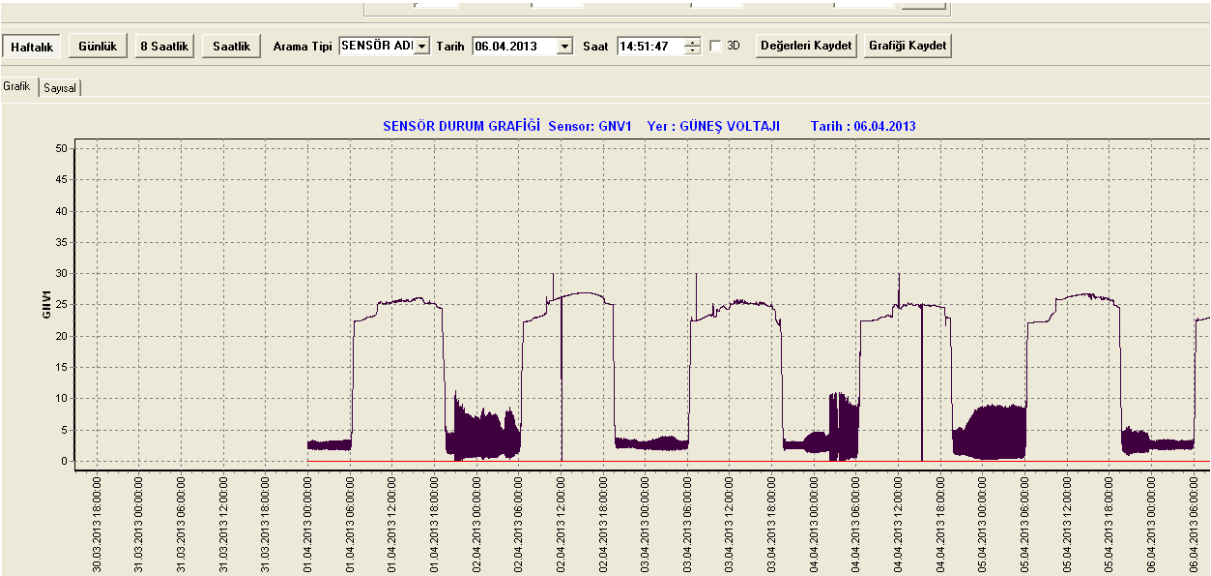
Şekil A.4 Rüzgar ve Güneş MPPT çıkışı akım ölçüm noktaları.

Şekil A.5'de ölçülen verilerin grafiksel değerleri görülmektedir. Denetim sistemi algoritması ile grafiksel değeri görülmek istenen ölçüm noktası değişimi yapılabilmektedir.

Denetim sistemi tarafından kayıt altına alınan verilerin haftalık- günlük- 8 saatlik veya saatlik değerlerini sayısal ya da grafiksel olarak görülebilmektedir. Şekil A.5'de iki veriye ait tek bir grafik, Şekil A.6'da ise tek bir veriye ait grafik görülmektedir. Aynı birim değerine sahip farklı sayıda ölçüm noktası değeri aynı ekran üzerinde grafiksel olarak izlenebilmektedir.



Şekil A.5 Güneş panellerine ait akım ve gerilim ölçüm sonuç grafiği.



Şekil A.6 Güneş paneli voltajının tek grafik olarak ölçümü.



**EK B**  
**RÜZGAR TÜRBİNİNİN BAKIMININ YAPILMASI**



Rüzgar türbininin planlanan bakımı için gerekli olan tüm malzemeler hazırlanmıştır. 18 yüksekliğindeki Şekil B.1'deki rüzgar türbini direğini indirmek için Şekil B.2'deki vinç kiralanmıştır. 13.04.2013 tarihinde rüzgar türbini sepeti 40 metre kadar uzayan vinç yardımı Şekil B.3 ve Şekil B.4'deki gibi etrafındaki eski halatlardan da tutularak kontrollü olarak zemine indirilmiştir.



Şekil B.1 Rüzgar türbini ve direği.



Şekil B.2 Türbin bakımı için gelen vinç.



Şekil B.3 Rüzgâr türbininin indirilmesi.



Şekil B.4 Rüzgâr türbininin indirilmesi.

İndirilen rüzgar türbinin Şekil B.5 ve Şekil B.6' da görülen tüm civataları, kablo bağlantıları kontrol edilmiştir. Mekanik aksam ve yatakları yağlanarak temizliği yapılmıştır.



Şekil B.5 Rüzgâr türbini.



Şekil B.6 Türbin iç görünümü.

Şekil B.7 ve B.8’de görülen meteoroloji ölçüm istasyonunun temizliği yapılarak kablo bağlantı civataları kontrol edilmiş ve meteoroloji ölçüm istasyonunun pili değiştirilmiştir.



Şekil B.7 Meteoroloji istasyonu.



Şekil B.8 Meteoroloji istasyonu pil yeri.

Bakım işlemi tamamlandıktan sonra yerde hazır olan gergi betonlarındaki demirlere Şekil B.9’deki gergi aparatları takılmıştır. Rüzgâr direğine Şekil B.10’daki halatlar kelepçeler yardımı ile monte edilmiştir. Bakım işlemi yaklaşık olarak 6 saat sürmüştür.



Şekil B.9 Gergi aparatı.



Şekil B.10 Halat.

**EK C**  
**MATLAB PROGRAM PARÇALARI**





### Solar 60 M Karakteristikleri:

% Solaris P60M 60Wp, Solar panel karakteristikleri, Gerilim değilimini verelim.

Va = (0:25)';

% 1000 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımı değerinde sıcaklık etkisini inceleyelim.

T = (-50:25:75)';

Ia\_T = zeros(length(Va),length(T));

for ii = 1:length(T);

Ia\_T(:,ii) = solarisp60m(Va,1,T(ii));

end

figure(1),

plot(Va,Ia\_T,[18 18],[0 4],':r'),axis([xlim 0 4]),grid,

xlabel('Gerilim, (V)'),ylabel('Akım, (A)'),title(['Sıcaklık,  
[',num2str(T(1)),',',num2str(T(end)),']<sup>o</sup>C, Güneş Işınımı 1000 W/m<sup>2</sup>'])

ii = 21; text(Va(ii)+1,Ia\_T(ii,1),[num2str(T(1)), '<sup>o</sup>C'])

ii = 19; text(Va(ii)-2,Ia\_T(ii,length(T)),[num2str(T(end)), '<sup>o</sup>C'])

% 25 C de güneş ışınımı değişimi etkisini inceleyelim

suns = (1:-0.2:0.2)';

Ia\_s = zeros(length(Va),length(suns));

for ii = 1:length(suns);

Ia\_s(:,ii) = solarisp60m(Va,suns(ii),25);

End

figure(2),

plot(Va,Ia\_s,[18 18],[0 4],':r'),axis([xlim 0 4]),grid,

xlabel('Gerilim, (V)'),ylabel('Akım, (A)'),title(['Güneş Işınımı,  
[',num2str(suns(end)\*1000),',',num2str(suns(1)\*1000),'] W/m<sup>2</sup>, Sıcaklık 25<sup>o</sup>C'])

for ii = 1:length(suns);

```

text(Va(6),Ia_s(5,ii)+.1,[num2str(suns(ii)*1000),' W/m^2']);
end
disp('When Va = 18.00 V')
disp('TIa')
disp([T,Ia_T(19,:)])
disp('Sun*1000Ia')
disp([suns,Ia_s(19,:)])

figure(3),
plot(Va,Ia_T.*kron(Va,ones(1,length(T))),[18 18],[0 80],':r'),axis([xlim 0 70]),grid,
xlabel('Gerilim, (V)'),ylabel('Güç, (W)'),title(['Sıcaklık, ',num2str(T(1)),', ',num2str(T(end)),']^oC, Güneş Işınımı 1000 W/m^2'])

figure(4),
plot(Va,Ia_s.*kron(Va,ones(1,length(suns))),[18 18],[0 80],':r'),axis([xlim 0 70]),grid,
xlabel('Gerilim, (V)'),ylabel('Güç, (W)'),title(['Güneş Işınımı, ',num2str(suns(end)*1000),', ',num2str(suns(1)*1000),'] W/m^2, Sıcaklık 25^oC'])
disp(['When Va = 18.00 V at 25 C, Ia = ',num2str(solarisp60m(18,1,25)),', A, and P = ',num2str(18*solarisp60m(18,1,25)),', W'])

```

### Statik Rüzgar Modeli:

```

function [P_e,P_ae] = whisper200(r_g,r_ag)
% Whisper 200 rüzgar hızı enerji üretimi% eğrilerinin elde edilmesi
% grafikler kullanılarak rüzgar hızı (m/s) enerji (kWh) verileri
r = [2.3:1.1:20.3]';
P = [0,70,150,310,480,700,820,930,990,1000,1000,980,960,930,900,850,800]';
p = polyfit(r,P,5);
r_a = [1.8:0.45:8.1]';
P_a = [0,10,25,50,75,100,140,170,200,230,270,310,340,360,380]';
p_a = polyfit(r_a,P_a,5);
if nargin == 1 r_ag = r_a;
elseif nargin == 0
r_g = r; r_ag = r_a;

```

```

end
if nargout < 1

figure(1),
subplot(211),plot(r,P,'*',r,polyval(p,r)),grid,axis([2.1 20.5 0 1100]),
xlabel('Ruzgar Hizi, m/s'),ylabel('Guc, W')
subplot(212),plot(r_a,P_a,'*',r_a,polyval(p_a,r_a)),grid,axis([1.7 8.2 0 400]),
xlabel('Ortalama Ruzgar Hizi, m/s'),ylabel('Aylık Enerji, kWh')
end

P_e = polyval(p,r_g);inx = find(r_g<2.3); P_e(inx) = 0;
P_ae = polyval(p_a,r_ag);inx = find(r_ag<1.8); P_ae(inx) = 0;

```

### Aylık Bazda Rüzgar, Güneş, Basınç ve Sıcaklık:

```
% testRGdata.m
```

```
% Meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Buna göre öncelikle .TXT olarak kaydedilen aylık veridosyaları EXCEL dosyası olarak ay ve yıla göre, örneğin beu_06_2013.xls, olarak kaydedilir. Bu dosyalar MATLAB ile açılarak tarih bilgisine txtolarak, zaman ve diğer bilgilere numerik olarak ulaşılır.[data,txt] = xlsread([data_ay,'.xls']);fonksiyonunda data numerik verilere, txt ise tarih ve sutun bilgilerini içeren alfanumerik bilgileri içerir. data veri matrisinin % 2. ila 4. sutunu sırasıyla dış sıcaklığı, en yüksek ve endüşük değerleri 7. ila 11. sutunu sırasıyla rüzgar hızını, yönünü, etkinliği, en yüksek hızı ve yönünü,16. sutunu basıncı 19. ila 22. sutunu sırasıyla güneş radyasyonu, enerjisini, en yüksek radyasyonu ve UV indeksi vermektedir.
```

```
data_ay = 'beu_06_2013'; [data,txt] = xlsread([data_ay,'.xls']); [Y, M, D, H, MN, S] = datevec(datenum((txt(3:end,1)), 'dd.mm.yyyy')+data(1:end,1)); gun = (((D-1)*24+H)*60+MN)/(24*60);
```

```
figure(1),
subplot(411),plot(gun(1:end-1,1),data(1:end-1,[7]),[0 31],3.5*[1 1], 'r'),xlabel('Zaman, gün'),ylabel('Rüzgar Hızı, m/sn'),title(['BEÜ, ',data_ay(5:6),', ',data_ay(8:end)]),axis([0 31 0 14]),grid
```

```

subplot(412),plot(gun(1:end-1,1),data(1:end-1,[2])),xlabel('Zaman, gün'),ylabel('Sıcaklık, C^o'),title(['BEÜ, ',data_ay(5:6),' ',data_ay(8:end)]),axis([0 31 ylim]),grid
subplot(413),plot(gun(1:end-1,1),data(1:end-1,[16])),xlabel('Zaman, gün'),ylabel('Basınç, bar'),title(['BEÜ, ',data_ay(5:6),' ',data_ay(8:end)]),axis([0 31 ylim]),grid
subplot(414),plot(gun(1:end-1,1),data(1:end-1,[19]),[0 31],400*[1 1], 'r'),xlabel('Zaman, gün'),ylabel('Solar Radyasyon, W/m^2'),title(['BEÜ, ',data_ay(5:6),' ',data_ay(8:end)]),axis([0 31 0 1400]),grid
Ruzgar_ay = zeros(30,60*24);Solar_ay = zeros(30,60*24);
Sicaklik_ay = zeros(30,60*24);Basinc_ay = zeros(30,60*24);
for ii=1:length(data)
    Ruzgar_ay(D(ii,1),H(ii,1)*60+MN(ii,1)+1) = data(ii,7);
    Solar_ay(D(ii,1),H(ii,1)*60+MN(ii,1)+1) = data(ii,19);
    Sicaklik_ay(D(ii,1),H(ii,1)*60+MN(ii,1)+1) = data(ii,2);
    Basinc_ay(D(ii,1),H(ii,1)*60+MN(ii,1)+1) = data(ii,16);
end

```

### Veri Düzenleme:

% BEU bölgesel Hibrit (Rüzgar+Güneş) Enerji Santral Denetimi Projesi Veri Toplama ve Değerlendirme

```

ay = '05_2013'; aa = 5; gn = 31; f_inx = [8,33,28,18,13,3,23,53,48;15184 17457 13983 82491
59153 13111 12997 16274 12995;52979 25998 15791 88656 68937 15723 15556 19816
15559;109049 39247 16043 40696 80968 15862 15843 20050 15863];

```

% Önce EXCEL dosya isimlerini gir

```
f_name_meteo = ['beu_',ay,'.xls'];
```

```
f_name_kontrol = ['beu_kontrol_',ay,'.xlsx'];
```

```
f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
```

% Tüm günler için 1 dk aralıkla örnekleme veri matrisi oluştur.

```
NN = gn*24*60+1 ; data = zeros(NN,20); date = char(zeros(NN,19));
```

```
ll = 1; for ii = 1:gn, for jj = 0:23, for kk = 0:59
```

```
    date(ll,:) = datestr([2013,aa,ii,jj,kk,0],'dd.mm.yyyy HH:MM:SS'); ll = ll+1;
```

```
end, end, end
```

```
date(ll,:) = datestr([2013,aa+1,1,0,0,0],'dd.mm.yyyy HH:MM:SS');
```

```

% Önce verileri EXCEL dosyalarından al
[ndata, text, alldata] = xlsread(f_name_meteo);
if length(ndata) == NN-1, data(2:end,1:4) = ndata(:,[7,2,16,19]);
else, kk=1;
for ii = 1:NN,
if abs(datetime(date(ii,:), 'dd.mm.yyyy HH:MM:SS') -
(datetime(text(kk+2,1), 'dd.mm.yyyy')+ndata(kk,1)))<6.9444444030523300e-04;
data(ii,1:4) = ndata(kk,[7,2,16,19]);kk = kk+1;
end end end
for wk = 1:3; [ndata, text, alldata] = xlsread(f_name_kontrol,wk);
for kk = 1:9
N = f_inx(wk+1,kk); T = datevec(text(2:N,f_inx(1,kk)), 'dd.mm.yyyy HH:MM:SS');
V = ndata(1:N-1,f_inx(1,kk)-2); % veri
for ii = 1:NN, inx = find(((T(:,3)-1)*1440+T(:,4)*60+T(:,5)) == ii);
if isempty(inx) == 0,data(ii,kk+4) = mean(V(inx,1));end
end end end
%Güçleri Hesapla
data(:,14:18) =
[data(:,6).*data(:,7),data(:,8).*data(:,9),data(:,10).*data(:,7),data(:,10).*data(:,9),data(:,11).*da
ta(:,12)];
% Verileri EXCEL dosyasına kaydet
xlswrite(f_name_veri, {'zaman','Rüzgar Hızı','Sıcaklık','Basınç','Güneş
Işınımı','Frekans','V_r','I_r','V_g','I_g','V_a','V_y','I_y','V_ş','P_r','P_g','P_ra','P_ga','P_y'},ay,'
A1:S1');
xlswrite(f_name_veri,cellstr(date),ay,['A2:A',num2str(NN+1)]);
xlswrite(f_name_veri,data,ay,['B2:S',num2str(NN+1)]);

```

### Veri Analizi:

```

% BEU Bölgesel Hibrit (Rüzgar+Güneş) Enerji Santral Denetimi Projesi
% Veri Toplama ve Degerlendirme% Önce EXCEL dosya isimlerini gir
%ay = '04_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
%ay = '05_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
ay = '06_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];

```

```

%ay = '07_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];

% Önce verileri EXCEL dosyalarından al
[ndata, text] = xlsread(f_name_veri,ay);
N = length(text);
T = datevec(text(2:N,1),'dd.mm.yyyy HH:MM:SS');
tt = ((T(:,3)-1)*1440+T(:,4)*60+T(:,5));

inx = find(isnan(ndata(:,2))==1);if length(inx)>0,for ii = 1:length(inx),ndata(inx(ii),2) =
ndata(inx(ii)-1,2);end,end
inx = find(isnan(ndata(:,4))==1);if length(inx)>0,for ii = 1:length(inx),ndata(inx(ii),4) =
ndata(inx(ii)-1,4);end,end
inx = find(isnan(ndata(:,8))==1);if length(inx)>0,for ii = 1:length(inx),ndata(inx(ii),8) =
ndata(inx(ii)-1,8);end,end

% Potansiyel Güç Hesapları
P_rp = 0.5*(1.225)*(pi*1.35^2)*ndata(:,1).^3; % P = ro*A*w_r^3/2
P_rw = whisper200(ndata(:,1)); % Whisper 200 katalog güç hesabı
I_gp = zeros(N-1,1);
for ii = 1:length(tt);
    I_gp(ii) = solarisp60m(ndata(ii,8)/2,ndata(ii,4)/1000,ndata(ii,2));
end

P_gp = ndata(:,4)*4.3; % 4.3 m^2 alanda güneşten gelen potansiyel güç
P_gs = 10*ndata(:,8)/2.*I_gp; % solaris p60 (10 adet) potansiyel güç

% Potansiyel Rüzgar/Güneş Güç
figure(11),
subplot(211),plot(tt/60/24,P_rp,'k-',tt/60/24,P_rw,'r-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0
3000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Potansiyel Rüzgar','Türbin
Beklenen'),title([ay(1:2), '/',ay(4:end)])
subplot(212),plot(tt/60/24,P_gp,'k-',tt/60/24,P_gs,'r-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0
4500]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Potansiyel Güneş','Panel
Beklenen'),title([ay(1:2), '/',ay(4:end)])

```

% Rüzgar Türbini Frekans Rüzgar Hızı değişimi

```
figure(12),plot(tt/60/24,ndata(:,5),'k-',tt/60/24,ndata(:,1)*5,'r-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0 60]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Frekans(Hz), Rüzgar Hızı(m/s) x
```

```
5'),legend('Frekans(Hz)','Rüzgar Hızı(m/s) x 5'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

```
figure(13),plot(tt/60/24,ndata(:,5),'k-',tt/60/24,ndata(:,1)*5,'r-','LineWidth',2),grid,axis([15 16 0 40]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Frekans(Hz), Rüzgar Hızı(m/s) x 5
```

```
'),legend('Frekans(Hz)','Rüzgar Hızı(m/s) x 5'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

% Teorik Cp faktörü

```
figure(14),plot(0:0.2:15,whisper200(0:0.2:15)./(0.5*(1.225)*(pi*1.35^2)*(0:0.2:15).^3),'k-','LineWidth',2),grid,xlabel('Rüzgar Hızı(m/s)'),ylabel('Whisper200 C_p faktörü')
```

% Rüzgar/Güneş beklenen ve üretilen

```
figure(15),
```

```
subplot(211),plot(tt/60/24,P_rw,'k-',tt/60/24,ndata(:,16),'r-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Türbin Beklenen','Türbin
```

```
Üretilen'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

```
subplot(212),plot(tt/60/24,P_gs,'k-',tt/60/24,ndata(:,17),'r-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Panel Beklenen','Panel
```

```
Üretilen'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

% 15. gün Günlük Rüzgar/Güneş beklenen ve üretilen

```
figure(16),
```

```
subplot(211),plot(tt/60/24,P_rw,'k-',tt/60/24,ndata(:,16),'r-','LineWidth',2),grid,axis([15.2 15.9 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Türbin Beklenen','Türbin
```

```
Üretilen'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

```
subplot(212),plot(tt/60/24,P_gs,'k-',tt/60/24,ndata(:,17),'r-','LineWidth',2),grid,axis([15.2 15.9 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Panel Beklenen','Panel
```

```
Üretilen'),title([ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

% Üretilen ve Harcanan

```
figure(17),
```

```
subplot(311),plot(tt/60/24,ndata(:,16),'k-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0 500]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),title(['Rüzgar Üretilen; ',ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```

```
subplot(312),plot(tt/60/24,ndata(:,17),'k-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0 500]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),title(['Güneş Üretilen; ',ay(1:2),'/',ay(4:end)])
```



```
subplot(313),plot(tt/60/24,ndata(:,18),'k-','LineWidth',2),grid,axis([0 31 0
500]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),title(['Yük Harcanan; ','ay(1:2),','ay(4:end)])
```

**% Günlük Ortalama Rüzgar/Güneş beklenen ve üretilen**

```
figure(18),
```

```
subplot(211),plot((0:24*60-1)/24,mean(reshape(P_rw(1:24*60*30,1),24*60,30),2),'k-
',(0:24*60-1)/24,mean(reshape(ndata(1:24*60*30,16),24*60,30),2),'r-
.','LineWidth',2),grid,axis([0 60 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Türbin
Beklenen','Türbin Üretilen'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
subplot(212),plot((0:24*60-1)/24,mean(reshape(P_gs(1:24*60*30,1),24*60,30),2),'k-
',(0:24*60-1)/24,mean(reshape(ndata(1:24*60*30,17),24*60,30),2),'r-
.','LineWidth',2),grid,axis([0 60 0 1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),legend('Panel
Beklenen','Panel Üretilen'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
disp('Potansiyel, Beklenen, Üretilen')
```

```
disp(sum([P_rp,P_rw,ndata(:,16)]))
```

```
disp(sum([P_gp,P_gs,ndata(:,17)]))
```

```
disp('Tüketilen')
```

```
disp(sum([ndata(:,18)]))
```

```
return
```

```
figure(12),
```

```
subplot(211),plot(tt/60/24,[P_rp,P_rw,ndata(:,16)]),grid,axis([0 31 0
3000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
subplot(212),plot(tt/60/24,[P_gp,P_gs,ndata(:,17)]),grid,axis([0 31 0
4300]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Güç,W'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
figure(13),
```

```
subplot(211),plot(tt/60/24,[P_rp,P_rw,ndata(:,16)]),grid,axis([15 16 0
1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Potansiyel Rüzgar Güç,W'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
subplot(212),plot(tt/60/24,[P_gp,P_gs,ndata(:,17)]),grid,axis([15 16 0
1000]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Potansiyel Güneş Güç,W'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
figure(14),plot(tt/60/24,ndata(:,[5,1])),grid,axis([0 31 0
```

```
60]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Frekans, Rüzgar Hızı'),title(['ay(1:2),','ay(4:end)])
```

```
figure(15),plot(tt/60/24,[ndata(:,5),ndata(:,1)*5]),grid,axis([15 16 0
40]),xlabel('zaman,gün'),ylabel('Frekans(Hz), Rüzgar Hızı x 5
(m/s)'),title([ay(1:2), '/', ay(4:end)])
```

```
figure(16),plot(ndata(:,1),ndata(:,5), '*'),grid,xlabel('Rüzgar
Hızı'),ylabel('Frekans'),title([ay(1:2), '/', ay(4:end)])
```

```
figure(17),plot(ndata(:,5),ndata(:,6), '*',0:40,polyval(polyfit(ndata(:,5),ndata(:,6),6),0:40), 'ro'),
grid,xlabel('Frekans'),ylabel('Rüzgar Gerilim'),title([ay(1:2), '/', ay(4:end)])
```

```
figure(18),plotyy(tt/60/24,P_rw./P_rp,tt/60/24,ndata(:,1)),grid,xlabel('zaman,gün'),ylabel('Whi
sper200 C_p faktörü'),title([ay(1:2), '/', ay(4:end)])
```

```
h = hist(ndata(:,1),16);figure(100),plot(0:0.1:15,wblpdf(0:0.1:15,2.5,1.7),0:15,h/sum(h))
```

## Veri Denetim:

```
% BEU bölgesel Hibrit (Rüzgar+Güneş) Enerji Santral Denetimi Projesi
% Veri Toplama ve Degerlendirme Önce EXCEL dosya isimlerini gir
```

```
%ay = '04_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
%ay = '05_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
ay = '06_2013';f_name_veri = ['beu_kontrol_veri_',ay,'.xlsx'];
```

```
% Önce verileri EXCEL dosyalarından al
```

```
[ndata, text, alldata] = xlsread(f_name_veri,'Sayfa1');
```

```
N = length(text);
```

```
T = datevec(text(2:N,1),'dd.mm.yyyy HH:MM:SS');
```

```
tt = (T(:,3)-18)*1440+(T(:,4))*60+T(:,5);
```

```
figure(21),
```

```
subplot(211),plot(tt/60,ndata(:,3),'-bo',tt/60,ndata(:,5),'-
rx'),grid,xlabel('zaman,dk'),ylabel('Yük Anahtar 1-
2'),title(['18/',ay(1:2), '/', ay(4:end)]),axis([xlim 0 1.2])
```

```
subplot(212),plot(tt/60,ndata(:,1),tt([1,end],1)/60,[22 22;22.5 22.5;23 23;23.5 23.5], '--
r'),grid,xlabel('zaman,dk'),ylabel('Akü Gerilim, V'),title(['18/',ay(1:2), '/', ay(4:end)]),axis([xlim
20 26])
```



## **ÖZGEÇMİŞ**

1977 yılında Trabzon ili Akçaabat ilçesinde doğdu. İlkokulu Akpınar köyü ilköğretim okulunda, ortaokulu Akçaabat ortaokulunda, lise öğrenimini Akçaabat lisesinde tamamladı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesinden Elektrik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 2006 yılında düzenlenen İş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılarak iş güvenliği uzmanı unvanını almıştır. Çevre ve Şehirçilik Bakanlığı tarafından verilen Proje ve yapı Denetçisi (Elektrik) belgesine sahiptir. Kocaeli-Gaziantep ve Balıkesir illerinde şehir şebeke işlerinde şantiye şefi olarak, İzmir’de Demir-çelik fabrikalarında Elektrik bakım-onarım mühendisi olarak görev yaptı. İş hayatını Türkiye Taşkömürü Kurumunda Elektrik Mühendisi olarak sürdürmekte olup evli ve Yiğit adında bir erkek çocuk babasıdır.

## **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : TTK Karadon Müessese Müdürlüğü  
Elektro-Mekanik İşletme Müdürlüğü Karadon/ZONGULDAK

Tel : (372) 267 32 20

Cep : (546) 579 74 40

E-posta : kok\_nur@yahoo.com