

**HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMİ İLE BİR ELEKTRİK LABORATUVARININ
GENEL AYDINLATMA TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Feyzi ÖZSOY

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMİ İLE BİR ELEKTRİK LABORATUVARININ
GENEL AYDINLATMA TASARIMI**

Mehmet Feyzi ÖZSOY

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet Feyzi ÖZSOY tarafından hazırlanan “HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİ İLE BİR ELEKTRİK LABORATUVARININ GENEL AYDINLATMA TASARIMI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Başkan : Doç. Dr. İbrahim MUTLU
Teknik Eğitim Fakültesi İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ
Teknik Eğitim Fakültesi İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN
Mühendislik Fakültesi İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi.
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28.06.2011

Mehmet Feyzi ÖZSOY

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİ İLE
BİR ELEKTRİK LABORATUVARININ GENEL AYDINLATMA TASARIMI**

Mehmet Feyzi ÖZSOY
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Bu araştırmada, Afyon Kocatepe Üniversitesinde bulunan Elektrik laboratuvarının genel aydınlatması için gerekli elektrik enerjisinin, hibrit rüzgâr-güneş güç üretim sistemi ile karşılanabilmesi için, Afyonkarahisar iline ait güneşlenme süresi ve ortalama rüzgâr hızı verileri dikkate alınarak, en uygun sistem bileşenlerinin bulunması ve maliyetini tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde tezin amacı ve kapsamı hakkında kısaca bilgi verildikten sonra hibrit güç üretim sistemleri ile daha önce yapılmış çalışmalara ait özet bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde; dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumuna değinilerek, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiş ve hibrit sistem bileşenleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde; hibrit sistem bileşenlerinin belirlenmesi için gerekli hesaplamalar yapılmış ve maliyetleri tespit edilerek en uygun sistem tasarlanmıştır. Dördüncü bölümde hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular ve bunlara etki eden parametreler verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2011, xii + 101 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Hibrit Güç Üretim Sistemleri, Tasarım

ABSTRACT
M. Sc. Thesis

**DESIGN OF A HYBRID WIND-SOLAR POWER PRODUCTION SYSTEM FOR
LIGHTENING AN ELECTRICAL LABORATORY**

Mehmet Feyzi ÖZSOY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric Education

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

In this research, was intended to obtain the cost and the optimum components of the system which meets adequate electrical energy by means of hybrid wind-solar power plant for lightening of an electricity laboratory in Afyon Kocatepe University taking into account the sunshine duration of Afyonkarahisar city and the average wind speed.

In the chapter 1, aim and scope of the thesis and basic contents of the previous studies on hybrid power plants were explained. In the chapter 2, the status of renewable energy resources were investigated in Turkey and in the world and, solar, wind and hybrid energy system were introduced. In the chapter 3, the necessary computations involving the components of the hybrid system were calculated, obtained their costs and designed the optimum system. In the chapter 4, the findings by which result of the computations and the parameters that affect them were represented. In the chapter 5, the obtaining results were evaluated.

2011, xii + 101 page

Key Words: Wind Energy, Solar Energy, Hybrid Power Plants, Design

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımını gördüğüm değerli dostum Öğr. Gör. Hakan AYDOĞAN'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Mehmet Feyzi ÖZSOY
AFYONKARAHİSAR, 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLER.....	7
2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları.....	7
2.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	9
2.1.1.1 Taşkömürü ve Linyit.....	9
2.1.1.2 Petrol.....	9
2.1.1.3 Doğal Gaz	10
2.1.1.4 Nükleer Enerji	10
2.1.2.Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	11
2.1.2.1 Hidrolik Enerji.....	12
2.1.2.2 Jeotermal Enerji.....	13
2.1.2.3 Biyomas Enerji.....	13
2.1.2.4 Dalga ve Gel-Git Enerji.....	14
2.1.2.5 Rüzgâr Enerji.....	14
2.1.2.6 Güneş Enerjisi.....	16
2.1.3 Türkiye’deki Enerji Durumu.....	17
2.1.3.1 Ülkemizde Rüzgâr Enerjisi Durumu.....	21
2.1.3.2 Ülkemizde Güneş Enerjisi Durumu.....	24
2.2 Rüzgâr Gücü Hesaplamalarındaki Kavramlar.....	25
2.2.1 Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi.....	26
2.2.2 Rüzgâr Türbini Matematiksel Modeli.....	29
2.2.3 Hava Yoğunluğu.....	29

2.2.4 Kanat Hız Oranı.....	30
2.2.5 Güç Sabiti.....	31
2.2.6 Yüksekliğin Rüzgâr Hızına Etkisi.....	33
2.2.7 Rüzgâr Hız Dağılımı.....	34
2.3 Rüzgâr Türbinleri.....	35
2.3.1 Rüzgâr Türbinleri Bileşenleri.....	35
2.3.2 Rüzgâr Türbin Sınıflandırılması.....	38
2.3.2.1 Eksen Yapılarına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	38
2.3.2.2 Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	41
2.3.2.3 Güçlerine Göre Rüzgâr Türbinleri.....	43
2.3.2.4 Kullanım Yerlerine Göre Rüzgâr Türbinleri.....	43
2.3.3 Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Generatörler.....	45
2.3.3.1 Doğru Akım Generatörleri.....	45
2.3.3.2 Senkron Generatör.....	46
2.3.3.3 Asenkron Generatör.....	48
2.4 Güneş Pilleri ve Fotovoltaik Sistemler.....	50
2.4.1 Güneş Pilleri Tarihçesi.....	51
2.4.2 Güneş Pillerinin Yapısı.....	52
2.4.3 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi.....	53
2.4.4 PV Güneş Pili Eşdeğer Devre Modeli.....	55
2.4.5 Güneş Pili Çeşitleri.....	57
2.4.5.1 Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	57
2.4.5.2 Tek-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri.....	57
2.4.5.3 Yarı-Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	58
2.4.5.4 Çok-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri.....	58
2.4.5.5 İnce Film Güneş Pilleri.....	58
2.4.5.6 Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri.....	59
2.4.5.7 Amorf Güneş Pilleri.....	59
2.4.5.8 Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri.....	60
2.5 Hibrit Sistem ve Bileşenleri.....	60
2.5.1 Konvertörler.....	61
2.5.2 İnvertörler.....	64

2.5.2.1 Bir Fazlı Yarım Dalga Gerilim Beslemeli İnvörtörler	65
2.5.2.2 Bir Fazlı Tam Dalga Gerilim Beslemeli İnvörtörler	66
2.5.2.3 Üç Fazlı Gerilim Beslemeli İnvörtörler	66
2.5.3 Aküler.....	68
3. ANALİZ VE HESAPLAMALAR.....	70
3.1 PV Panel ve Hesabı.....	71
3.1.1 PV Panel Seçimi.....	74
3.2 Rüzgâr Türbini ve Hesabı.....	75
3.2.1 Rüzgâr Türbin Seçimi.....	80
3.3 İnvörtör ve Güç Hesabı.....	82
3.3.1 İnvörtör Seçimi.....	83
3.4 Şarj Kontrolörü ve Hesabı.....	84
3.4.1 Şarj Kontrolörü Seçimi.....	85
3.5 Bataryalar ve Güç Hesabı.....	86
3.5.1 Batarya Seçimi.....	88
3.6 İletken ve Sigorta Hesabı.....	88
3.7 Sistem Bağlantı Şeması.....	89
3.8 Sistem Maliyeti.....	90
4. BULGULAR.....	91
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	92
6. KAYNAKLAR.....	94
6.1 İnternet Kaynakları.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ω	Açısal Hız (rad/sn)
Q	Anahtarlama elemanı
D	Anahtarlama oranı
V_{BAT}	Batarya gerilimi (V)
P_{AH}	Batarya kapasitesi (<i>Ah / gün</i>)
P_{L1}	Birinci grup lamba gücü (W)
L	Bobin (H)
K	Boltzmann sabiti (1.38 x 10-23 J/°K)
c	Büyüklik katsayısı
V_o	Çıkış gerilimi(V)
R	Direnç (Ω)
A	Diyot kalite faktörü
I_D	Diyotun ters doyma akımı (A)
e	Elektron yükü (1.60 x 10-19 C)
R_{SH}	Eşdeğer devrenin paralel direnci (Ω)
R_S	Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)
I_L	Fotovoltaik hücre akımı (A)
V_i	Giriş gerilimi (V)
P_{GD}	Güç dönüşüm verimi ile gerekli güç (<i>Wh / gün</i>)
MW	Havanın moleküler ağırlığı (g/mol)
R	Hava özgül gaz sabitini
ρ	Hava yoğunluğu (<i>kg / m³</i>)
h	Hesaplanacak rüzgar hızının yüksekliği (m)
P_{L2}	İkinci grup lamba gücü (W)
P_{INV}	İnvertör gücü (W)
η_{INV}	İnvertörün verimi
λ	Kanat hız oranı

C	Kondansatör (F)
K_{BAT}	Kullanılacak batarya kapasitesi ($Ah / gün$)
P	Mutlak basınç (atm)
T	Mutlak sıcaklık (K)
T	Periyot
β	Pitch açısı (°)
n	Pürüzlük katsayısını
P_{PV}	PV panel ile karşılanılacak güç ($Wh / gün$)
I_{PV}	PV panelin akımı (A)
I	PV pilin çıkış akımı (A)
V	PV pilin çıkış gerilimi (V)
h_0	Referans alınan rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m)
T	Referans çalışma sıcaklığı (°K)
V_0	Rotor kanatlarından çıkan rüzgar hızı (m/s)
V_1	Rotor kanatlarını etkileyen rüzgar hızı (m/s)
A	Rotorun süpürdüğü alan (m^2)
R	Rotor yarıçapı (m)
P_w	Rüzgardan elde edilen güç (W)
T_w	Rüzgardan elde edilen tork (N.m)
e	Rüzgardan etkilenme katsayısı
V	Rüzgar hızı (m/s)
P_{RT}	Rüzgar türbini ile karşılanılacak güç ($Wh / gün$)
C_p	Rüzgar türbinin güç sabiti
V_{SIS}	Sistem gerilimi (V)
$\eta_{\text{ŞARJ}}$	Şarj kontrolörünün verimi
$I_{\text{ŞARJ}}$	Şarj kontrolör akımı (A)
k	Şekil katsayısı
$P_{YÜK}$	Toplam yük gücü ($Wh / gün$)
$f_w(v)$	Weibull dağılım fonksiyonu

E_g Yasak enerji aralığı (eV)

Kısaltmalar

ANFÇK	Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolörü
AA	Alternatif Akım
CIS	Bakır İndiyum Diselenoid
ÇBAG	Çift Beslemeli Asenkron Generatör
DMSG	Daimi Mıknatıslı Senkron Generatör
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DA	Doğru Akım
DERT	Düşey Eksenli Rüzgar Türbini
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
PV	Fotovoltaik
HES	Hidroelektrik Santrali
BTU	İngiliz Sıcaklık Birimi
MPPT	Maksimum Güç Takibi İşlemi
OPEC	Petrol ihraç eden ülkeler
RSAG	Rotoru Sargılı Asenkron Generatör
RSSG	Rotoru Sargılı Senkron Generatör
RT	Rüzgar Türbini
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
SKAG	Sincap Kafesli Asenkron Generatör
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TEB	Ton Eşdeğeri Petrol
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği
IEA	Uluslar Arası Enerji Ajansı
ANN	Yapay Sinir Ağları
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.....	8
Şekil 2.2 Küresel rüzgar enerjinin gelişimi.....	15
Şekil 2.3 Güneş pili pazarının 2009 yılındaki dağılımı	17
Şekil 2.4 Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları	21
Şekil 2.5 Farklı kanat yapılarında $C_p - \lambda$ değişimi.....	31
Şekil 2.6 C_p ’nin tepe hız oranı ve pitch açısıyla değişimi	32
Şekil 2.7 C_p -e değişim eğrisi	33
Şekil 2.8 Rüzgar türbinindeki RSSG şebeke bağlantısı	47
Şekil 2.9 Rüzgar türbindeki DMSG şebeke bağlantısı.....	47
Şekil 2.10 Rüzgar türbindeki SKAG şebeke bağlantısı	49
Şekil 2.11 Rüzgar türbindeki RSAG şebeke bağlantısı.....	50
Şekil 2.12 Güneş pili, hücre, modül ve panel.....	51
Şekil 2.13 Güneş pilinin içyapısı.....	53
Şekil 2.14 P-N eklem oluşması	54
Şekil 2.15 Valans bandındaki bir elektronun iletken banda geçişi.....	55
Şekil 2.16 İdeal güneş pili eşdeğer devre modeli.....	56
Şekil 2.17 Alçaltan (buck) konvertör yapısı.....	62
Şekil 2.18 Yükselten (boost) konvertör yapısı	63
Şekil 2.19 Alçaltan-Yükselten (buck-boost) konvertör yapısı	63
Şekil 2.20 Bir fazlı yarım dalga invertör a) devresi şeması, b) çıkış eğrileri.....	65
Şekil 2.21 Bir fazlı tam dalga invertör a) devresi şeması, b) çıkış eğrileri	66
Şekil 2.22 Üç fazlı invertör; a) devre şeması, b) çıkış eğrileri.....	67
Şekil 3.1 Afyonkarahisar ilinin yıllık güneşlenme süreleri.....	74
Şekil 3.2 Afyonkarahisar ilinde 30m yükseklikteki rüzgar hızı.....	79
Şekil 3.3 Aylık maksimum rüzgar hızı verileri	80
Şekil 3.4 Sistem Bağlantı Şeması.....	89

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Türkiye rüzgar haritası	22
Resim 2.2 Poul La Cour'un 1891'de, Danimarka'da elektrik üreten rüzgar türbini.....	27
Resim 2.3 Rüzgar türbin bileşenleri	35
Resim 2.4 Rüzgarı önden ve arkadan alan türbin modeli.....	39
Resim 2.5 Savonious ve Darrieus rüzgâr türbinleri	41
Resim 3.1 Rüzgar-Güneş hibrit güç üretim sistemi	70
Resim 3.2 Conergy marka Q 80MI güneş panel modeli	75
Resim 3.3 TW 400W rüzgar türbini.....	81
Resim 3.4 SPW 1000W 12TS invertör	83
Resim 3.5 MX 60 PV MPPT.....	85
Resim 3.6 HZY12-100 Jel tipi akü.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Tükenebilirliğine göre enerji türleri ve kaynakları	12
Çizelge 2.2 Ülkelerin rüzgar enerjisi kurulu gücü ve artış değerleri	16
Çizelge 2.3 Birincil enerji kaynakların üretimi.....	18
Çizelge 2.4 Birincil enerji kaynakların tüketimi.....	19
Çizelge 2.5 Türkiye, kurulu güç ve yıllar itibariyle gelişimi	20
Çizelge 2.6 İşletmedeki rüzgar elektrik santralleri	23
Çizelge 2.7 Ülkemizin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	24
Çizelge 2.8 Ülkemiz güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	25
Çizelge 2.9 Kanat sayısı – λ değişimi	31
Çizelge 3.1 Güneş paneli teknik özellikleri	75
Çizelge 3.2 Rüzgar türbini teknik özellikleri.....	81
Çizelge 3.3 İnvertör teknik özellikleri	84
Çizelge 3.4 MX 60 PV Şarj kontrolörü teknik özellikleri	85
Çizelge 3.5 Jel tipi akünün teknik özellikleri.....	88
Çizelge 3.6 İletken kesiti ve sigorta değerleri.....	89
Çizelge 3.7 Sistemde kullanılan elemanlarının adedi ve maliyeti	90

1. GİRİŞ

Enerji; hayatımızın her anında ve meydana gelen her etkinlikte insanın en önemli gereksinimidir. Çağımızda enerji, sanayinin alt yapısı ve günlük hayatımızın olmazsa olmazları arasına girmiştir. Günümüzde, ülkelerin ekonomik ve sosyal zenginliklerinin en büyük ölçütü, enerji üretimi ve kişi başına enerji tüketimi olmaktadır. Ülkelerin sanayi, teknoloji ve nüfus artışı ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı enerji ihtiyacı ülkemizin ve dünya ülkelerinin ortak, güncel bir sorunu olarak önemli bir yer işgal etmektedir.

Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan enerji kaynakları tarihsel süreçle birlikte değişikliğe uğramak zorunda kalmıştır. Bunun sebebi, enerjiye olan ihtiyacın giderek artması ve şimdiye kadar enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların giderek azalmasıdır. Dünya genelinde mevcut petrol rezervleri 40 yıl, doğalgazın 60 yıl, kömür rezervlerinin ise 220 yıl, geleceğin enerji talebini karşılayacağı tahmin edilmektedir (Akgün 2006). Rezervlerin azalması ile fosil yakıtlarının maliyetlerinde ciddi bir yükselme görülmektedir. Ekonomik krizlerin en büyük faktörlerinden birisi, enerji kaynakları gösterilebilir. Bunun en bariz örneği 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizidir. 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.

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 (Ataman 2007). Fosil yakıtları gibi yenilenemeyen kaynaklara öncelik vermek sürdürülebilir bir enerji politikasından uzaktır. Bu şartlarda; fosil yakıtların tüketimini azaltmak, bunun yerine hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve dalga enerjisi gibi temiz, yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelecek enerji politikaları oluşturmak insanlık üzerine bir vazifedir (Şimşek 2007).

Yenilenebilir enerji kaynakları ayrı ayrı kullanılabilirdi gibi birliktede kullanılabilirler. Örneğin güneş, rüzgâr, dizel veya güneş, fuel cell (yakıt pili), rüzgâr veya güneş, rüzgâr, hidrojen gibi enerji kaynaklarının bir araya getirildiği hibrit enerji sistemi uygulamaları mevcuttur. 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 sistemlerin kullanımları ve geliştirilmesi konusunda ülkemizde yapılan akademik çalışma ve bulguların özet bilgileri aşağıda verilmiştir.

Engin (2002), “Fotovoltaik-Rüzgar Hibrid Enerji Sisteminin İzmir Koşullarında Tasarımı ve Denenmesi” isimli doktora çalışmasında, hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen enerjinin birim maliyetini minimum yapacak yeni bir boyutlandırma yöntemi önermiştir. Hibrit sistemde yer alan tüm elemanların performans ve maliyet değişkenlerini içeren hibrit sistem modeli oluşturulmuştur. Modelin karar verilmesi gereken değişkenleri, hedef fonksiyonu ve kısıtlamaları tanımlanmıştır. Hedef fonksiyonun optimizasyonu karar verilecek değişkenlerin modelde belirlenen aralıkta iterasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ve tüm hesaplamalar MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır.

Onat (2005), “Mini Hidroelektrik Santraller İçin Güneş Pilleri İle Uyartılan Senkron Generatör Tasarımı” isimli doktora çalışmasında, kullanım alanı gittikçe genişleyen enerji verimi yüksek ve asenkron generatörlü sistemlere göre daha esnek çalışma koşullarına sahip bir mini hidroelektrik santral simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Santralde elektrik üretici olarak senkron generatör kullanılmıştır. Senkron generatörler enerji dönüşümü yapabilmek için bir uyartım gücüne ihtiyaç duyarlar. Bu güç sistemin toplam verimini düşürmektedir. Tezde kullanılan generatörün uyartım gücü ise fotovoltaik pillerden elde edilmiştir. Böylece sistemin uyartım kayıpları sıfıra indirilerek toplam enerji verimi arttırılmıştır.

Koca (2006), “Konutlarda Hibrit Enerji Kullanımı” isimli tez çalışmasında, mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarındaki teknolojik gelişmeler ayrı ayrı incelenerek sistem verimliliğini artırmak ve enerji sürekliliğini devam ettirmek amacıyla kullanılan hibrit enerji sistemleri açıklanmıştır. Bununla birlikte müstakil bir evin enerji ihtiyacının karşılanmasında rüzgar türbini ve güneş panelin maliyet hesabı yapılmıştır.

Oğuz (2007), “Hibrid Güç Üretim Sisteminin Modellemesi, Analizi ve Neuro-Fuzzy Kontrolör Kullanılarak Sistem Performansının İyileştirilmesi” isimli doktora çalışmasında, şehir merkezinden veya enerji dağıtım şebekelerinden uzak küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacının karşılanması amacı ile hibrit, rüzgar-gaz güç üretim sisteminin Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda hibrit güç üretim sisteminin elektriksel çıkış büyüklüklerinin işletme değerlerini istenilir noktaya getirmek için Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör’ü (ANFÇK) kullanılmıştır.

Demirtaş (2008), “Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması” isimli doktora çalışmasında, güneş ve rüzgâr enerjilerini elektrik enerjisine dönüştürebilen bir hibrit enerji santrali tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan santralde, güneş ve rüzgârdan elde edilen enerji akü gruplarında depo edilmekte ve istenildiğinde yüke aktarılmaktadır. Akülerin dolu olduğu anlarda ise, üretilen enerji ya direkt yüke aktarılmakta, ya da şebekeye aktararak sürekli bir enerji üretimi yapılmaktadır. Böylece üretilen enerji hem depolanarak yük tarafından kullanılmakta, hem de şebekeye aktararak gelir sağlanabilmektedir. Sistem parçaları arasındaki iletişimi sağlamak için haberleşme modülleri tasarlanarak sistemin sürekli olarak kayıt yapabilmesi sağlanmıştır. Elde edilen veriler yardımı ile sistemin günlük, haftalık ve aylık olarak akım, gerilim, güç ve enerji değerleri kaydedilerek verimi incelenmiştir.

Hocaoğlu (2008), “Rüzgar ve Güneş Verilerinin Sinyal İşleme Yöntemleriyle Analizi ve Sistem Modellemesi” isimli doktora çalışmasında, Bu tez çalışması, yenilenebilir enerji alanında hem veri rüzgar–güneş modelleme hem de enerji üretim sistemi boyutlandırması konularında gerçekleştirilmiş özgün yaklaşımları içermektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında, saatlik değişen güneş ışıyım şiddetleri ve rüzgar hızlarını modelleyen yeni yöntemler geliştirilmiş, ikinci aşamasında ise geliştirilen bu modelleme yöntemleri de kullanılarak hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sistemlerinin boyutlandırılması için yeni bir optimizasyon algoritması oluşturulmuştur. İlk aşamada yer alan güneş ışıyım şiddeti verilerinin modellenmesi çalışmasında, veriler iki boyutlu (2-B) olarak analiz edilmiştir. Bu özgün analiz yönteminin tek boyutlu analize göre üstünlükleri 1-B ve 2-B optimal katsayılı doğrusal filtreler tasarlanarak ve yapay sinir ağları (ANN) kullanılarak gösterilmiştir. Geliştirilen 2-B yaklaşım kullanılarak saatlik güneş ışıyım şiddeti verilerinin yıl içindeki davranışları önerilen yeni bir yöntemle analitik olarak modellenmiştir. Yine tezin ilk aşamasındaki çalışmalarda yer alan rüzgar verilerinin modellenmesinde, Saklı Markov Modellerini kullanan bir modelleme yöntemi geliştirilmiş ve denenmiştir. Literatürde rüzgar modelleme konusunda ilk defa uygulanan bu yöntemin var olan diğer yöntemlere olan üstünlükleri tartışılmıştır.

Özcan (2009), “Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi” isimli tez çalışmasında, belirli bir bölgede bulunan belirli bir yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek bir sistem konfigürasyonunu belirleyebilmek için şebeke bağlantısı olan rüzgar ve güneş tabanlı örnek bir hibrit enerji sistemi HOMER ile modellenmiş ve daha sonra HOMER ile bu örnek hibrit enerji sistemi üzerinde simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örnek hibrit enerji sisteminin modellenmesi işlemi gerçekleştirilirken ise incelenen bölgenin sahip olduğu ortalama güneş ışıyımı ve ortalama rüzgar hızı değerleri için hassaslık değerleri belirlenmiş yani bir bakıma bu işlemin gerçekleştirilmesi ile başka bölgeler de tanımlanarak bu farklı bölgelerde de aynı yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek sistem konfigürasyonları belirlenmiştir.

Fesli (2009), “Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” isimli tez çalışmasında, bir ev için rüzgâr enerjisi ve güneş kolektörü ile mikrodenetleyici denetimli hibrit bir yenilenebilir enerji üretici tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu sistem bir evin mevcut elektrik bağlantısına ek olarak kurulmuştur. Tasarlanan sistemde, güneş ve rüzgârdan elde edilen enerji akü gruplarında depo edilmekte ve istenildiğinde DC yüke direkt, AC yüke

ise bir invertör yardımı ile aktarılmaktadır. Her iki enerji kaynağı da bir mikrodnetleyici üzerinden kontrol edilmekte ve sistemin akım ve gerilim bilgileri burada değerlendirilmiştir. Ayrıca güneş panellerinden elde edilecek enerjiyi en verimli şekilde üretebilmek amacıyla maksimum güç takip sistemleri kullanılmıştır. Enerji üreteçlerinin ve sisteme bağlı yükün durumu gerçek zamanlı olarak denetlenmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla sistemin günlük güç ve enerji değerleri incelenmiştir.

Dinçsoy (2010), “Orta Ölçekli Bir Otelin Elektrik Enerjisinin Hibrit Sistemler İle Modellenmesi ve Optimizasyonu” isimli tez çalışmasında, Ege bölgesinde bulunan bir otelin enerji ihtiyacını karşılayacak optimum sistem konfigürasyonunu belirlemek amacıyla, HOMER programı kullanılmıştır. Optimum sistem aranırken, şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısı sadece elektrik satışı için kullanılan, şebeke yerine dizel jeneratörün kullanıldığı, sadece yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile yükün karşılanması gibi durumları içeren farklı senaryolar incelenmiştir. Yükün tamamının yenilenebilir kaynaklar kullanılarak karşılanması durumunda da, sadece ihtiyaç fazlası elektriği şebekeye satmak için bu sistem konfigürasyonlarında da şebeke bağlantısı kullanılmıştır. Ayrıca bu senaryoların içinde, elektrik fiyatının artması, dizel yakıt fiyatının artması ve azalması gibi durumlar da göz önüne alınarak modellemeler yapılmış ve bunların arasından optimum sistem bulunmaya çalışılmıştır.

Çetin (2010), “Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi” isimli doktora çalışmasında, bir fotovoltaik-rüzgar türbini-yakıt pili hibrit enerji sistemi ele alınmıştır. Çalışmada toplam 565 W gücünde 12 V DA karakteristikli yükler ile toplam 170 W gücünde 24 V DA karakteristikli yüklerin yer aldığı bir mikro DA dağıtım sistemi kurulmuştur. Sistem üzerinde bu yüklerin devreye alınması ile çeşitli elektriksel deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları, hazırlanan Matlab benzetimi ile de karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistemin yıldırımdan korunmasına yönelik de bir koruma sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Neticede DA enerji dağıtım sistemlerinin yenilenebilir hibrit enerji sistemlerinde kullanılabilirliği, AA sistemlere göre avantajlı yönleri ve sonrasında yapılabilecek çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada ise Afyon Kocatepe niversitesinde bulunan Elektrik atölyesinin aydınlatması için gerekli olan enerjinin hibrit, rüzgar-güneş güç üretim sistemi ile karşılanmasında her bir sistem elemanın seçimi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde tezin amacı ve kapsamı hakkında kısaca bilgi verildikten sonra hibrit güç üretimi ile daha önce yapılmış çalışmalara ait özet bilgilere değinilmiştir. İkinci bölümde; güneş ve rüzgar enerjisi hakkında genel bilgiler verilerek hibrit sistem bileşenleri ele alınmıştır. üncü bölümde tasarlanan hibrit sistem için en uygun sistem bileşenleri belirlenip maliyet hesabı yapılmıştır. Dördüncü bölümde hesaplamalara göre elde edilen bulgular ve buna etki eden parametreler verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değlendirmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

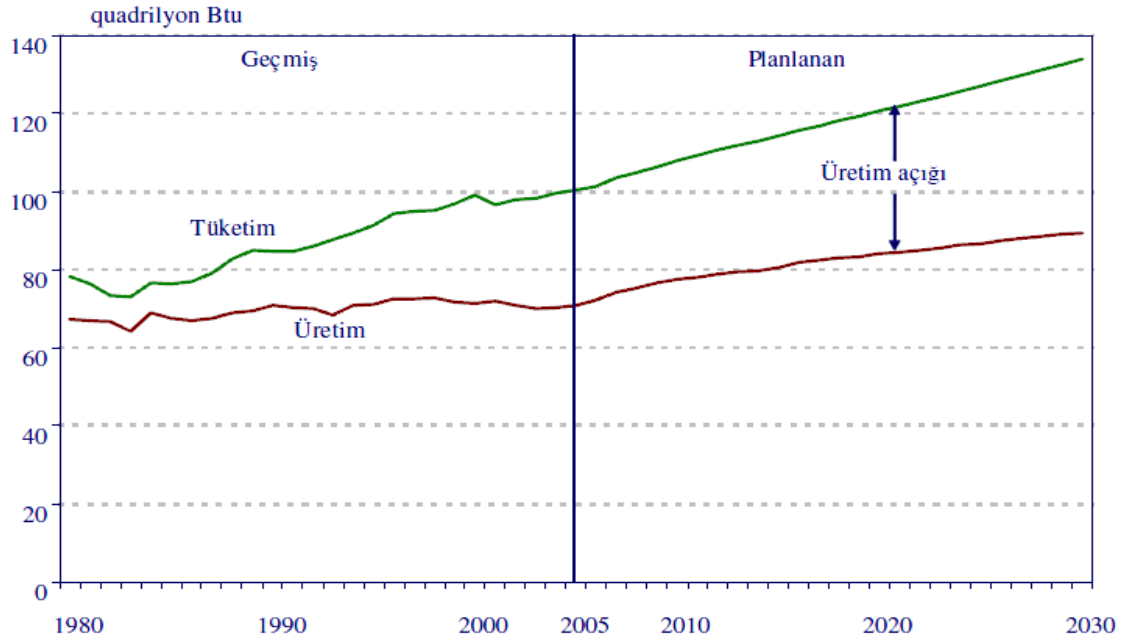
2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji iş yapma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır ve ısı enerjisi, ışık enerji, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır.

Enerji üretimi ve tüketimi, çağımızda milletlerin refah seviyesini gösteren bir ölçü olmuştur ve ekonomik gelişme enerji tüketimiyle orantılı olarak değişmektedir. Dünya devletleri ve uluslararası kuruluşlar enerji kaynaklarını (petrol, doğalgaz, kömür,vb) elde etmek için birbirleriyle yarışmaktadır. Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, enerji ihtiyacı ulusal ve uluslararası gündemde oldukça önemli bir yer tutar.

İnsanların kullandığı enerji kaynakları teknolojik gelişmelere paralel olarak değişmiştir. Önceleri, enerji kaynağı olarak sadece odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, uzun süre sonra kömür ve yakın tarihte de petrol ve doğal gaz bulunup kullanılmaya başlanmıştır. Enerji kaynaklarının tükenebilir oluşu, dışa bağımlılığın varlığı ve çevresel etkiler sebebiyle; günümüzde ülkeler için güvenli, yeterli miktarda, ucuz ve temiz enerji üretmek, ekonomik ve sosyal hayatın temel problemleri arasında yerini almaktadır. Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan ülkemizde paralel olarak enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Bu nedenle, üretilen enerjinin yüksek verimle kullanılması, mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ait potansiyelin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Etemoğlu ve İşman 2004).

Ülke ekonomilerinin hızla büyüebilmesi için enerji üretimlerinin ve enerji tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Bu enerji tüketimi ve ihtiyacı son 20 yıl içinde beklenenden %57'i daha fazla artmıştır. EIA (Uluslararası Enerji Ajansı) tarafından oluşturulan istatistiksel bilgiler doğrultusunda Dünyanın toplam enerji üretim ve tüketimine dair eğriler Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri (Demirtaş 2008)

Şekilden de anlaşılacağı üzere gelecekte üretilen enerji, talebi karşılayamayacak duruma gelecektir. Bunu engellemek için ya enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmeli ya da alternatif enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmalara hız verilmelidir.

Enerji kaynakları, niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından “birincil” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak iki grupta incelenebileceği gibi, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak da kategorize edilebilir. Birincil enerji kaynakları hiçbir değişime uğramadan doğadaki haliyle kullanılan enerji kaynaklarıdır. Taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol, doğalgaz, jeotermal enerji, hidrolik enerji, güneş enerjisi, odun, hayvan ve bitki atıkları birincil enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir. İkincil enerji kaynakları ise, birincil enerji kaynaklarının çeşitli işlemlere tabi tutularak elde edilen enerji türüdür. Elektrik enerjisi, motorin, benzin, fueloil, gaz yağı vb. bu tür enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, kullanıldığında özelliği ve miktarı değişmeyen enerji türüdür. Örneğin; güneş, rüzgâr, biokütle, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları, jeotermal bu tür enerji kaynağıdır. Yenilenemez enerji kaynakları; maddenin tekrar kullanılamayacağı, özelliğinde ve miktarında değişikliğe uğrayan enerji kaynağı olarak tanımlanır. Kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum bu grup içinde yer almaktadır (Demirtaş 2008).

2.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

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.

2.1.1.1 Taşkömürü ve Linyit

Kömür, dünyada en büyük rezerve sahip fosil yakıt grubundan birisidir. 2008 yılı itibariyle Dünyanın toplam kömür rezervleri 826 milyar ton dur. Ülke bazında ABD 238 milyar ton olan kömür rezerviyle dünya kömür rezervlerinin %28,8'ine sahip iken Rusya %19, Çin %14, Avustralya %9,2, Hindistan %7,1, Ukrayna %4,1, Kazakistan %3,8, Güney Afrika %3,7, diğer ülkeler ise %10,4'üne sahiptirler. Görüldüğü gibi Dünya kömür rezervlerinin %90'ı 8 ülke arasında dağılmaktadır. Dünya kömür rezervlerinin %90'ı beş kıtaya dağılmış olmasına karşın en büyük pay Asya kıtasındadır. Türkiye toplam 12,8 milyar ton kömür rezerviyle dünya kömür rezervinin %1,5'ine sahiptir. Diğer taraftan, 2009 yılı itibariyle 150 milyar ton olan dünya linyit rezervlerinin en önemli payı %25 Avustralya da bulunmaktadır. Türkiye 11,5 milyar ton linyit rezerviyle Dünya linyit rezervlerinin %7,7'sine sahiptir. Türkiye'nin en büyük kömür havzası Zonguldak yöresinde yer almaktadır (İnt. Kyn. 1).

2.1.1.2 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 1 085,6 milyar varil olan rezerv miktarı 2009 sonunda 1 332,4 milyar varil (181,7 milyar ton) olmuştur. En büyük artış Venezüella, Kazakistan, Rusya, Libya ve Nijerya'da gerçekleşmiştir. Ortadoğu ülkeleri %56,6 ile en büyük payı almaktadırlar. Bunu % 14,9 ile Güney ve Orta Amerika ülkeleri izlemektedir. OPEC üyesi ülkeler dünya petrol rezervlerinin %77,2'sine sahiptirler. Rezervler ve yeni buluşlar, üretim ve tüketim ile birlikte değerlendirildiğinde, dünyada 40 yıllık süre için ham petrol arz sorunu görülmemekle birlikte, petrolün savaş nedeni olması arz-talep dengesinden çok coğrafi dağılımından kaynaklanmakta olduğu fikrini doğruluyor (İnt. Kyn. 1).

2.1.1.3 Doğal Gaz

Petrol gibi fosil kökenli bir kaynak olan doğalgaz kül ve atık bırakmadan yanan, depolama sorunu olmayan, yanma sonucunda havayı kirleten kükürtdioksit 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 (Gültekin ve Ölgün 1993). Son on yılda doğal gaz rezervleri %25 artış göstermiştir. 1999 sonu itibariyle 149 trilyon m^3 olan rezerv miktarı 2009 sonunda 185 trilyon m^3 olmuştur. En büyük artışın Katar ve Türkmenistan'da gerçekleştiği görülmektedir. 2010 başında dünya doğal gaz rezervlerinin ise, 187,5 trilyon m^3 seviyesinde olduğu saptanmıştır. Ortadoğu ülkeleri %40,6'lık bir payla ilk sırada iken, bunu %31,2 pay ile eski Sovyetler Birliği Ülkeleri izlemektedir (İnt. Kyn. 1).

2.1.1.4 Nükleer Enerji

Yenilenemez enerji kaynakları içersinde 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. Aralarında İran'ın da bulunduğu 15 ülkede ise toplam 56 santralin yapımı devam etmektedir. Türkiye'nin de yer aldığı 27 ülke ise toplam 142 adet nükleer elektrik santrali kurmayı planlamaktadır. Toplam 59 nükleer santralin üretim yaptığı Fransa elektriğinin %76,2'sini, Litvanya %72,9'unu, Slovakya %56,4'ünü, Belçika %53,8'ini, Ukrayna %47,4'ünü, İsveç %42'sini, Slovenya %41,7'sini, İsviçre %39,2'sini, Macaristan %37,2'sini, Bulgaristan %32,9'unu, Almanya %28,8'ini, ABD %19,7'sini nükleer santrallerden karşılıyor (İnt. Kyn. 2).

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımlanabilir.

Gelişen sanayi ve nüfus artışı ile sınırlı olan doğal kaynakların ziyan edilmeden ve zarar verilmeden kullanımı; insanoğlunun gündeminde en üst sıraları işgal eder duruma gelmiştir. Özellikle medeniyetlerin oluşmasını sağlayan su, yiyecek, enerji gibi doğal ve sınırlı kaynakların etkin ve temiz bir şekilde kullanımının gerekliliği bilincine varılmıştır. 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi, nükleer enerji santrallerine karşı oluşan toplumsal tepkiler ve fosil yakıtlarının kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazları olarak adlandırılan karbondioksit, metan ve azot oksit gibi gazların atmosfere salınımıyla oluşan çevre kirliliği; bilim insanlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklar üzerinde çalışmaya itmiştir.

Bugünkü enerji kullanım biçiminin devam etmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit gazı miktarı, 2030 yılında ikiye katlanarak; atmosfer sıcaklığının $25^{\circ}C$, 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 grupta incelenebilir (Özdamar 2000).

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

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI				
ANA KAYNAK	BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI	DOĞALENERJİ KAYNAKLARI	TEKNİK ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ	KULLANIM ENERJİSİ
Güneş	Su	Buharlaştırma yağış	Su güç tesisi	Elektrik enerjisi
	Rüzgâr	Atmosferdeki hava hareketi	Rüzgar enerjisi tesisi	Elektrik ve mekanik enerji
		Dalga hareketi	Dalga enerjisi tesisi	Elektrik ve mekanik enerji
	Güneş ışınları	Yer ve atmosferin ısınması	Isı pompaları	Isı enerjisi
		Güneş ışınları	Kolektör güneş pilleri	Elektrik ve ısı 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 santrali	Elektrik enerjisi

2.1.2.1 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak ortaya çıkartılan enerjidir. Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük risk potansiyeline sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. 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 36 GW'tır. Günümüz itibariyle işletmede bulunan 150 adet HES 13,83 GW'lık Kurulu güce ve toplam potansiyelin %38'ine karşılık gelmektedir. 2008 yılında elektrik üretimimizin %16,77'si hidroelektrik santrallerden temin edilmiştir. Son yıllarda yaşanan kuraklıklar

hidroelektrik santrallerinden beklenen katkının sağlanamamasına neden olmuştur (Fidan 2010).

2.1.2.2 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°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 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). Günümüzde, dünyanın birçok yerinde jeotermal enerji ile şehir, ev ve seraların ısıtılması sağlanmaktadır. Ayrıca termal tedavi merkezlerinde, yiyeceklerin ve kerestelerin kurutulmasında, sterilizasyon işlemlerinde, konservecilikte ve ağaç kaplama sanayi tesislerinde de yerini almaktadır.

Jeotermal enerji bakımından en zengin kıtalar Asya-Pasifik ve Güney Amerika'dır. Bu iki kıta, dünya jeotermal enerji potansiyelinin yaklaşık %60'ına sahiptir. Asya-Pasifik'te; Endonezya, Filipinler, Japonya ve Yeni Zelanda; G. Amerika'da; Kolombiya, Ekvator, Şili, Peru, Bolivya ve Arjantin, jeotermal enerji potansiyeli sıralamasında en üst sırada bulunan ülkelerdir (Alkan 2009).

2.1.2.3 Biyomas Enerji

Hayvansal, bitkisel atıkların ve çöplerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen biyomas enerjisi son yıllarda dünyanın birçok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Çağdaş ve klasik olmak üzere, iki grupta incelenir. Klasik yöntemde, ormanlardan elde edilen odun, bitki, hayvan atıkları yakacak olarak kullanılır. Çağdaş yöntemde ise, ağaç endüstrisi, enerji tarımı, hayvansal atıklar ve kentsel atıklar kullanılır. Çöplerin depolanması sonucunda elde edilen ve "landfill" gaz olarak adlandırılan çöp gazı, %60 oranında metan ihtiva eden önemli bir enerji kaynağıdır. Kuzey ülkelerinde, Pakistan'da, Tayland'da, Malezya'da vb. birçok ülkede çöp

santralleri vardır. Ayrıca Hollanda'nın Amsterdam şehrinde günlük yakma kapasitesi üç bin ton olan her biri 45 MW gücünde iki adet santral vardır. ABD elektrik üretiminin %4'ünü, İsveç %14'ünü, Avustralya ise %10'unu biyomas kaynaklı enerji tesislerinden sağlar. 21. yüzyıl için bu oranların dünya elektrik üretiminin %10'una ulaşacağı tahmin edilmektedir (Şen 2003).

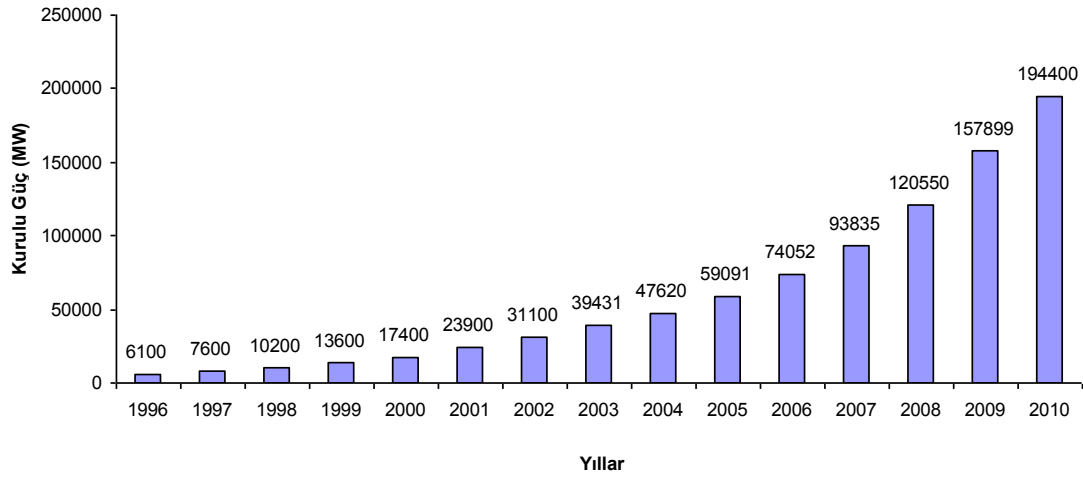
2.1.2.4 Dalga ve Gel-Git Enerjisi

Denizlerdeki ve okyanuslardaki faydalanılabilir enerji; dalga ve gel-git enerjisidir. Gel-git enerjisi ayın çekim kuvveti ile denizlerin yükselip alçalan 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 3/4'nün denizlerle kaplı olduğu düşünülürse ciddi bir potansiyelinin oluşacağı öngörülmektedir. Bu enerji yenilenebilir ve temiz bir enerji olup, son yıllarda özellikle ABD, 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. Rüzgâr hareketleriyle oluşan deniz dalgaları, diğer nedenlerle oluşan dalgalardan daha sürekli. Dalga enerjisi santralleri ise, kıyılara ve açık denizlere kurulabilir. Bu sistemler deniz tabanına yerleştirileceği gibi su yüzeyine de yüzer olarak konulabilir. 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 (TMMOB 2008).

2.1.2.5 Rüzgâr 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. Su 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 bir kasabanın elektriğini sağlayacak sistemlerde vardır.



Şekil 2.2 Küresel rüzgar enerjinin gelişimi (İnt. Kyn. 1)

1996’dan beri mevcut rüzgar kurulu gücü Şekil 2.2’de görüldüğü üzere sürekli olarak ciddi artış göstermektedir. 2010 yılında 36 501 MW gücünde rüzgâr enerjisi santralinin (RES) devreye alınmasıyla küresel rüzgar enerjisi kurulu gücü 194 400 MW’a yükselmiştir. 2009 ve 2010 yılında devreye alınan rüzgâr 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.

2009 yılında eklenen en büyük kurulu güç 13 000 MW ile Çin’de olmuş ve Çin’deki rüzgâr enerji kapasitesi %35’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 rüzgâr 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 ve yine 2009 yılındaki artışı görülmektedir (İnt. Kyn. 1).

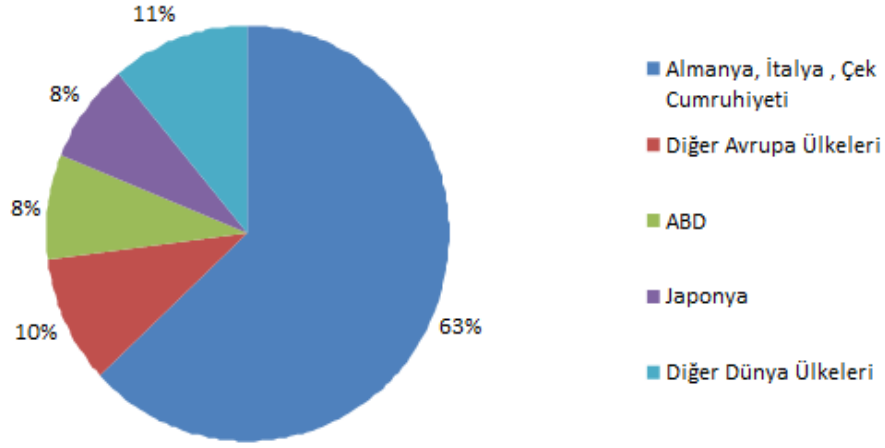
Çizelge 2.2 Ülkelerin rüzgar enerjisi kurulu gücü ve artış değerleri (İnt. Kyn. 1)

Ülkeler	Kurulu Güç (MW)	Ülkeler	Artış Değeri (MW)
ABD	35 159	Çin	13 000
Almanya	25 777	ABD	9 922
Çin	25 104	İspanya	2 459
İspanya	19 149	Almanya	1 917
Hindistan	10 926	Hindistan	1 271
İtalya	4 850	İtalya	1 114
Fransa	4 492	Fransa	1 088
İngiltere	4 051	İngiltere	1 077
Portekiz	3 535	Kanada	950
Danimarka	3 465	Portekiz	673
Diğer Ülkeler	21 391	Diğer ülkeler	3 994
Toplam	157 899	Toplam	37 466

2.1.2.6 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 çıkarmıştır. Güneşin Dünya'ya ışınlam yolu ile aktardığı güç 178 000 TW (milyar kilowatt)'dır. Ancak, bu gücün 62 000 TW'lık 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. Şimdilik güneş pilleri elektrik şebekesinin olmadığı yangın söndürme kulelerinde, radyolink, TV ve cep telefonu baz istasyonu aktarıcılarında, deniz fenerlerinde vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Fesli 2009). Küresel güneş pili (PV) pazarı, 2009 yılında 7,2 GW 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 PV kapasitesinin %40 olması beklenmektedir. 2009 yılında dünyadaki güneş pili pazarının dağılım Şekil 2.3’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.3 Güneş pili pazarının 2009 yılındaki dağılımı (İnt.Kyn. 1)

Şekilden de anlaşılacağı üzere Almanya, güneş pili pazarında en büyük paya sahip ülke olup bunu sırasıyla İtalya, Japonya ve ABD takip etmektedir. 2010 yılında da büyük ihtimalle 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 (İnt.Kyn. 1).

2.1.3 Türkiye’deki Enerji Durumu

Türkiye, hemen hemen her çeşit enerji kaynağına sahip bir ülkedir. Ülkemizin en temel enerji kaynakları petrol, doğalgaz, taş kömürü, linyit, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal enerjidir. 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. Ülke ihtiyacının %60’tan fazlasının ithal edildiği ve her yıl

bu payın arttığı görülmektedir. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında, bölgesel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmalıdır (Kaya 2006).

Çizelge 2.3 Birincil enerji kaynakların üretimi (ETKB 2010)

YILLAR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Taşkömürü (bin ton)	2 392	2 494	2 319	2 959	1 946	2 170	2 319	2 462	2 601
Linyit (bin ton)	60 854	59 572	51 660	46 168	43 709	57 708	61 484	72 121	76 171
Asfaltit (bin ton)	22	31	5	336	722	888	452	782	630
Petrol (bin ton)	2 749	2 551	2 442	2 375	2 276	2 281	2 176	2 134	2 160
Doğal Gaz (10 ⁶ m ³)	639	312	378	561	708	897	907	893	1 017
Hidrolik + Jeo (GWh)	30 955	24 100	33 789	35 419	46 177	39 655	44 338	36 007	33 432
Jeotermal Isı (bin TEP)	6 48	687	730	784	811	926	898	914	1 017
Rüzgâr (GWh)	21	33	62	48	61	58	127	355	847
Güneş (bin TEP)	262	287	318	350	375	385	403	420	420
Odun (bin ton)	16 938	16 263	15 614	14 991	14 393	13 819	13 411	12 932	12 264
Hayv ve Bit Art. (bin ton)	5 981	5 790	5 609	5 439	5 278	5 127	4 984	4 850	4 883
Biyoyakıt (bin ton)	-	-	-	-	-	-	2	14	74
Toplam (bin TEP)	26 047	24 576	24 282	23 783	24 332	24 549	26 580	27 455	29 257

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. Ülkemizde 2008 yılı itibariyle birincil enerji kaynaklarının üretim ve tüketim değerleri Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’de verilmektedir.

Çizelge 2.4 Birincil enerji kaynakların tüketimi (ETKB 2010)

YILLAR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Taşkömürü (bin ton)	15 525	11 176	13 830	17 535	18 904	19 421	22 798	25 388	22 720
Linyit (bin ton)	64 384	61 010	52 039	46 051	44 823	56 571	60 184	72 317	75 264
Asfaltit (bin ton)	22	31	5	336	722	738	602	632	630
Petrol (bin ton)	31 072	29 661	29 776	30 669	31 729	31 062	31 395	32 143	30 756
Doğal Gaz (10 ⁶ m ³)	15 086	16 339	17 694	21 374	22 446	27 171	31 187	36 682	36 928
Hidrolik + Jeo (GWh)	30 955	24 100	33 789	35 419	46 177	39 655	44 338	36 007	33 270
Jeotermal Isı (bin TEP)	648	687	730	784	811	926	893	914	1 011
Rüzgar (GWh)	33	62	48	61	58	59	127	355	847
Güneş (bin TEP)	262	287	318	350	375	385	403	420	420
Odun (bin ton)	16 938	16 263	15 614	14 991	14 393	13 819	13 411	12 932	12 264
Hay ve Bit Art. (bin ton)	5 981	5 790	5 609	5 439	5 278	5 127	4 984	4 850	4 883
Biyoyakıt (Bin ton)	-	-	-	-	-	-	2	12	74
Elektrik İthalatı (GWh)	3 791	4 579	3 588	1 158	464	636	573	864	789
Elektrik İhracatı (GWh)	-437	-433	-435	-588	-1 144	-1 798	-2 236	-2 422	-1 122
Toplam (Bin TEP)	80 500	75 402	78 331	83 826	87 818	91 074	99 642	107 627	106 338

Yukarıdaki çizelgelerden de anlaşılacağı üzere enerji üretiminde gözle görülür bir artış olmamasına rağmen enerji tüketimi yıllara göre artış göstermiştir. Ülkemiz 2008 yılında birincil enerji kaynaklarından 29 257 binTEB enerji üretmiş, 106 338 binTEB değerinde enerji tüketmiştir. Enerji tüketimi ile üretimi arasındaki yaklaşık 77 binTEB’lik fark, karşılayamadığımız enerji miktarını aynı zamanda dışarıya bağımlılığımızın oranını göstermektedir.

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

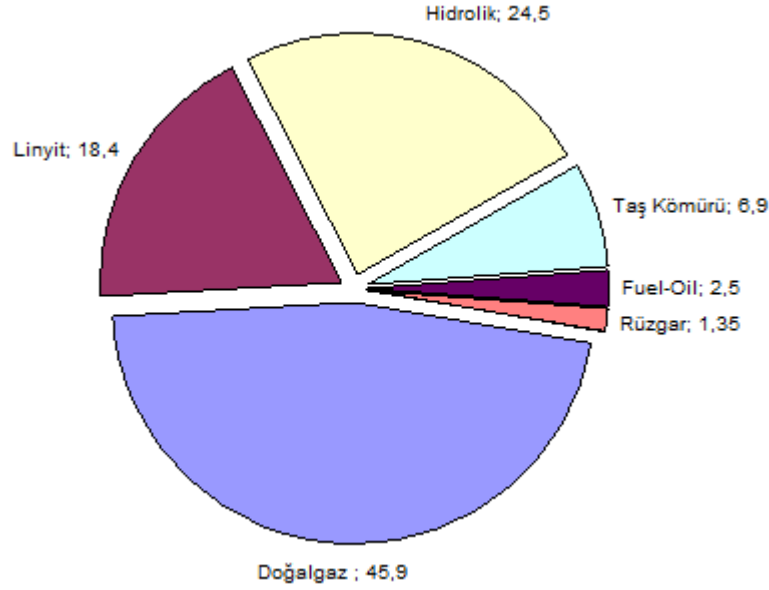
Türkiye’nin elektrik üretimi ve tüketimi gelişmekte olan ülkeler sınıfında değerlendirilmektedir. Türkiye’deki elektrik sisteminin kurulu gücü yaklaşık 48591 MW olmuştur. Kurulu gücün 31 706 MW (%65,3)’sini fosil yakıtlı termik santraller, 15 525 MW (%34,7)’sini hidrolik ve yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır. Çizelge 2.5’de Türkiye deki kurulu güç ve üretimleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

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

Kurulu güç (MW)					Üretim (GWh)			
Yıl	Termik	Hidrolik	Jeo +Rüz	Toplam	Termik	Hidrolik	Jeo +Rüz	Toplam
2003	22 974	12 579	34	35 587	10 5101	35 330	150	140 581
2004	24 145	12 645	34	36 824	104 464	46 084	151	150 698
2005	25 902	12 906	35	38 820	122 242,3	39 560,5	153,4	161 956,2
2006	27 420	13 062	81	40 502	131 835,1	44 244,2	220,5	176 299,8
2007	27 271	13 394	169	40 835	155 196,2	35 850,8	511,1	191 558,1
2008	27 595	13 829	393	41 817	164 140	33 270	1 009	198 418
2009	29 339	14 553	869	44 761	156 923	35 958	1 931	194 813
2010	31 706	15 525	1 266	48 591	158 706	51 511	3 255	213 471

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, rüzgâr 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 2.4'de verilmiştir.



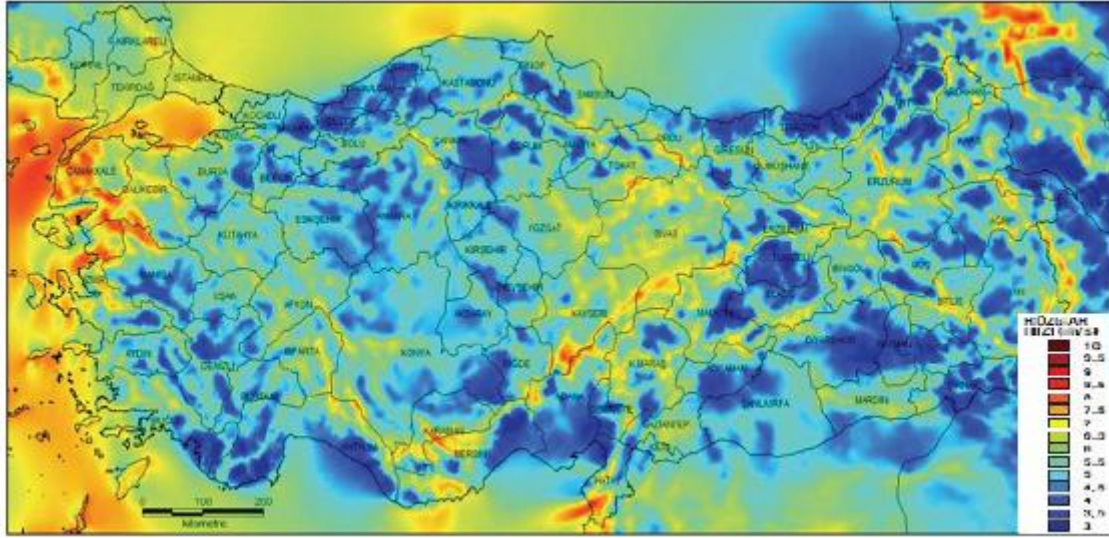
Şekil 2.4 Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları

Şekil 2.4’e göre 2010 yılında gerçekleştirilen elektrik enerjisi üretiminin %45,9’si doğal gazdan, %18,4’ü linyit, %24,5’i hidrolik, %6,9’ü taş kömürü, %2,5’sı fuel-oil, %1,35’i rüzgar, %0,47 jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır (ETKB 2010).

2.1.3.1 Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Durumu

Rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından ülkemiz çok iyi bir coğrafi konum üzerinde bulunmaktadır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla EİE tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasta verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye’nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık

alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlardaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgâr hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgâr gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Resim 2.1'de 50 m yükseklik değeri için Türkiye rüzgar haritası verilmiştir.



Resim 2.1 Türkiye rüzgar atlası (50m yükseklik için)

Türkiye rüzgâr atlası (REPA)'da 50 m yükseklikteki rüzgâr potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek rüzgâr potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. REPA verilerine göre 7 m/s'den büyük rüzgâr hızları göz önüne alındığında Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 47 849,44 MW olarak belirlenmiştir. Rüzgâr enerjisi üretimi amacıyla kurulan ve inşa aşamasında bulunan tesislerin durumları Çizelge 2.6'da verilmiştir. Ülkemizde 2004 yılı itibariyle sadece 18 MW düzeyinde olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün artırılmasında ciddi aşama kaydedilmiştir. 2009 yılı sonu itibariyle rüzgâr kurulu gücümüz 802,8 MW düzeyine ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra 3.363 MW kurulu gücünde 93 adet yeni rüzgar projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden yaklaşık 1 100 MW kurulu gücünde santrallerin yapımı devam etmektedir (İnt. Kyn. 3).

Çizelge 2.6 İşletmedeki rüzgar elektrik santralleri (İnt. Kyn. 3)

TÜRKİYE'DE İŞLETMEDEKİ RÜZGAR ELEKTRİK SANTRAL PROJELERİ				
Mevkii	Şirket	Üretim Tarihi	Kurulu Güç(MW)	Türbin Adedi
İzmir -Çeşme	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1998	1,5	3
İzmir -Çeşme	Ares Alaçatı RE Sant.San ve Tic.A.Ş.	1998	7,2	12
İstanbul-Hadım köy	Sunjüt Suni Jüt San. ve Tic. A.Ş	2003	1,2	2
Balıkesir-Bandırma	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	2006	30	20
İzmir-Çeşme	Mare Manastır RE Sant San-Tic AŞ	2006	39,2	49
İstanbul-Silivri	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	2007	0,85	1
Çanakkale-İntepe	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2007	30,4	38
Manisa-Akhisar	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şir.	2007	10,8	6
Çanakkale-Gelibolu	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2007	14,9	13 - 800 kW 5 - 900 kW
Manisa-Sayalar	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2008	34,2	38
İstanbul-Çatalca	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	2008	60	20
İzmir-Aliağa	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	2008	57,5	23
İstanbul-GOPaşa	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	2008	24	12
Muğla-Datça	Dares Datça RE Sant San ve Tic A.Ş.	2008	29,6	37
Hatay-Samandağ	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	2008	30	15
Aydın-Didim	Ayen Enerji A.Ş.	2009	31,5	15
Balıkesir-Şamlı	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	2009	90	30
Hatay-Belen	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	2009	30	10
Tekirdağ-Şarköy	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2009	28,8	14- 2000 kW 1-800 kW
İzmir-Urla	Kores Kocadağ RES Üretim A.Ş.	2009	15	6
Çanakkale-Ezine	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2009	20,8	10 - 2000 kW 1 - 800 kW
Balıkesir-Susurluk	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2009	20,7	23
İzmir-Bergama	Ütopya Elk Üretim San ve Tic AŞ	2009	15	6
İzmir-Çeşme	Mazi-3 RE Sant Elektrik Üretim A.Ş.	2009	30	12
Balıkesir-Bandırma	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	2009	15	5
Balıkesir-Bandırma	Borasco Enerji San ve Tic A.Ş.	2009	45	15
Osmaniye-Bahçe	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	2010	95	54
Manisa-Soma	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	2010	49,5	55
Balıkesir-Bandırma	As Makinsan Enerji San. ve Tic. A.Ş.	2010	24	10
Mersin-Mut	Akdeniz Elektrik Üretim A.Ş.	2010	33	11
Çanakkale-Bozcaada	Bores RE.Sant.San. ve Tic. A.Ş.	2010	10,2	17
İzmir-Aliağa	Bergama RES Enerji Üretim A.Ş.	2010	90	36
Edirne-Enez	Boreas Enerji Üretim A.Ş.	2010	15	6
TOPLAM			1 029,85	

2.1.3.2 Ülkemizde 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 ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi günlük toplam 7,2 saat, ortalama toplam ışıyım şiddeti günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$ olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin günlük ve aylık güneşlenme değerleri, güneş enerjisi kullanan pek çok ülkenin değerlerinden yüksektir (İnt. Kyn. 4). Türkiye'de aylık olarak güneşlenmeye ve güneş potansiyeline ait değerler Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Ülkemizin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (İnt. Kyn. 4)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1 311,16	2 640
ORTALAMA	308 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi dönüşüm sistemleri için gerekli güneş panellerinin üretimleri henüz ülkemizde yapılamadığı için sistem maliyeti yüksek olmaktadır. Ancak

reklâm panoları, sokak aydınlatmaları, trafik ikaz levhaları, tarlalarda su çıkarma amaçlı gibi pek çok uygulamada 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 coğrafi yapısına göre bölgelerdeki güneşlenme süreleri farklılık göstermektedir. Çizelge 2.8'de bölgelere göre güneş enerji durumları görülecektir.

Çizelge 2.8 Ülkemiz güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (İnt. Kyn. 4)

BÖLGELER	Toplam Güneş Enerjisi kWh/m² -yıl	Güneşlenme Süresi 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

Günümüzde enerji noktasında bulunduğumuz durum ve gelecekte enerji ithalinde karşılaştığımız problemler göz önünde bulundurulduğunda, ihtiyacımız olan enerjinin kendi kaynaklarımızdan karşılanması bir zorunluluk haline gelmiştir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) 2009 yılı verilerine göre doğal kaynaklarımız arasında güneş enerjisi 428 Bin Tep/Yıl (1 Tep = 1 ton eşdeğer petrol) olan miktarıyla çok önemli bir yer tutmaktadır (İnt. Kyn. 1).

2.2 Rüzgar Gücü Hesaplamalarındaki Kavramlar

Rüzgar, atmosfer içinde bulunan gazların bölgesel basınç farklarından kaynaklanan doğal akışı olarak tanımlanabilir. Hava hareketlerinin oluşmasının temel nedeni ise atmosfer basıncının bölgeler arasında farklılık göstermesidir. Rüzgar, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eder. Basınç farkı büyüdükçe rüzgar hızı artmakta ve fark azaldıkça hız azalmaktadır. Rüzgarın oluşmasında; basınç

merkezleri arasındaki yatay uzaklık, dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketi, yer şekilleri ve basınç farkı etkili olmaktadır. Rüzgar, hızına göre fırtına, hortum, kasırga, tayfun vb. isimler alır. Rüzgarlar denizlerin dalgalanmasında, deniz akıntılarının oluşmasında ve karaların şekillenmesinde oldukça önemlidir (Öztürk 2008). Rüzgâr enerjisi, rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Söz konusu enerjiden mekanik ve elektrik dönüşüm olarak yararlanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin dönüştürme tekniğinin başta işletim ve bakımının kolay olması nedeniyle diğer enerji kaynaklarından üstünlüğü vardır. Rüzgâr enerjisi hem kırsal alanda elektrik enerjisinin yerel üretim ve tüketiminde, hem de elektrik şebekesini beslemek amacıyla kullanılır.

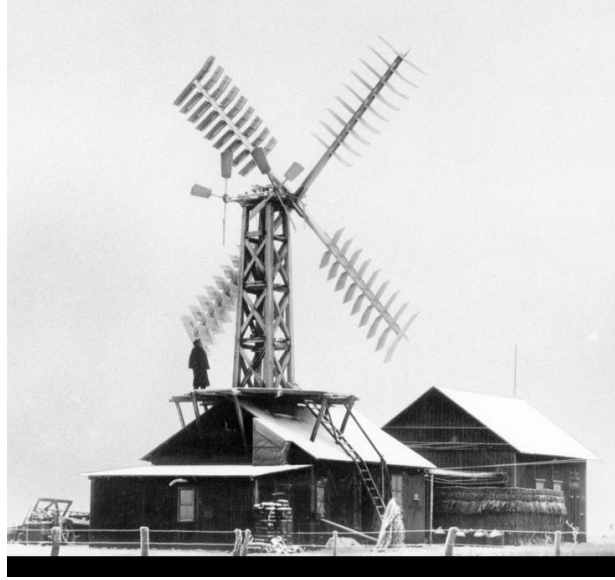
2.2.1 Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar enerjisi ilk olarak milattan önceki yıllarda Orta Doğu’da kullanılmaya başlamıştır. Bu dönemlerde rüzgar gücü; buğday öğütmek, su pompalamak, denizcilik gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bilinen ilk kayıtlara göre M.Ö 644’te Persler buğday öğütmek için rüzgar gücünden yararlanan ilk uygarlıktır (Hau 2006). Avrupa rüzgar türbinleri ile 10.yüzyılda tanışmıştır. İngiltere’de ilk rüzgar türbini 1191’de kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa’da görülen rüzgar türbinleri su pompalamak amacıyla geliştirilmiş ve yatay eksenli türbinlerdir. Özellikle 16. yüzyıla gelindiğinde Hollanda’da rüzgar türbini teknolojisi gelişmiş ve “Dutch Windmill” (Hollanda Yel Değirmeni) tabiri ile bilinen türbin kullanılmaktadır (Johnson 2001).

Ancak 18. yüzyılın başlangıcındaki endüstri devrimi ile beraber buhar makinelerinin ortaya çıkması fosil yakıtlarını ön plana çıkarmış, istenildiği zaman, istenilen yerde enerji üretimi sağlaması sayesinde bu dönemde rüzgar enerjisi geri planda kalmıştır. Rüzgar türbinlerine olan ilgi iki önemli teknolojinin ortaya çıkışı ve geliştirilmesi ile yeniden canlanmıştır. Bunlar, iletimi kolay olan elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine çok yönlü olarak dönüştürülebilmesi ve ikinci olarak uçak yapımındaki gelişmeler kapsamında aerodinamik mühendisliğin gelişimidir (Shepherd 1991).

Bu döneme kadar geçen zamanda rüzgar enerjisi işlevsel olarak ele alınmıştır ancak

rüzgar enerjisinden elektrik üretmek amacı ile ilk denemeler 1800'lerin sonunda 1900'lerin başında Amerika'da Elektrik Mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Poul La Cour'da geleneksel rüzgar türbinlerini bilimsel prensiplerle teknolojik temele uyarlayan ve rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesinde öncü isimlerden biridir.



Resim 2.2 Poul La Cour'un 1891'de, Danimarka'da elektrik üreten rüzgar türbini (Hau 2006)

Rüzgar değirmeni düşünüldüğünde, La Cour'un elektrik üreten rüzgar türbini geleneksel türbinlere benzemekteydi. Bu zamanlarda I. Dünya savaşının başlamasıyla artan benzin fiyatları rüzgar türbinlerine olan ilgiyi arttırdı. Albert Betz'in 1920'de rüzgar enerjisi dönüşümlerinde fiziksel prensipleri formüle etmesiyle kanat tasarımları değişti, Major (Binbaşı) Kurt Bilaou bu prensipleri rüzgar türbinlerine uyguladı. II. Dünya savaşı zamanında La Cour konseptinden farklı olarak, Smidth şirketi iki kanatlı türbinlerle piyasaya giriş yaptı. Ancak çift kanatlı rotorun dinamik karakteristikte yarattığı problemler, şirketi daha büyük üç kanatlı rotor tipine yöneltti. Böylece Danimarka konseptinin aerodinamik ve mekanik dizaynının tipik özellikleri oluşmuş oldu.

Türbinlerde daha önceleri kullanılmakta olan “doğru akım jeneratörleri” yerine, ilk defa elektrik şebekeleri için bağlantı uyumu olan “alternatif akım jeneratörleri” kullanılmaya başlanmıştır. Günümüz modern rüzgar türbinlerinin öncüsü olan tasarım ise, 1957

yılında La Cour'un öğrencisi olan Mühendis Johannes Juul tarafından yapılmıştır (Hau 2006). Dr. Ulric Hütter Almaya'da 100 kW'lık bir türbin tasarlamıştır. Türbin anma gücüne 8 m/s gibi, önceki türbinlerden daha düşük bir hızda ulaşmaktaydı. Hütter'in türbin dizaynının özelliği hafif olmasıydı, kanatlar 34 m çapında ve fiberglastan üretilmişlerdi. Hütter'in tasarladığı bu türbin 11 sene boyunca dört bin saatten fazla işletmede kaldı. Hütter'in bu çalışması büyük çaplı rüzgar türbinlerinin gelişiminde önemli bir rol oynadı (Johnson 2001).

Ancak ekonomik sebeplerden ötürü rüzgar enerjisinin kullanımı 1970'lerde baş gösteren petrol krizine kadar tekrar arka planda kalmıştır. Bu dönemin ardından rüzgar enerjisi teknolojileri konusundaki çalışmalar tekrar hız kazanmış. Amerika Birleşik Devletleri'nde hükümetin desteği ile araştırma programı başlatılmıştır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda fabrikasyon ve test yapılabilir duruma gelinmiştir. 1 kW'tan 40 kW'a kadar 13 farklı küçük rüzgar türbin tasarımı, 100 kW ile 3,2 MW arasında 5 çeşit yatay eksenli rüzgar türbin tasarımı ve yine 5 kW ile 500 kW arasında birkaç çeşit dikey eksenli rüzgar türbin tasarımı geliştirilmiştir. Daha sonra Enerji Araştırma ve Geliştirme Kurumu ve akabinde Birleşik Devletler Enerji Dairesi kuruldu. Geliştirilen darrieus türbinleri ile Amerika'da 34 m yüksekliğinde değişken hızlı türbin inşa edildi. Rüzgar enerjisi üretilmesi konusunda hükümet programları oluşturuldu ve destek verildi.

1980'li yıllarda güçleri 40 ile 60 kW arasında değişen güçlerde 600'ü aşkın rüzgar türbini imal edildi. 1974–1981 yılları arasında Birleşik Devletler ulusal rüzgar enerji programı kapsamında geliştirilen başarılı araştırma ve çalışmalarla kompleks tasarımlı ve kompozit rotorlu geliştirilen ve güçleri 1.5 ile 10 kW arasında olan rüzgar türbinleri oldukça yaygınlaştı ve geliştirilen tasarım özel imalatçılar tarafından da kullanıldı. Bu yıllardan sonra rüzgar türbini imalatı ve inşaatı oldukça hızlanmaya başladı ve Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde rüzgar çiftlikleri kuruldu. Bununla birlikte çok çeşitli yüksek kapasiteli rüzgar türbin tasarımları ve projelendirilmelerine başlandı. Teknolojik gelişmelere paralel olarak rüzgar türbin ve jeneratör teknolojisi de gelişmiş ve seri üretime geçilerek maliyetleri de büyük oranda azalmıştır. 1980 yılında kWh'ı 35 sent iken 2000'li yıllarda 5 sentin altına düşmüştür (Dıvone 1998).

2.2.2 Rüzgar Türbini Matematiksel Modeli

Rüzgar türbinleri, hareket halinde havada bulunan kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürürler. Rotoru döndüren kinetik enerji; rüzgar hızına, hava yoğunluğuna ve rotor kanat çapına bağlıdır. Rüzgar hızı, yüzeyin pürüzlülüğüne ve yüksekliğe bağlı olarak değişir. Havanın yoğunluğu ise, mevsimsel olarak basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir (Çakan 2000). Rüzgar türbini tarafından üretilen teorik güç;

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (2.1)$$

olur. Burada ρ hava yoğunluğunu, R rotorun yarıçapını, V rüzgar hızını, C_p rüzgar türbinin güç sabitini, λ kanat hız oranını ve β 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.

Rüzgardan elde edilebilecek teorik tork ifadesi düşük hızlı milin açısal hızı (ω) ve rüzgar hızına bağlı olarak ifade edilebilir. Tork ve güç arasındaki ilişki Denklem 2.2'de görüldüğü gibi olur.

$$T_w = \frac{P_w}{\omega_w} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \frac{C_p}{\lambda} \cdot V^2 \quad (2.2)$$

2.2.3 Hava Yoğunluğu

Rüzgar gücü, kanatların süpürdüğü havanın yoğunluğuyla doğru orantılı olarak değişir. Deniz seviyesinde havanın yoğunluğu, 1 atm basınç ve 60 °F sıcaklıkta 1.225 kg/m^3 'dür. Hava yoğunluğu Denklem 2.3'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho = \frac{P.MW.10^{-3}}{R.T} \quad (2.3)$$

Burada P mutlak basınç (atm), $MW = 28.97 \text{ g/mol}$ havanın moleküler ağırlığını, $R = 8.2056.10^{-5} \text{ m}^3.\text{atm}.K^{-1}.\text{mol}^{-1}$ hava özgül gaz sabitini, T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı temsil etmektedir (Masters 2004).

2.2.4 Kanat Hız Oranı

Kanat hız oranı; rüzgar hızına, kanatların açısal dönme hızına ve kanat yarıçapına bağlı olarak değişmektedir. Kanat hız oranı aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$\lambda = \frac{R.\omega}{V} \quad (2.4)$$

Bu denklemde eğer rotor hızı sabit tutulursa o zaman rüzgar hızındaki herhangi bir değişimin kanat hız oranına yansıtacağı görülür. Bunun sonucu C_p 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 2.1 açısal hız değerinde yazılacak olursa;

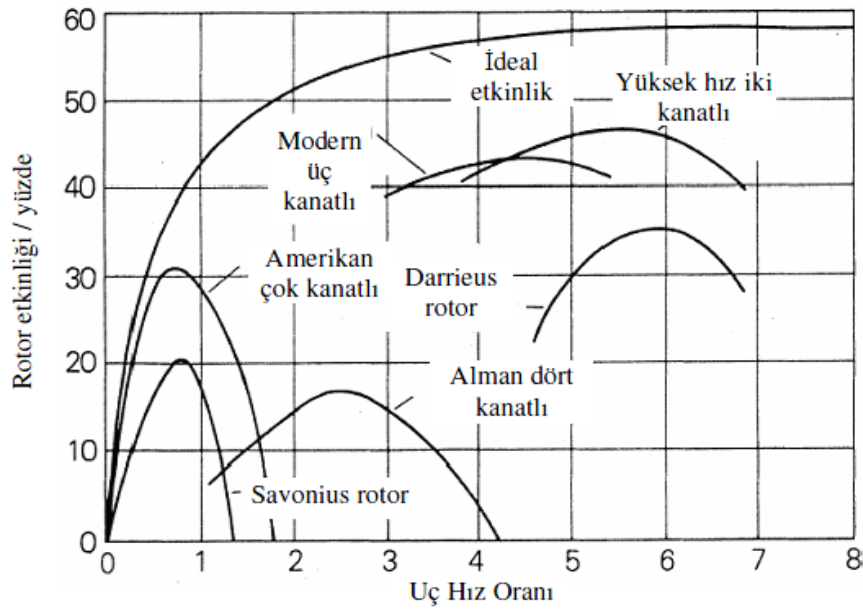
$$P_w(\omega) = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p \left(\frac{R\omega}{\lambda} \right)^3 \quad (2.5)$$

$$P_w(\omega) = \frac{1}{2} \rho \pi C_p R^5 \frac{\omega^3}{\lambda^3} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'daki eşitlik elde edilir. Kanat sayısı ile uç hız oranı arasındaki ilişki Çizelge 2.9'da ve farklı rotor tiplerinin rotor verimliliği Şekil 2.5'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.9 Kanat sayısı – λ değişimi (Uğuz 2005)

Kanat sayısı	Kanat hız oranı (λ)
8–24	1
6–12	2
3–6	3
2–4	4
2–3	>5



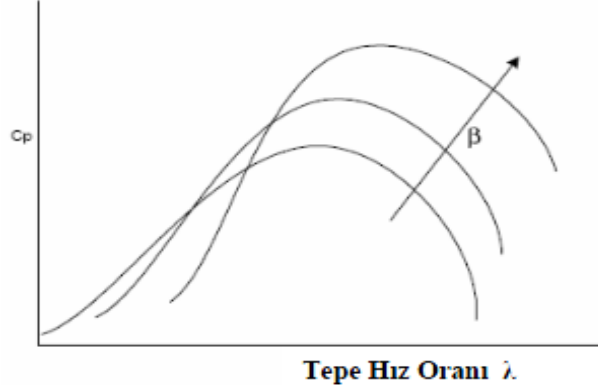
Şekil 2.5 Farklı kanat yapılarında $C_p - \lambda$ değişimi (Patel 1999)

Yukarıdaki çizelge ve şekilden de anlaşılabacağı üzere göre 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.

2.2.5 Güç Sabiti

C_p olarak gösterilen güç sabiti, kanat açısı β ve kanat hız oranına λ bağlı doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekil 2.6 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).



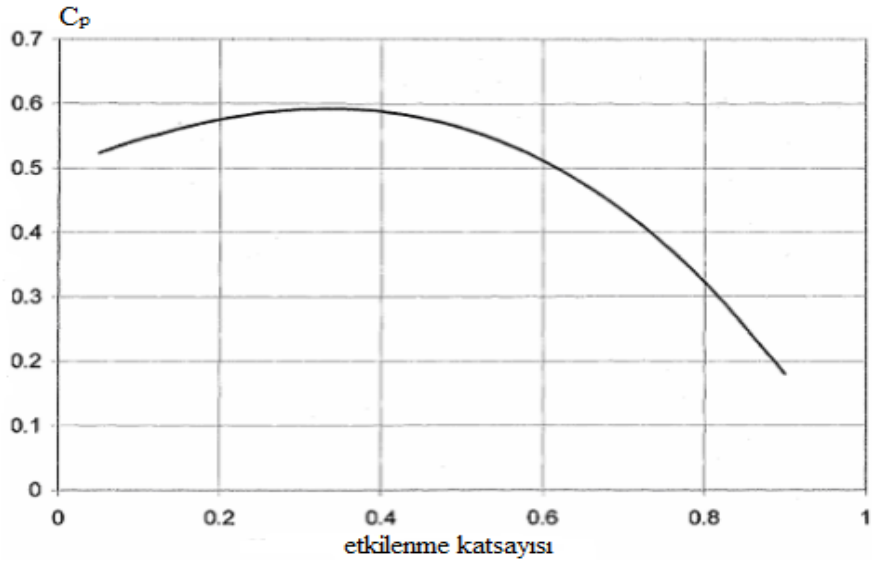
Şekil 2.6 C_p 'nin tepe hız oranı ve pitch açısıyla değişimi (Köse 2007)

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.

$$C_p = \frac{\left(1 + \frac{V_0}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right]}{2} \quad (2.7)$$

$$e = \frac{(V - V_1)}{V} = \frac{V_0}{V} \quad (2.8)$$

Burada V rotora giren rüzgar hızı, V_0 rotor kanatlarından çıkan rüzgar hızı, V_1 ise rotor kanatlarını etkileyen rüzgar hızıdır. Denklem 2.7'deki güç katsayısının ve Denklem 2.8'deki etkilenme katsayısı ile değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 C_p -e değişim eğrisi (Köse 2007)

C_p rotor kanatlarına etkiyen rüzgar gücünün bir katsayısıdır. Kalan güç türbinden çıkarak kaybolur. C_p 'nin değeri, etkilenme katsayısına bağlıdır. Etkilenme katsayısı ile C_p 'nin değişim eğrisi Şekil 2.7'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'nu 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 (Köse 2007).

2.2.6 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, 10 m yükseklikte ölçülür. Fakat birçok rüzgar türbini, yükseklik ile güç artışını arttırmak ve türbülansı azaltmak için 10 metreden daha uzun kulelere kurulur.

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{h}{h_0} \right)^n \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da 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.

2.2.7 Rüzgar Hız Dağılımı

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. Rüzgar hızı dakika, saat, gün, mevsim ve yıllık olarak değiştiğinden rüzgar modelleri genellikle bir yıllık periyot üzerinden tekrarlanır. Bu nedenle, rüzgar enerji potansiyeli değerlendirilmek istenen bir alanın rüzgar hız değerlerinin, zaman içindeki dağılımının doğru olarak saptanması çok önemlidir. Rüzgar verilerinin dağılımı analizinde en çok kullanılan yöntem weibull dağılımıdır. Bu dağılım iki parametre ile temsil edilir. Bu parametreler şekil katsayısı (k) ve ölçek katsayısı (c)’dır.

Verilerin işlenmesi yoluyla elde edilen Weibull parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgâr hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu, rüzgârın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren fonksiyondur ve buna rüzgâr hızı frekansı adı da verilir. Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun elde edilmesi, şekil katsayısı (k) ile büyüklük katsayısı (c)’nin bilinmesini gerektirir ve bu iki katsayı, ortalama hız ile standart sapmanın fonksiyonudur. Bu eğriyi oluşturan her bir hız frekansları, ortalama hızın bulunmasını da sağlamaktadır. Buna göre Weibull dağılımı Denklem 2.10’da verilmiştir (Hatipoğlu 2010).

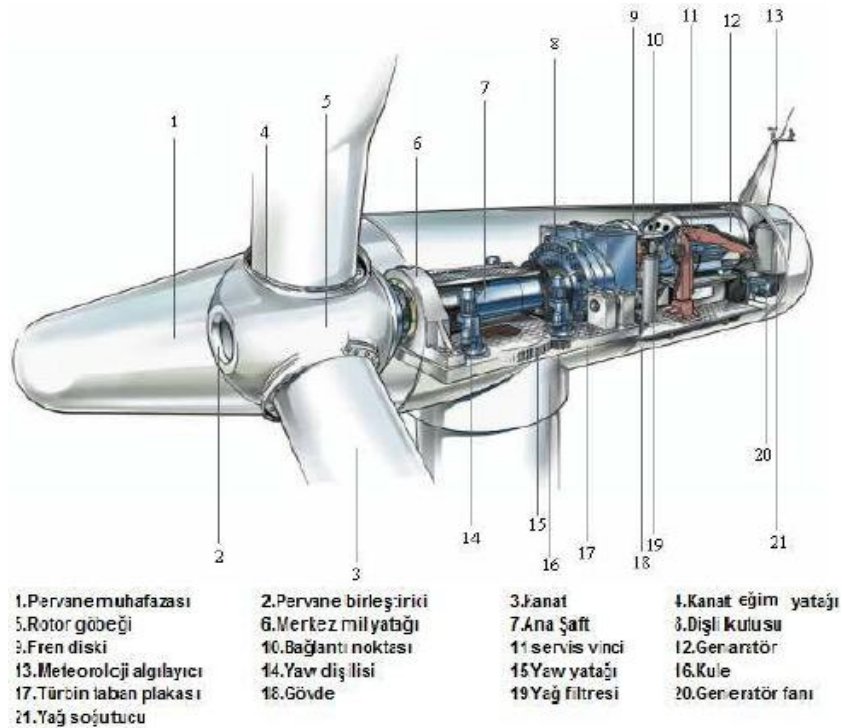
$$f_w(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \cdot e^{-(\frac{v}{c})^k} \quad (2.10)$$

2.3 Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için rüzgâr türbinler kullanılmaktadırlar. Rüzgâr türbinine bağlı generatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgâr türbinlerinin gücü; kanat sayısı, kanat çapı, rüzgâr hızı, güç sabiti verimi, kanat açısı gibi değişkenlere bağlıdır. Rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2–3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlamaktadır. Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik göstermekle birlikte; güçlerine, eksen yapılarına, kanat sayılarına ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir.

2.3.1 Rüzgâr Türbini Bileşenleri

Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren tüm sistemler, rüzgârın enerjisini bir şafta dönme hareketi olarak verecek bir kanat veya rotor, bu hareketi iletecek genellikle bir dişli kutusu ve bir generatörden oluşan hareket mekanizması kanatları ve mekanizmayı destekleyecek bir kuleden oluşmuştur.



Resim 2.3 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; rüzgâr hızı ölçme cihazı (anemometre), kanatlar, fren düzeni, kontrol sistemi, dişli kutusu, jeneratör, yüksek ve düşük hız şaftları, gövde, pitch, rotor, kule rüzgâr vanası, yaw motoru ve tahrik gurubundan oluşmaktadır (Fesli 2009).

Yukarıda bir rüzgar türbininin temel bileşenleri gösterilmekte olup her bir sistem elemanına ait özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kule: Rüzgâr 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 yapıdır. Değişik rüzgâr hızı altında meydana gelen titreşim saykalları, kule ve rotor kanatlarının yorulmasına, gerilmesine sebep olur. Değişik rüzgâr hızı altında kule, rotor ve gövde elemanlarının titreşim saykalları uygun aralıkta tutmak için komple model analizleri yapılır. Türbin kulesinin oturduğu temel, betonarme inşaat olup 40–50 m kuleyi taşımak için 120 m^2 dairesel bir temel atılır. Büyük vinçler yardımıyla kuleler inşaat temeline yerleştirilir.

Türbin: Kule üzerine yerleştirilen montaj platformu olup, rotor, dişli kutusu, şaftlar, generatör, kontrolör ve frenleme düzeninin yuvalandığı ana rotor gövdeye monte edilmiş olup, kapasitesine göre bir teknisyenin içinde tamirat yapabileceği kadar serbest alana sahiptir.

Kanatlar: Türbinlerin çoğu iki veya üç kanatlı olarak tasarlanmaktadır. Kanatlara çarpan rüzgâr, kanatları kaldırarak döndürmektedir. Kanat yapısı türbinin önden veya arkadan rüzgâr almasına göre değişmektedir. Kanatlar; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastikten (cam elyafı, karbon elyafı, aramid elyafı) imal edilmektedir. Modern rüzgâr 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: Rüzgâr hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır.

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.

Kontrolör (Kontrol Sistemi): Türbinlerin, 3 ile 5 m/s rüzgâr 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 rüzgâr hızlarında, generatörleri aşırı ısındığından çalıştırmazlar.

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 rüzgâr hızına göre eksen etrafında döndürülebilmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Bu sistem ile bütün hızlarda kullanılarak elde edilen enerjinin arttırılması 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 hızına ve hassasiyetine bağlıdır.

Generatör: Elektik üreten makinelerdir. Rüzgar türbinlerinde senkron, asenkron ve doğru akım generatör olmak üzere üç değişik generatör kullanılmaktadır. Sincap kafesli indüksiyon generatörü, rotoru sargılı indüksiyon generatörü, sabit mıknatıslı senkron generatör ve rotoru sargılı senkron generatör olmak üzere çeşitli yapılarda imal edilirler.

Yüksek hız şaftı: Generatörü süren, eğer mevcutsa dişli kutusu ile generatör arasında bulunan şafttır.

Düşük hız şaftı: Kanatların bağlandığı mil olup dakikada 30–60 devirle dönmektedir.

Dişli kutusu: Dişli kutuları, düşük ve yüksek hız şaftlarının yatakladığı mekanizmalardır. Generatörlerin elektrik üretebilmeleri için dakikada, 1200–1550 devirlik bir döndürme yükü almaları gerekmektedir. Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük dönüşlü şafttan gelen 30–60 d/dk’lık dönme yükünü, yüksek hız şaftına 1200–1500 d/dk’lık bir hıza yükselten makinelerdir. Dişli kutularının ağır olması, kule ömrünü olumsuz etkilemektedir. Günümüzde araştırmaların büyük bir bölümü, dişli kutuların eliminasyonuna yönelmiştir. Dişli kutuların elimine edilmesi ile rotor doğrudan generatörlere bağlanabilecektir.

Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı mekâna rotor adı verilir.

Yön kontrol cihazı: Rüzgâr yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgâr yönüne taşıyan mekanizmadır.

Yaw Tahrik: Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgâra doğru konumlanır. Rüzgârın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgâra dik tutacak şekilde ayarlayan mekanizmalardır. İki kanatlı rotorlar, kafalarını rüzgâr doğrultusuna ters konumlandırıdıklarından, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar (Demirtaş 2008).

2.3.2 Rüzgâr Türbinlerin Sınıflandırılması

Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik göstermektedirler. Türbinler; dönme eksenine, güç kontrol sistemlerine, rotorun dönüş hızına ve kullanım yerine göre sınıflandırılabilirler.

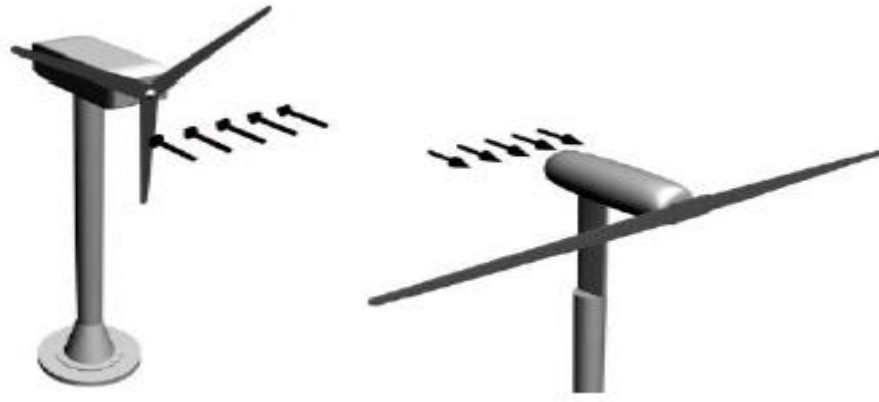
2.3.2.1 Eksen Yapılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Eksen yapılarına göre rüzgâr türbinleri yatay eksenli rüzgâr türbini (YERT) ve düşey eksenli rüzgâr türbini (DERT) olarak iki grupta incelenebilir. Aşağıda sırasıyla yatay ve düşey eksenli türbinler hakkında bilgiler verilecektir.

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Yer konumuna göre rotoru yatay ekseninde çalışan bu türbinler daha geleneksel ve daha modern bir kullanım sunarlar. Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Bu tür türbinler bu konuma, rotor kule üzerinde döndürülerek getirilir. Yatay eksenli türbinlerin kule üzerinde yön değiştirme işlemini; küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde mekanik kuyruk yaparken, büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde bu işlem bir oto mekanik sistem tarafından motorlar, dişliler ve pistonlarla sağlanmaktadır. Yatay eksenli türbinlerin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları daima rüzgâr akış yönünde olmalıdır. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20–30 m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir (Nurbay ve Çınar 2005). Eğer;

- $\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor,
- $\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

Resim 2.4'te görüldüğü gibi YERT'ler, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanırlar. Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinlerinin ise, yaygın bir kullanım yeri yoktur.



Resim 2.4 Rüzgarı önden ve arkadan alan türbin modeli (Demirtaş 2008)

Rüzgârı Önden Alan Türbinler: Yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgâra dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgâr gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgâr kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgâr çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca bunlar, rotoru rüzgâra karşı döndürmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar (Nurbay ve Çınar 2005).

Rüzgârı Arkadan Alan Türbinler: Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların en belirgin özelliği rüzgâra dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymamalarıdır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgârı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgârlı makinelerle göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgârlı makinelerden daha çok zarar verir (Nurbay ve Çınar 2005).

Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri değişen rüzgâr yönlerinde dönerler böylece rüzgârı her yönden kabul edebilme gibi bir üstünlüğe sahiptirler. Generatör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez. Böylece kule masrafı olmaz. Dezavantajları, yere yakın oldukları için alt noktalardaki rüzgâr hızları ve verimleri düşüktür. Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir. Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir. Düşey eksenli türbinlerin verim katsayısı 0,15’ten azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmeyip daha çok deneysel amaçlı kullanılırlar. Bu türbinler rüzgârı sürükler veya kaldırır (Nurbay ve Çınar 2005). Bu tip RT’lerinin en bilinen modelleri Resim 2.5’de görülen Savonius ve Darrieus Rüzgâr türbinleridir.

Savonius Rüzgar Türbinleri: Savonius rüzgar türbinleri, 1925 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki adet yatay disk arasına

yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak ayarlanmıştır, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir moment oluşmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi yönü pozitif moment yönündedir (Ushiyama and Nagai 1988).

Darrieus Rüzgar Türbinleri: 1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980’lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olabilir. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir (Nurbay ve Çınar 2005).



Resim 2.5 Savonius ve Darrieus rüzgâr türbinleri (Fesli 2009)

2.3.2.2 Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Pervane kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri tek kanatlı, iki kanatlı ve üç kanatlı olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinin yapılmasının avantajı,

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, iki karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için kanat bağlantı noktaları çok iyi yapılmalıdır. Bir kanatlı rüzgâr türbinlerinin kanat uç hızı, üç kanatlı rüzgâr türbinleri ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir. Bu da çalışma esnasında aşırı gürültüye sebebiyet vermektedir.

İki Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: İki kanatlı rüzgâr türbinleri son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen zamanla kullanılabilirliğini yitirmiş, yerini 3 kanatlı rüzgâr türbinine bırakmıştır. Bunun temel nedeni iki kanatlı rüzgâr türbini, üç kanatlı rüzgâr türbininden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgâr türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek donanım gerektirdiğinden, maliyeti yüksek bir sistemdir. İki kanatlı rüzgâr türbinleri üç kanatlı rüzgâr türbinden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgâr türbini üzerinde ek bir yük meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektedir. Ayrıca bu rüzgar türbinlerinin elektrik üretimine başladığı minimum rüzgar hızı da yüksektir (Karadağ 2009).

Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında yaygın olarak kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, kanat bağlantı göbeğinin içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70 m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Üç kanattan fazlası maliyeti arttırdığı için tercih edilmezler.

2.3.2.3 Güçlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinlerinin eksen yapısı ve kanat sayılarına göre yapılan sınıflandırmalarda temel olarak Mekanik gövde yapısı üzerinden sınıflandırma yapılmaktayken, güç odaklı sınıflandırma yaklaşımında türbinlerin ürettikleri gücün büyüklüğüne göre ayrım yapılmaktadır. Bunlar dört ana gruba ayrılmaktadır.

- Küçük güç sistemleri
- Orta güç sistemleri
- Büyük güç sistemleri
- Megawatt Türbinler

Küçük güç sistemleri genellikle 0–10 kW gücündeki sistemlerdir. Trafik sinyalizasyon uygulamaları, ev tipi rüzgâr 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. Büyük güç sistemlerinin kullanımına örnek olarak düşük güçteki rüzgâr santrallerini verilebilir. Rüzgar türbinlerinde MW seviyelerinde güç artışı için oldukça büyük yatırım gerektirmektedir buna rağmen hala birkaç MW'lık güç aşılammıştır. Güç arttırıldıkça tasarım olumsuz etkilenmektedir (Fesli 2009).

2.3.2.4 Kullanım Yerlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Kullanım yerlerine göre rüzgar türbinleri; şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere iki grupta incelenecektir.

Şebeke Bağlantılı Rüzgâr Türbinleri: Rüzgar enerjisi çok kesintili bir enerji kaynağıdır. Bugün kullanılan modern rüzgar türbinlerinde olduğu gibi rüzgar enerjisi, elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye verilmeden önce çeşitli kademelerden geçmektedir.

Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri yüksek rüzgar hızlarında, yüksek devir sağlamak için 2–3 kanatlı yapılmaktadır. Su pompalamak için kurulan rüzgar türbinleri ise, çok kanatlı olduğu için düşük devir sağlamaktadır. Şebeke bağlantılı rüzgar santralleri küçük ölçekli ihtiyaçları karşılayabileceği gibi, belirli bir yerde çok sayıda şebekeye elektrik sağlamak amacıyla da kurulurlar. Günümüzün büyük güçlü rüzgar santralleri elektrik şebekesine bağlı ve birden fazla türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Merkezi elektrik şebekesine elektrik veren rüzgar türbinleri, uygulamada en çok rastlanan sistemlerdir. Birbirine bağlanmış çok sayıda rüzgar türbini yerel dağıtım şebekesini besler ve yerel tüketici firmalara da elektrik satılabilir. Bunun dışında rüzgar türbinleri genel elektrik şebekesine bağlı olan meskenlere, işyerlerine ve çiftliklere elektrik vermek üzere tesis edilirler. Rüzgar gücünün düşük olduğu zamanlarda elektrik genel şebekeden satın alınır. Rüzgar türbinleri fazla güç ürettiğinde ise elektrik genel şebekeye verilir.

Üretilen elektrik enerjisinin türbin çıkışından itibaren son kullanıcı olan tüketicilere ulaştırılmasında iletim hatlarına gereksinim duyulur. İletim hatlarının yanı sıra üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara iletimi sırasında trafolar sayesinde üretilen gerilimin yükseltilerek iletimi sağlanır. Bu sayede iletim esnasında oluşacak kayıplar en aza indirgenmiş olur. Tüketicilere gelindiğinde elektrik enerjisi tekrar trafolar sayesinde kullanılacak seviye olan 220V'a düşürülür. Bilindiği gibi iletim esnasında kullanılan trafolar, iletim hatları ve direkler birer maliyettir. İletim maliyetlerini en aza indirmek için rüzgar türbininin kurulduğu yerin elektrik sağlayacağı bölgeye uzak olmaması gerekir. Uzaklık iletim maliyeti ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. İletim esnasında kullanılan iletkenlerin kalitesi de maliyeti üzerinde rol oynamaktadır. Rüzgâr türbinleri, çoğu gelişmiş ülkede basit sigortalı ayırıcılar ve her bir türbin için bir trafo ile şebekeye bağlanmakta ve başında eleman bulunmadan işletilebilmektedir (Özgür 2002).

Şebeke Bağlantısız Rüzgâr Türbinleri: Bu tür rüzgar türbinleri genellikle üç kanatlı, transmisyon sistemi, DA generatör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşmaktadır. Elde edilen DA elektrik aküler vasıtasıyla depolanabilir. Şebekeden bağımsız rüzgar elektrik sistemleri birkaç kW ile 100 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW'ı aşmamaktadır. Şebekeden bağımsız çalışan rüzgar türbinleri, yedek enerji

kaynakları ile paralel çalıştırılmaktadır. Böylece rüzgar enerjisi ile elektrik üretilmediği durumlarda sistemimiz enerjisiz kalmamış olacaktır. Sistemlerde DA/AC invertör kullanılarak tüketici AC ile beslenmektedir. Bu tür sistemler özellikle kırsal alanlarda ve enterkonnekte şebekeye uzak olan bölgelerde tercih sebebidir. Türbinden elde edilen elektrik çeşitli ünitelerden geçerek kullanıma sunulmaktadır. Rüzgârın esmediği durumlarda ise yani türbin tarafından elektrik üretimi olmadığı zamanlarda, akü içerisinde depolanmış olan enerji kullanıma sunulur (Özgür 2002).

Türkiye’de özellikle 10 kW’dan küçük güçlerde, rüzgar ve güneş enerjisinin beraber kullanıldığı hibrit güç üretim sistemlerine talep olduğu ve bu tür sistemlerin piyasaya çıkarıldığı da görülmektedir. Bu sistemler DA karakterli ve akülüdürler. Ancak, pahalı olmaları yaygınlaşmalarını engellemektedir.

2.3.3 Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Generatörler

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

- Doğru akım generatörler
- Senkron generatörler
- Asenkron generatör

2.3.3.1 Doğru Akım Generatörleri

Doğru akım makinaları, düşük güvenilirlik ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar. DA generatörleri küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DA generatörleri, komütatörü elimine etmek için daimi mıknatıslı olarak tasarlanmaya başlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım

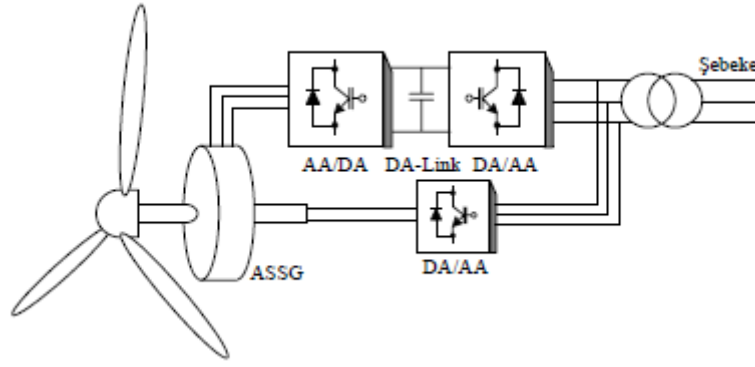
makinaları olarak da isimlendirilen bu makinalar, daimi mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar (Mergen ve Zorlu 2005)

2.3.3.2 Senkron Generatör

Senkron generatör, 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 generatörler 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 generatör kullanılmaktadır.

Rotoru Sargılı Senkron Generatör (RSSG): Rotoru sargılı senkron generatörlerde; stator sargısı, dalga genişlik modülasyonu tekniğine göre anahtarlama yapabilen, çift yönlü akım akışının olabildiği gerilim kaynaklı iki invertörden meydana gelmiş, dört bölge bir güç konvertörü üzerinden Şekil 2.8’de görüldüğü gibi şebekeye bağlanmıştır. Stator tarafındaki konvertör elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konvertör ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder. RSSG’in sağladığı avantajlar şunlardır:

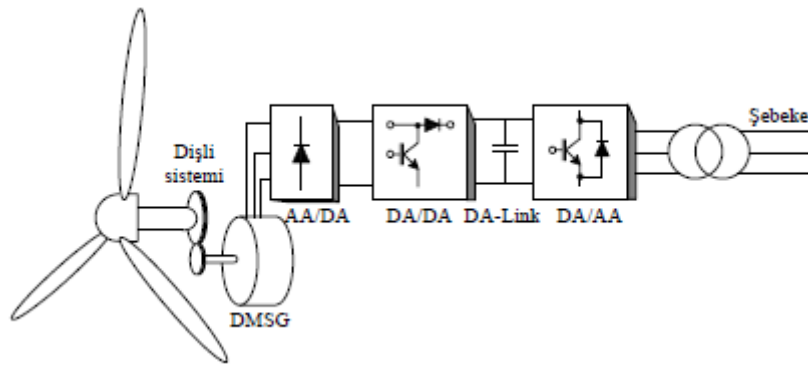
- Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için bu makinanın verimi yüksektir.
- Çıkık kutuplu alan sargılı senkron generatörün kullanılmasının en büyük faydası, makinanın güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı birçok işletim durumunda minimize edilebilir.
- Bu generatörlerin kutup eğimi indüksiyon makinalarına göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusu elimine edilerek, düşük hızlı çok kutuplu makinalar elde edilmesinde önemli bir özellik olabilmektedir.



Şekil 2.8 Rüzgar türbinindeki RSSG şebeke bağlantısı (Uyar 2006)

Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron generatör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır. Ayrıca üretilen aktif ve reaktif gücü regüle etmek için, nominal rüzgar gücünün 1,2 katı büyüklüğünde konvertörler kullanılması gerekmektedir (Marques 2003).

Daimi Mıknatıslı Senkron Generatör (DMSG): DMSG herhangi bir enerji kaynaklarına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük avantajı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Generatör hızı herhangi dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir ancak dişli sistemi ile beraber kullanılan modelleri de vardır. Daimi mıknatıslı senkron generatörün statoru sargılıdır ve rotoruna kalıcı mıknatıslar yerleştirilmiştir olup Şekil 2.9’da gösterildiği gibi bağlantı yapılır. Çok yaygın olarak kullanılan tipleri radyal akıllı, aksikal akıllı ve çapraz akıllı olanlarıdır.



Şekil 2.9 Rüzgar türbinindeki DMSG şebeke bağlantısı (Uyar 2006)

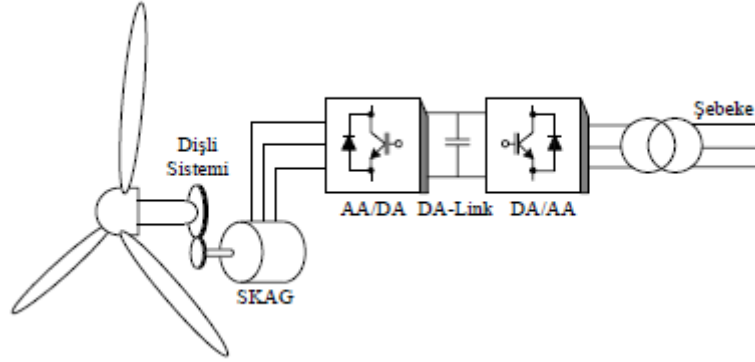
DMSG'ler harekete geçme anında, senkronizasyonda ve gerilim regölasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca daimi mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğerk dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değışmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. DMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağılanması gereklidir (Dursun ve Binark 2008).

2.3.3.3 Asenkron Generatör

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

Bir asenkron makina, generatör olarak çalışmada makinanın güç kaynağı rotordan alınan mekanik güçtür. Asenkron generatörün 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 rüzgâr 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 makina generatör olarak çalışır. Türbinin mekanik gücünü elektrik gücüne çevirir ve stator uçlarına bağlı yükü besler. Eğer makina şebekeye paralel olarak çalışıyor ise şebekeye güç temin edecektir. Yani makinanın generatör olarak çalışabilmesi için senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürölmesi gerekir. Asenkron makinelerde stator ile rotor arasında elektriksel bir bağlantı olmayıp, tamamen elektromanyetik endüksiyon prensibine göre çalışır. Asenkron generatörler rotor yapılarındaki farklılığa göre sincap kafesli asenkron generatör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron generatör olmak üzere ikiye ayrılırlar (Patel 1999).

Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG): SKAG hem sabit hızlı rüzgar türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak, pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir. Şekil 2.10'da şebeke bağlantısı verilmiştir.



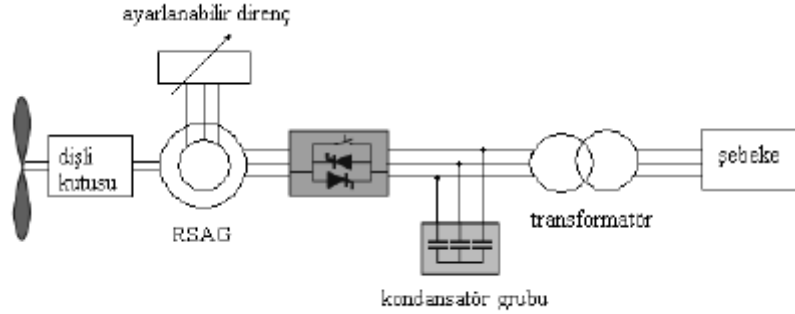
Şekil 2.10 Rüzgar türbindeki SKAG şebeke bağlantısı (Uyar 2006)

Sincap kafesli asenkron makinalar, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Dezavantajları; generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıktırmasıdır. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgar gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgar türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7–8 kat daha hızlı akım geçişi olur ki bu sistemin dezavantajları arasında yer alır (Dursun ve Binark 2008).

Rotoru Sargılı Asenkron Generatör (RSAG): Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir.

Dezavantajı ise pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır. Şekil 2.11'da şebeke bağlantısı görülmektedir. Bu generatör tipinin çift beslemeli olan tipleri de vardır.

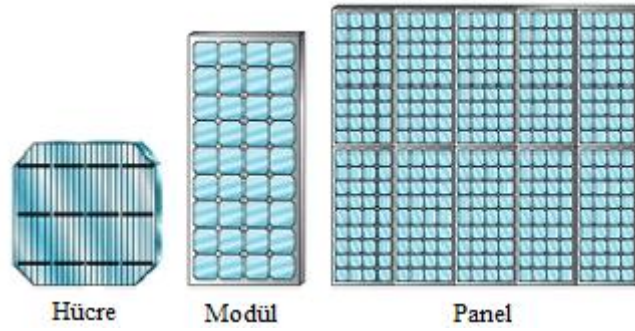
Çift beslemeli asenkron generatör stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir RSAG ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü back-to-back IGBT konvertörden meydana gelmiştir. Genellikle, rotor tarafındaki konvertör kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve generatörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konvertör kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. ÇBAG değişik rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar, ancak sınırlıdır. ÇBAG' ün avantajları; offshore olarak isimlendirilen açık deniz rüzgar santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. ÇBAG'nin en büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır.



Şekil 2.11 Rüzgar türbindeki RSAG şebeke bağlantısı (Dursun ve Binark 2008)

2.4 Güneş Pilleri ve Fotovoltaik Sistemler

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik 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 fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan MW'a kadar sistem oluşturulur. Şekil 2.12'de hücrelerin birleşimi ile meydana gelen modül ve güneş paneli görülmektedir.



Şekil 2.12 Güneş pili, hücre, modül ve panel (Keçel 2007)

2.4.1 Güneş Pilleri Tarihçesi

İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'ler de başlamış olmasına rağmen, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki petrol krizi ile hız kazanmıştır. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretililecek ince film

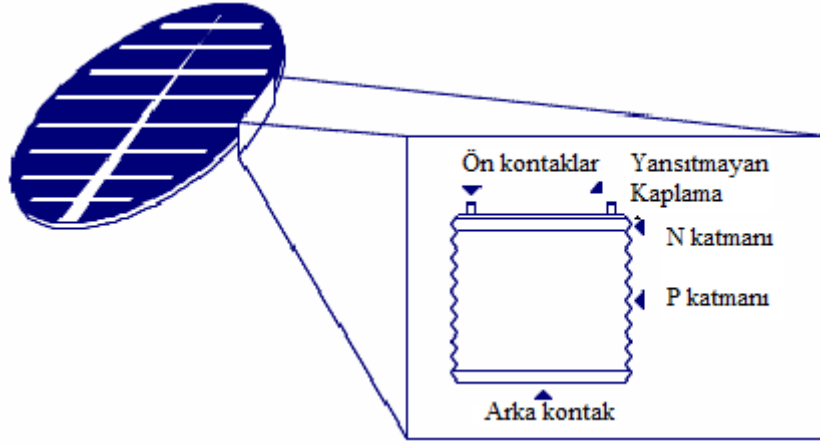
güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. 1975'ten sonraki ilk 15 yılda özellikle uzay programları için silikon güneş pillerinin üretimi yılda ortalama 100 kW civarındaydı. 1987 yılına doğru tüm dünya içinde yerküre uygulamaları için kullanılan modellerin yıllık siparişi 1986 yılında 28,6 MW' a ulaştı (Özgöçmen 2007).

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirme basit, çevre dostu olan fotovoltaiik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaiik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaiik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir (Özgöçmen 2007).

2.4.2 Güneş Pillerinin Yapısı

Günümüzde farklı maddelerden ve farklı teknolojilerde birçok tipte PV panel 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 ışınının 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.



Şekil 2.13 Güneş pilinin içyapısı (Çıtıroğlu 2000)

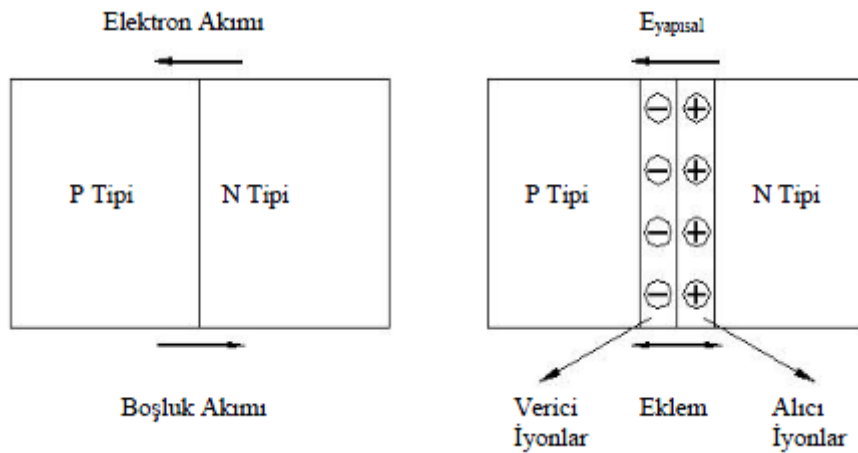
Güneş pilleri, güneş-elektrik çevriminin bir elemanı olup, optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemeden yapılmış diyotlardır. PV hücreler, gerçekte birbirine benzemeyen P tipi ve N tipi olmak üzere iki zayıf yarı iletken malzemeden oluşmaktadır. Yarı iletken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

Güneş pilinin içyapısı Şekil 2.13’de görüldüğü gibi, iki farklı katman halindedir. N katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif kısmıdır. İki katman arasında, P-N kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır (Boyle 2004).

2.4.3 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.

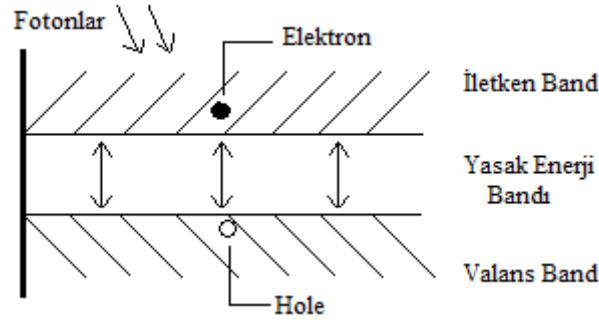
Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı iletkenin p ya da n tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik 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 katkılanmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarı iletken eklemler 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 2.14'de P-N eklem oluşması gösterilmiştir (İnt. Kyn. 5).



Şekil 2.14 P-N eklem oluşması

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

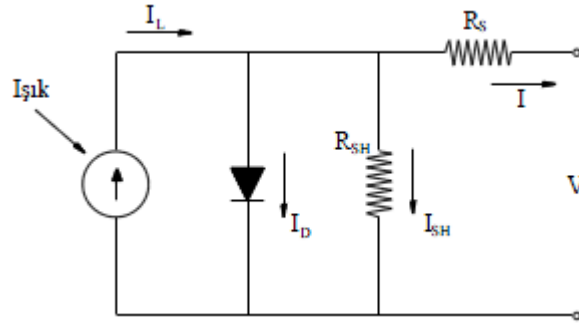
Yarı iletkenler, Şekil 2.15’de görüldüğü gibi bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarı iletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, P-N eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarı iletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar (İnt. Kyn. 5).



Şekil 2.15 Valans bandındaki bir elektronun iletken banda geçişi

2.4.4 PV Güneş Pilinin Eşdeğer Devre Modeli

PV pillerin I-V karakteristikleri güneş pili eşdeğer devre modeli ile elde edilir. İdeal bir güneş pilinin devre modeli Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ideal model sadece akım ürettiği için bir akım kaynağı ve p-n ekleminden oluştuğu için de bir diyot içermektedir.



Şekil 2.16 İdeal güneş pili eşdeğer devre modeli (Duman 2008)

Şekil 2.19’de verilen devre modeli, PV 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 Denklem 2.11 ile temsil edilebilir.

$$I = I_L - I_D \left[\exp \left(\frac{e}{A.K.T} \cdot (V + I.R_{SH}) \right) - 1 \right] - \frac{(V + I.R_{SH})}{R_{SH}} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11’deki sızıntı akımını temsil eden $\frac{(V + I.R_{SH})}{R_{SH}}$; gerçek uygulamalarda

I_L ve I_D ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek kadar küçüktür (Patel 1999).

Burada;

I = PV pilin çıkış akımı (A)

I_L = Fotovoltaik hücre akımı (A)

I_D = Diyotun ters doyma akımı (A)

V = PV pilin çıkış gerilimi (V)

A = Diyot kalite faktörü

R_S = Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)

R_{SH} = Eşdeğer devrenin paralel direnci (Ω)

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

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

T = Referans çalışma sıcaklığı (°K)

ile temsil edilmektedir. I-V eğrisi, belirli bir sıcaklık ve ışıyım şiddeti altında, güneş pili uçlarındaki gerilim ve akımı gösterir. Güneş pilinin verdiği akım, yüzeyine gelen güneş ışıyım şiddetine ve yüzey sıcaklığına bağılı olarak değışir. Bir güneş pilinin yüzeyine gelen ışıyım 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 ışıyım şiddeti altında, değışik sıcaklıklarda, ya da sabit sıcaklıkta, değışik ışıyım şiddetlerinde çizilmiş olarak verirler.

2.4.5 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 türleri kısaca açıklanmıştır.

2.4.5.1 Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum, yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan bir maddedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddelerde olmakla birlikte, silisyum hem teknolojik üstünlüğü nedeniyle, hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir (İnt. Kyn. 6).

2.4.5.2 Tek-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Monokristal silisyum güneş pili olarak da bilinmektedir. İlk ticari güneş pillerinde, “Chrozalski kristal çekme tekniğı” ile büyütölen tek kristal yapılı silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstrisinde hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte, öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve ısıl reaksiyonlardan geçilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğı, çekirdek denen tek kristal yapılı bir silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında, soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğın üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe,

elmas bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar halinde kesilir, daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15 civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajlarıdır (Keçel 2007).

2.4.5.3 Yarı-Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Yarı-kristal de denen bu tip piller, sıvı silisyumun soğutulması ile elde edilen kümelenmiş, küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.

2.4.5.4 Çok-Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Polikristal silisyum güneş pili olarak da bilinmektedir. Çok kristalli silikonlar, tek kristal silikonların küçük taneciklerinden oluşmaktadır. Çok kristalli silikonlardan değişik yollarla direkt güneş pili levhaları yapılmaktadır. Tek kristalli silikonların üretimine benzeyen bu piller eriyen çok kristalli silikonların kontrollü şekilde küp şeklindeki kalıplara dökülüp soğumasından sonra kare şeklinde kesilmesi ile oluşur. Çok kristalli fotovoltaiik pillerin üretimi tek kristallilere göre daha kolay ve daha ucuzdur. Fakat çok kristalli silikonların verimi daha düşüktür. Çok kristalli pillerin verimlilikleri laboratuvar üretimlerinde %18, seri üretimlerde ise %13–14 oranındadır. Her iki hücre pili için de yarıiletken tabakanın kalınlığının artırılması ile verimliliğin artacağı savunulmaktadır (İnt. Kyn. 6).

2.4.5.5 İnce Film Güneş Pilleri

İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin; cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeyler üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanması ile elde edilen hücrelerdir. Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi, farklı bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda

yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaiik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden-milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; amorf-silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen bileşiklerdir. Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzemede milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısı ile ince film fotovoltaiik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Ayrıca ince-film malzeme istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum piller büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaiik modül yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur. Verimleri %5–8 arasındadır (Güçlü 2009).

2.4.5.6 Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grupta yer alan elementlerin üç ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşikte, yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır İndiyum ve Selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. Laboratuardaki küçük alan pillerinin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri %15 dolayındadır (Güçlü 2009).

2.4.5.7 Amorf Güneş Pilleri

Amorf silikon olarak bilinen güneş pilleri silikonların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silikon atomları yukarıda belirtilen kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmiştir. Amorf silikon hücrelerini üretmek diğer kristal silikonlara göre oldukça ucuzdur. Ayrıca bir Amorf Silisyum ışığı daha kolay içine çekmektedir. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silikonlar için gerekenden daha düşük sıcaklıklardadır.

Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Kristal yapı özelliği göstermeyen bu pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5–7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulaması olarak binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Maliyeti düşük olması nedeniyle düşük verimliliğe karşın ekonomik olacağı görüşü hâkimdir (Güçlü 2009).

2.4.5.8 Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan Kadmiyum elementi ile altıncı grubunda bulunan Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan CdTe'nin, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı $E_g = 1,5$ eV değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır. CdTe çoğunlukla kadmiyum sülfür CdS, ile bir araya getirilerek hetero-eklem diyod üretilir. Yasak enerji aralığı yaklaşık 2,4eV olan CdS yarı iletkeni çok ince bir tabaka olarak uygulanır. Güneş ışınımının çoğunu geçiren CdS, hetero-eklem de pencere görevi yapar. CdT ince film büyütmede 2 teknoloji ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi olan yakın mesafeden buharlaştırma (close space sublimation, CSS) yöntemi ile en yüksek kalitede CdTe malzeme üretilmektedir. Bu yöntemde sıcaklık farklılıkları çok az olan kaynak ve filmin büyüdüğü yüzey birbirine çok yakın tutularak malzemenin sublimasyon yoluyla büyümesi sağlanır. İkinci CdTe büyütme yöntemi olan elektrodepozisyon yönteminde ise, kadyum ve tellür iyonu taşıyan elektrolitten akım geçirilerek CdTe yarı-iletkeninin katotta büyümesi sağlanır. Çok ucuz olan bu yöntemde büyüyen malzemenin denetimi CSS yönteminde olduğu kadar kolay değildir (Luque and Hegedus 2002). Laboratuar verimleri %16'dır.

2.5 Hibrit Sistem ve Bileşenleri

Hibrit enerji sistemleri, iki yada daha fazla enerji kaynağının elektrik enerjisi üretmek

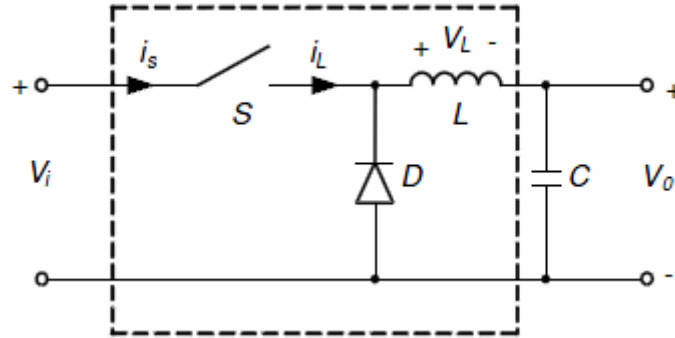
amacı ile bir arada kullanıldığı enerji sistemleri olarak tanımlanabilirler. Hibrit enerji sistemlerinde, şebekeye uzak veya yakın bir tesisin, kırsal veya kentsel bir evin elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için elektrik üretim (fotovoltaik panel, rüzgar türbini, hidrolik, jeneratör vb.) elemanlarının bir kaçı bir araya getirilir. Hibrit enerji sistemleri merkezi elektrik şebekesinden bağımsız olabilecekleri gibi şebeke bağlantılı da olabilirler (Çetin 2010). Hibrit enerji sistemlerinde esas amaç yükün beslenmesidir. Fakat bunun dışında, tek kaynağa bağımlı enerji sistemlerinden farkı hibrit sistemdeki kaynaklardan birinin kesilmesi veya azalması durumunda diğer kaynağın elektrik enerjisi arzındaki güvenilirliği ve devamlılığı sağlamasıdır. Yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş bir hibrit enerji sistemi genellikle küçük yüklerin beslenmesinde yeterli olabilmektedir. Şebeke bağlantılı bir hibrit enerji sisteminde şebekeden elektrik enerjisi satın alınabileceği gibi belirli zamanlarda meydana gelebilecek olan üretim fazlası elektrik enerjisi şebekeye satılabilir. Şebeke bağlantısız sistemlerde üretilen enerjinin ihtiyaçtan fazla olması durumlarında ise, enerji bataryalarda depolanabilir.

2.5.1 Konvertörler

Rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri kullanılarak oluşturulan hibrid sistemlerin daha verimli kullanılması için DA/DA konvertörler kullanılmaktadır. Hibrid sistem elemanlarından elde edilecek elektrik enerjisi, günün değişik zamanlarında farklı gerilim değerleri vermektedir. Oluşturulacak sistemin, yükün türüne bağlı olarak sürekli sabit çıkış gerilimi vermesi istenir. DA/DA konvertörler, ayarsız DA giriş gerilimini istenilen gerilim kademesinde, kontrollü DA çıkış gerilimine çevirmek için kullanılırlar. Kullanılan konvertör çeşitleri ise yükseltici (boost), alçaltıcı (buck) ve alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) konvertörler olarak tanımlanabilir. Konvertörlerin tasarımı sırasında kullanılan anahtarlama stratejisi, sistemin veriminin artırılmasını hedeflenmektedir. Bu tür sistemler için en verimli uygulamanın maksimum güç noktası takibi (MPPT) olduğu belirlenmiştir. Maksimum güç noktası takibi işleminde güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisindeki değişimlerin sistemin çıkışında minimum seviyede hissedilmesi ve konvertörün çıkış geriliminin sürekli olarak sabit tutulması amaçlanmaktadır. MPPT işlemi sırasında giriş gerilimi ve akımı

değerlendirilerek, konvertör türüne bağlı olarak anahtarlama sinyalinin oranı sürekli olarak değiştirilmekte ve çıkış gerilimi sabit tutulmaktadır. Ancak bu işlemin yapılabilmesi için öncelikle kullanılacak olan PV'lerin yapısı ve çıkış gerilim aralıklarının bilinmesi, ayrıca PV'lerin üretebileceği giriş gerilimine göre sistemde kullanılacak olan konvertör tipinin belirlenmesi gerekmektedir.

Sistemde kullanılacak olan konvertörün yapısını, güneş panellerinden elde edilen giriş gerilimi (V_i) ile konvertörün çıkış gerilimi (V_o) arasındaki fark belirlemektedir. Şekil 2.17'de alçaltıcı konvertörün yapısı verilmiştir. Bu tür konvertörler çıkış geriliminin, panellerden elde edilen gerilime eşit veya daha az olduğu durumlarda kullanılır. Devrede S anahtarlama elemanı, yüksek frekansta anahtarlanarak sistemin güç akışı sağlanır. S anahtarı kapalıyken L bobini üzerinde bir gerilim düşümü meydana gelir. Diyot ters kutuplanmıştır. Giriş gerilimi hem bobine hem de çıkıştaki yüke enerji sağlar. Anahtar açık olduğu sürece bobin akımı diyot üzerinden akar ve üzerinde biriktirdiği enerjinin bir kısmını yüke aktarır.



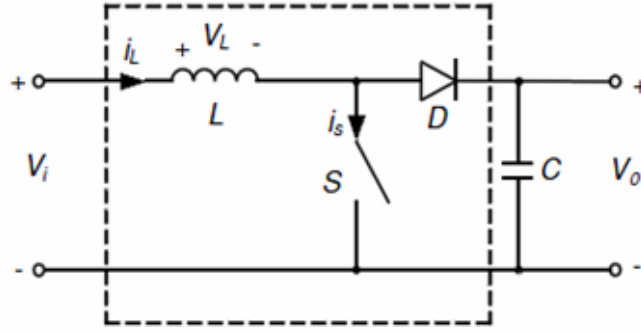
Şekil 2.17 Alçaltan (buck) konvertör yapısı (Demirtaş 2008)

Alçaltan konvertörlerde ortalama çıkış gerilimi ile anahtarlama oranı arasındaki ilişkisi Denklem 2.12'de verilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{t_{ON}}{T} = D \quad (2.12)$$

Şekil 2.18'de yükselten konvertörün yapısı verilmiştir. Devrede S anahtarı kapalı olduğu zaman akım bobin üzerinden geçmektedir. Bu durumda bobin gerilimi giriş

gerilimine eşit ($V_L = V_i$) olmaktadır. S anahtarının açık olduğu zaman ise, bobin üzerindeki gerilim giriş ve çıkış gerilimlerinin farkına ($V_L = V_i - V_o$) eşit olmaktadır. Sonuçta çıkış gerilimi bobin gerilimi ile giriş geriliminin toplamına eşit olmaktadır. Bu tür konvertörler çıkış geriliminin panellerden elde edilen gerilimden daha büyük olması istenilen durumlarda kullanılırlar.

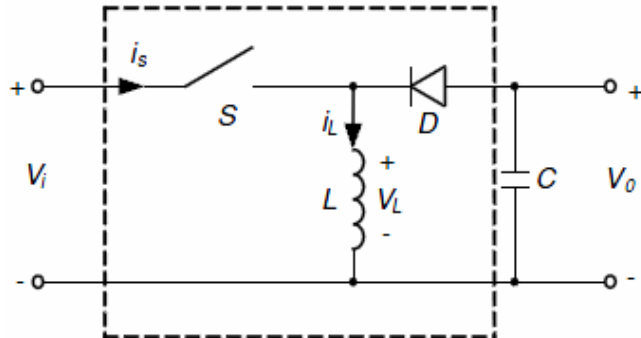


Şekil 2.18 Yükselten (boost) konvertör yapısı (Demirtaş 2008)

Yükselten konvertörlerde ortalama çıkış gerilimi ile anahtarlama oranı arasındaki ilişki Denklem 2.13’de verilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad (2.13)$$

Şekil 2.19’de alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) konvertörün yapısı verilmiştir. Konvertörde, S anahtarı kapalı olduğu zaman bobin gerilimi, giriş gerilimine eşit ($V_L = V_i$) olmaktadır. Anahtar açık durumda iken bobin gerilimi çıkış gerilimine eşit ($V_L = V_o$) olmaktadır.



Şekil 2.19 Alçaltan-Yükselten (buck-boost) konvertör yapısı (Demirtaş 2008)

Alçaltıcı-Yükseltici konvertörlerde ortalama çıkış gerilimi ile anahtarlama oranı arasındaki ilişki Denklem 2.14'te verilmiştir (Demirtaş 2008).

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{D}{1-D} \quad (2.14)$$

2.5.2 İnvörtörler

İnvörtörler, doğru akım enerjisini alternatif akım enerjisine dönüştüren elektronik devreleridir. DA gerilim, AC şebekeden alınan gerilimin doğrultulup filtrelenmesiyle veya PV paneller, rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından ya da akülerden elde edilebilir. Çıkış gerilimi, tek fazlı veya çok fazlı olabilir ve dalga şekli kare, sinüs veya PWM dalga formunda olabilir (Malt et al. 1998). İnvörtörlerin üreteceği dalganın biçimi ve frekansı kullanılan yarıiletken elemanın (tristör, transistör, MOSFET, IGBT) karakteristiklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır. İnvörtörlerde dalga biçimlendirmede temel ilke, tristör, transistör, MOSFET veya IGBT gibi anahtarlama elemanlarının iletim ve tıkama sürelerinin uygun bir biçimde belirlenmesidir. Bu belirleme ile birlikte elemanların anahtarlama sırası da çok önemlidir.

Eviriciler ürettikleri gerilim değerini elde etme yapılarına göre transformatörlü ve transformatörsüz olarak iki gruba ayrılırlar. Transformatörlü invörtörler girişlerine uygulanan düşük seviyeli DA gerilimi önce tam veya modifiye sinüs haline getirir, daha sonra da elde edilen düşük değerli AC sinyali bir transformatörden geçirerek istenilen AA gerilim seviyesine ulaştırırlar. Transformatörsüz invörtörlerde ise giriş gerilim seviyesi yaklaşık olarak çıkışta istenilen gerilime yakın olmak zorundadır. Bu tür eviriciler daha hafif ve kullanışlı olmalarına rağmen, dezavantajları ise şebeke ile galvanik izolasyon sağlamazlar ve şebekeye DA bileşen enjekte ederler.

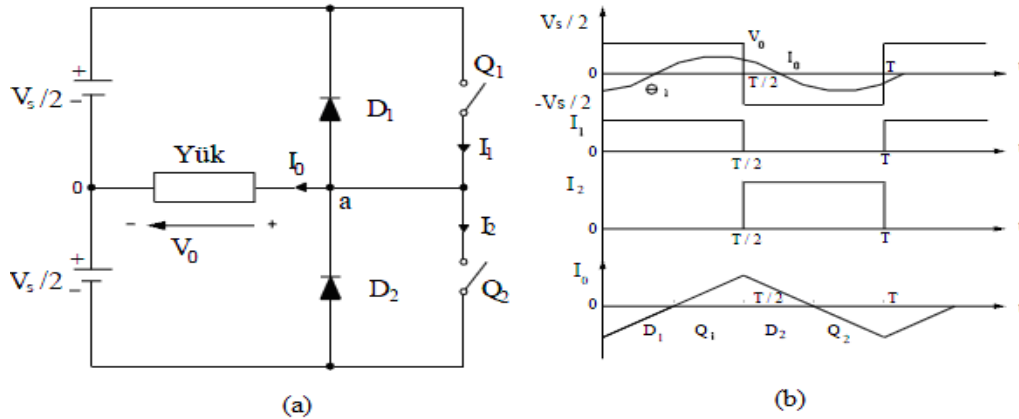
İnvörtörler, besleme özelliklerine göre, akım beslemeli (CSI) ve gerilim beslemeli (VSI) olarak iki grupta toplanırlar. Eğer giriş gerilimi sabit tutulursa gerilim beslemeli, giriş akımı sabit tutulursa akım beslemelidir. Kullanılan ara devreye göre de akım beslemeli

veya gerilim beslemeli olduğu tespit edilebilir. Ara devre seri bir endüktanstan oluşuyorsa akım beslemeli, bir endüktans ve sisteme paralel bağlı bir kondansatörden oluşuyorsa gerilim beslemeli invertör adını alır. İnvörtörler kullanım amaçlarına göre iki grupta toplanır. Bunlardan birincisi doğru akım kaynağından alternatif akım üretmek, ikincisi ise üretilen bu alternatif akımın gerilimini veya frekansını değiştirmektir (Fesli 2009).

2.5.2.1 Bir Fazlı Yarım Dalgı Gerilim Beslemeli İnvörtörler

Bu evirici devresi Şekil 2.20,a'da görüleceğı gibi iki anahtarlama elemanından meydana gelmiş bir devredir. Burada Q_1 anahtarı $T/2$ zamanında iletimde iken yükün uçlarındaki gerilim değeri $V_s/2$ 'dir. Diğer $T/2$ zamanında ise Q_2 iletimdedir ve yükün uçlarındaki gerilim ise $-V_s/2$ 'dir. Bu anahtarlar aynı zamanda iletimde olmazlar. Çünkü aynı koldaki anahtarlama elemanları kısa devre olur. Bu istenmeyen bir durum olduğu için anahtarlama elamanlarının geçiş anlarında bir ölü zaman oluşturulur.

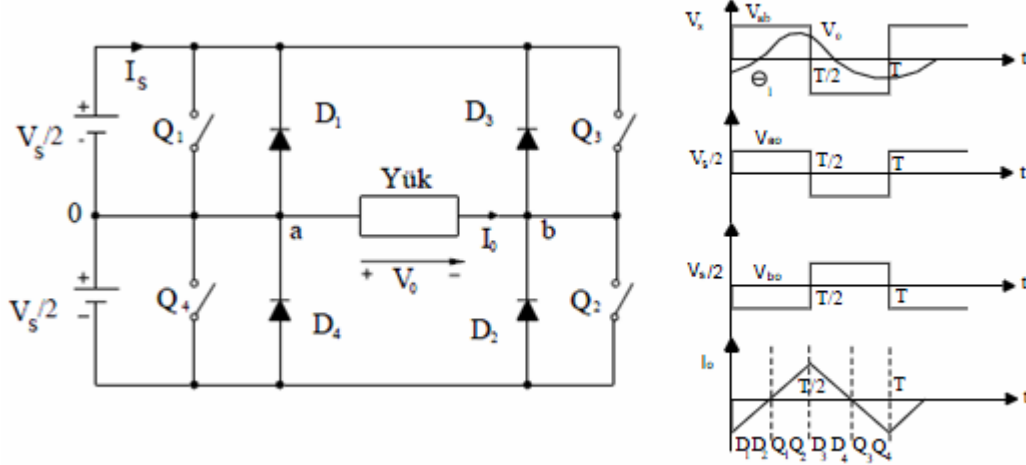
Şekil 2.20,b'de anahtarlama elemanlarının iletimde ve kesimde olduğu zamanlarda akım ve gerilim eğrileri verilmiştir. Yüknün omik olması durumunda akım, gerilimi izleyerek kare dalgı şeklinde değışir. Endüktif yük durumunda ilk yarım periyotta Q_1 anahtarları iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D_1 diyotundan geçer, diğer yarım periyotta ise Q_2 anahtarı iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D_2 diyotundan geçer.



Şekil 2.20 Bir fazlı yarım dalgı invertör; a) devresi şeması, b) çıkış eğrileri (Arı 2006)

2.5.2.2 Bir Fazlı Tam Dalga Gerilim Beslemeli İnvörtörler

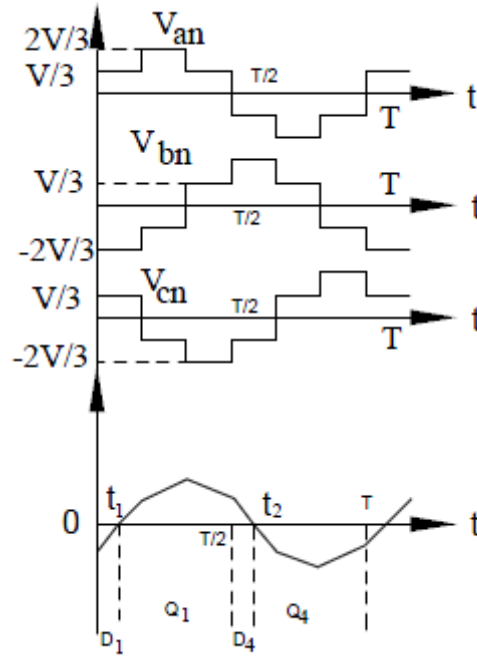
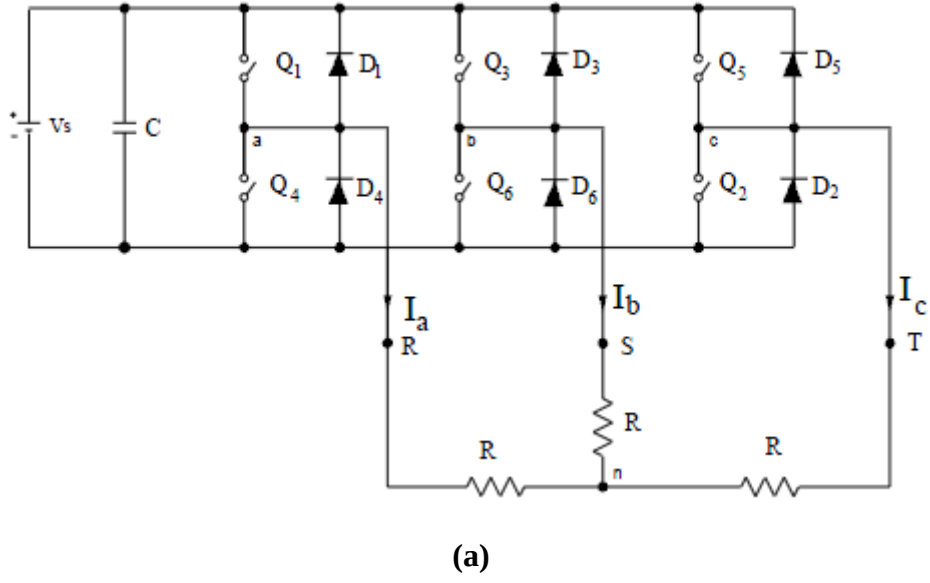
Şekil 2.21,a'daki tam dalga köprü invörtör, bir DA kaynağı ve dört adet anahtardan oluşmaktadır. Tam dalga köprü devresinde, DA kaynağı her yarım dalga da invörtöre akım sağlar. Q_1 ve Q_2 anahtarları aynı zamanda kapatılır ve V_o, I_o pozitifdir. Bir yarım dalganın bitiminde Q_1 ve Q_2 açılır ve Q_3 ve Q_4 anahtarları kapatılır. Şekil 2.21,b'de evirici çıkış akım ve gerilim eğrileri gösterilmiştir. Yüken omik olması durumunda akım, gerilimi izleyerek kare dalga şeklinde değişir. Endüktif yük durumunda ilk yarım periyotta Q_1 ve Q_2 anahtarları iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D_1 ve D_2 diyotlarından geçer, diğer yarım periyotta ise Q_3 ve Q_4 anahtarları iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D_3 ve D_4 diyotlarından geçer. DA kaynağındaki I_s akımının negatif olduğu aralıklarda enerji yükten kaynağa geri döner. DA kaynağının, bu enerjiyi kabul edilebilecek özellikte olması gerekir. Kaynak bir doğrultucu ise, kaynak uçlarına bu yükü depolayabilecek bir kapasitör bağlanır.



Şekil 2.21 Bir fazlı tam dalga invörtör; a) devresi şeması, b) çıkış eğrileri (Arı 2006)

2.5.2.3 Üç Fazlı Gerilim Beslemeli İnvörtörler

Üç fazlı invörtörler genelde yüksek güçlü uygulamalarda kullanılırlar. Üç tane bir fazlı invörtörün paralel bağlanması sonucu üç fazlı invörtör oluşturulur. Şekil 2.22'de üç fazlı bir invörtör devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Üç fazlı invertör; a) devre şeması, b) çıkış eğrileri (Arı 2006)

Girişte bir DA kaynak vardır. İnvertörde altı anahtarlama elemanı istenilen dalga şeklini üretmek için periyodik olarak açılır veya kapatılır. Bu anahtarlama sırasına göre invertör çıkış frekansını belirleyerek gerilim ve harmonikler kontrol edilebilir. Altı anahtarlama elemanı ve altı diyottan oluşmuş invertör, anahtarlama elemanlarının 180° iletimde kalmasını sağlayarak sürülmesi söz konusudur. Q_1 anahtarlama elemanı iletimde iken

Q_4 kesimdedir ve Q_4 iletime geçtiğinde de Q_1 kesime gider. Bu durum diğer iki kolda da geçerlidir. Aynı anda bir koldaki anahtarlama elemanları iletimde olamaz. Çünkü kısa devre meydana gelir, buda istenmeyen bir durumdur. Her bir koldaki anahtarlama elemanları arasında ölü zaman meydana getirmekle kısa devre durumundan kaçınılmış olur. Anahtarlama elemanlarının iletim ve kesim durumuna göre bir periyot içinde altı anahtarlama modeli oluşur ve her durumda sadece üç anahtarlama elemanı iletimde kalarak aralarında 60° bir faz farkı ile anahtarlama elemanları tetiklenir (Arı 2006).

2.5.3 Aküler

Güneş ve rüzgâr enerjili elektrik sistemlerinde aküler güneş panellerinden ve rüzgâr türbinlerinden gelen DA gerilimin depolanmasında kullanılırlar. Güneş enerjili sistemlerde en çok kurşun-asit ve Ni-Cd (Nikel kadmiyum) tipindeki aküler kullanılır. Özellikle günümüzde kuru tip kurşun-asit sınıfına giren tam kapalı Jel aküler sık rastladığımız akü çeşididir. Jel akülerin temel özelliği asit taşması veya sızdırması olmamasıdır. Gaz çıkışı minimumdur. Bu sebepten çok güvenilirdir ve rafta bekleme ömürleri daha uzundur. Jel akülerin temel bazı özellikleri aşağıdaki gibidir (İnt. Kyn. 7).

- Bakım gerektirmezler.
- Kendi kendine deşarj seviyesi çok düşüktür. (2 yıl kullanılmadığında bile %75 oranında dolu kalır)
- Uzun deşarjlarda mükemmel performans sağlar.
- Yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı dayanıklıdır.
- Çevrimsel ömrü uzatan ve ızgaralarda paslanmayı önleyen kalın plakalara sahiptir.
- Düşük iç dirençten dolayı yüksek performans sağlar.
- Daha çok sayıda şarj ve deşarj olabildikleri için günlük çevrimsel kullanım için idealdir.

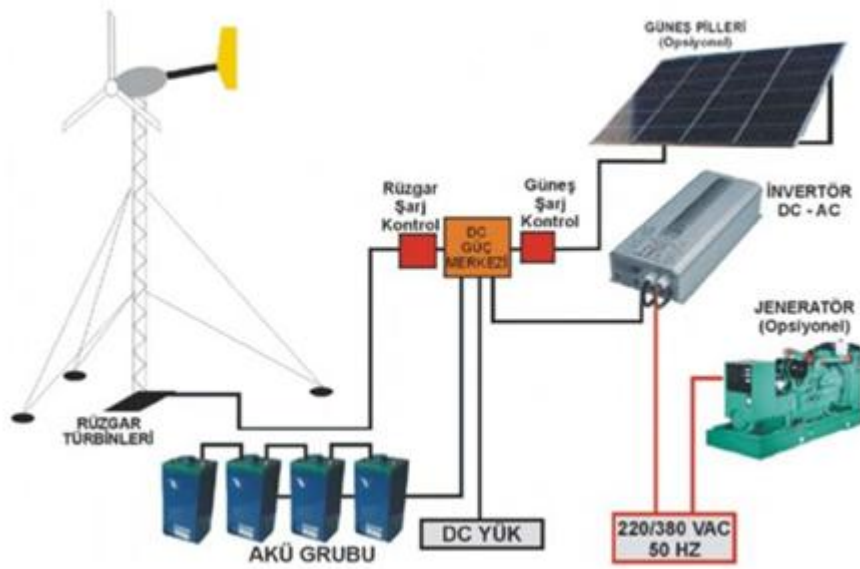
Akü sistemleri; PV modüllerinin ve Rüzgâr türbinlerinin pillere ve pillerin de yüke bağlanmasıyla çalışırlar. Coğrafi şartların ağır olduğu (yazın aşırı sıcak, kışın aşırı soğuk) yerlerde kurulan güneş enerjili sistemlerde akülerin bu şartlara dayanıklı olarak

seçilmesi gerekmektedir. Sıcaklıklardaki aşırı artış veya düşüşler akünün depolama kapasitesini ve derin deşarj durumları özelliklerini hızla yitirmelerine neden olur. Güç ihtiyacı düşük uygulamalarda 12 V'luk tam bakımsız aküler kullanılmaktadır. Daha büyük güç ihtiyaçlarında ve Telekom sistemlerinde 2 V'luk sabit tesis özel güneş aküleri kullanılmaktadır. Her iki akü tipinin de ortak özellikleri uzun ömürlü olmaları, gaz çıkışının olmaması veya minimum seviyede tutulması, derin deşarj özelliği ve bunu yaklaşık olarak 300–1500 defa tekrarlayabilme kabiliyeti, su ekleme ihtiyacının çok geniş zaman aralıkları (minimum 1 yıl) içinde ortaya çıkması olarak özetlenebilir.

Akü bankasının büyüklüğü tam rüzgârsız ve güneşsiz arka arkaya gelen günlerde sistemin kesintiye uğramayacağı şekilde tasarımlanır. Genelde 3 ile 6 gün arasında verilen otonomi süresi sayesinde muhtemel bir arıza anında, bakım ve servis çalışmaları sürecinde de bir kesinti yaşanmaz. Güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri ile aküler arasında mevcut kontrol üniteleri sayesinde aküler en uygun akım ve gerilim kombinasyonu ile şarj edilmektedirler (Demirtaş 2008). Ayrıca akülerin uygun invertörler ile bağlanması ile elektrik kesintilerine karşı etkili UPS sistemleri oluşturulur.

3. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

Bu tez çalışmasında Afyon Kocatepe üniversitesi elektrik atölyesinin 500W olan genel aydınlatmasının günlük 5 saatlik elektrik enerji ihtiyacını, rüzgâr ve güneş hibrit güç üretim sistemi ile karşılanması düşünülmektedir. Fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin; güneş şiddeti, sıcaklık, hava yoğunluğu, basınç ve rüzgâr hızı gibi iklim koşullarına göre elektrik enerjisi üretimi aylara göre değişmektedir. Hibrit elektrik sistemi rüzgâr ve fotovoltaik güneş teknolojilerini bir arada kullanılması, bu sistemlerin ayrı ayrı kullanılmasına kıyasla birçok avantaj sağlamaktadır. Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında güneşe nazaran rüzgâr hızı düşüktür. Kış aylarında ise rüzgârdan istifade daha çok edilirken güneşlenme süresi ve verimi azalmaktadır. Bu çalışmada hibrit sistem kullanımı sayesinde yıl boyunca yeterli ve güvenilir enerji sağlanmaktadır. Resim 3.1'den de görüleceği üzere hibrit güç üretim sistemimiz genel olarak; rüzgar türbinleri, güneş panelleri, şarj kontrolörleri, invertörler, bataryalar ve AC/DA yüklerden oluşmaktadır. Sistemimizde bulunan bataryalar sistemde üretilen enerjinin depolanması amacıyla, şarj kontrolörü rüzgar ve güneşten üretilen enerji geriliminin dengelenmesi amacıyla, invertör ise rüzgar türbini ve güneş panellerinden üretilen enerji DA olduğu için AC yüklerin çalışması için alternatif akıma çevirmek amacıyla kullanılmaktadırlar (Protopoulou et al. 2007).



Resim 3.1 Rüzgar-Güneş hibrit güç üretim sistemi (İnt. Kyn 8)

Bu tür hibrit sistemlerden üretilen enerjinin birim maliyeti, günümüzde şebekeden üretilen enerji maliyetine kıyasla daha pahalıdır. Bununla birlikte rüzgar türbinlerinin ve güneş panellerinin fiyatları da hala ucuzlamış değildir. Bu sebeplerden dolayı, herhangi bir yöreye enerji ihtiyacının bu tür kaynaklarla karşılanacak bir güç üretim sistemi tesis edilmeden önce, sistemin besleyeceği yükün ihtiyacı ile yörenin güneş ve rüzgar potansiyelleri dikkate alınarak optimum sistem boyutları bulunmalıdır. Optimum sistem boyutlarının bulunabilmesi için öncelikle bazı hesaplamalar yapmak ve bu hesaplamalara göre gerekli enerjinin temini için en uygun sistem elemanlarının tespit edilmesi gereklidir. Buna göre yapılacak işlemler aşağıdaki sıralamayı takip edecektir.

- PV panel hesabı ve seçimi
- Rüzgâr türbini hesabı ve seçimi
- İnvertör güç hesabı ve seçimi
- Şarj kontrolörü hesabı ve seçimi
- Batarya hesabı ve seçimi
- İletken ve sigorta seçimi

3.1 PV Panel ve Hesabı

Fotovoltaik (PV) hücreler, güneş ışığını foton ışıması prensibiyle doğrudan doğru akıma dönüştürürler ve yeterli ışık olduğu müddetçe elektrik üretim işlemini gerçekleştirirler. En büyük avantajları, işletme giderlerinin çok düşük, elektrik üretimi noktasında güvenilirliklerinin de çok yüksek olmasıdır. Güneş panellerinin en büyük dezavantajı ise, ilk yatırım maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Fakat teknolojiye gelişmelerle paralel olarak verimlerinin artırılması ve kullanımlarının giderek yaygınlaşması ile birlikte yakın gelecekte maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesi beklenilmektedir. Güneş panelleri, özellikle şebekeden uzak küçük ve orta ölçekli yüklerin beslenmesi için ekonomik bir seçenektir. Günümüzde kullanılan güneş panelleri, üretim teknolojilerine göre; ortalama %12–16 oranında verime sahip monokristalin yapıda, ortalama %11–14 oranında verime sahip polikristalin yapıda, ortalama %6–8 oranında verime sahip amorf yapıda olmak üzere üç çeşit üretilmektedir. Kullanım alanlarına göre ise, otonom (off-grid) ve şebeke bağlantılı (grid connected) olmak üzere iki kategoride olup, ihtiyaca

göre birkaç WP gücünden 500WP gücüne kadar değişik ölçülerde üretilip satılmaktadır (İnt. Kyn. 9).

Güneş panelleri, birden fazla seri bağlanmış fotovoltaiik hücrelerden oluşmaktadır. Panellerin güçleri standart test koşullarında elde edilen güce göre belirlenir. 25°C hücre sıcaklığı, 1 m/s rüzgar hızı ve 1000 W/m^2 güneş ışınımı altında elde edilen çıkış gücü maksimum güç (WP) olarak adlandırılır. Güneş panelleri kendine özgü akım gerilim ilişkisine sahiptir ve bu ilişki I-V (Akım-Gerilim) eğrileri ile gösterilir. Güneş paneli üreten firmalar, bu eğriyi etkileyen üç değişkenden rüzgar ve sıcaklığı sabit tutarak ışınım ile değişimini, rüzgar ve ışınımı sabit tutarak sıcaklık ile değişimini IV eğrilerinde gösterirler. Panelden maksimum gücün elde edilebilmesi için çalışma noktasının doğru seçilmesi gerekir. Işınımın gün içerisinde değişmesi ile veya yükte oluşabilecek değişimlerden dolayı çalışma noktası değişebilir. Bu değişimlerin etkisini en aza indirmek için PV sistemlerde maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) kullanımı tercih edilebilir. MPPT aslında panel tarafından görülen empedansı ayarlayarak, I-V eğrisi üzerindeki optimum çalışma noktasını belirler (Engin 2002).

Güneşin doğuş ve batışında, gökyüzünde yer değiştirme hareketlerine bağlı olarak, ışınım geliş açısının değişmesi ve belirli saatlerde tamamen kaybolması PV enerji üretim sisteminin bağımsızlığını engeller. Mevsimlere göre de ışınım seviyesinin çok fazla değişmesi nedeniyle güneş panelleri, enerji ihtiyacının karşılanmasında tek başlarına yıl boyunca güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılamaz. Bu nedenle, genellikle bataryalarda depo edilmek suretiyle ve rüzgar türbinleri gibi ikinci bir yenilenebilir enerji kaynağı ile birlikte kullanılırlar. Üretilen enerjinin bataryalarda şarjı esnasında, aynı zamanda yük de besleneceği ve mevsimsel değişimlerden sistemin enerji ihtiyacının kesintisiz devam edebilmesi için PV panel adedinin artırılması gerekir. Sistem boyutunun büyütülmesi sistem maliyetini arttıracaktır.

Güneş panellerinden enerji üreten sistemler tesis edilmeden önce sistemin kurulacağı yer seçilmelidir. Bu aşamada en önemli husus, kısmi veya tam gölgelemenin olmadığı yerlerin tespitidir. Gölgeleme panelden elde edilecek enerji miktarını azaltacaktır. Güneş paneli sistemlerinin kuruldukları yerde bulunan bitki örtüsünü güneş ışığı ile

temasını engelleyerek olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bu tür sistemlerin bitki örtüsünün bulunmadığı kurak yerlere veya bina çatılarına kurulması daha doğrudur. Güneş ışınımının geliş açısının mevsimlere göre değişmesi, panellerden elde edilecek verimi etkileyecektir. Panellerin kurulumu sırasında mevsimlere göre panel eğimini ayarlanabilir yapılması gerekir. Güneş panelleri için bu ayarları, otomatik yapan kontrol sistemlerinin kullanılması verimi olumlu yönde etkileyecektir. Ancak, bu tür sistemlerin kullanımı maliyeti arttıracaktır. PV paneller doğrudan DA yükleri besleyebilirler veya invertör yardımıyla AC yükleri beslemeleri sağlanabilir. PV panellerin çıkışındaki gerilim sürekli sabit bir değer olmadığı için bataryalara doğrudan bağlanamaz, bataryaların ömrünü uzatmak için bir şarj kontrolörü kullanılır. Bu sayede bataryalar aşırı şarjdan ve aşırı deşarjdan korunmuş olur.

Sistemimizin karşılayacağı günlük toplam güç değerinin bulunması için aşağıdaki denklemleri kullanmamız gerekir.

Aydınlatma sistemimizdeki 400 W değerindeki lambalar günlük ortalama 5 saat kullanıldığında güneş panelleri ile karşılanacak günlük elektrik enerjisi, lambaların gücü ve günlük kullanım süresinin çarpımı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} P_{PV} &= P_{L1} \times t \\ P_{PV} &= 400 \times 5 = 2\,000 \text{ Wh / gün} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Güç dönüşüm verimi olarak DA-DA şarj denetleyici verimi %95 ve DA-AA invertör verimi %90 alınarak Denklem 3.2 hesap edilecektir.

$$\begin{aligned} P_{GD} &= P_{PV} \div \eta_{\text{ŞARJ}} \div \eta_{\text{INV}} \\ P_{GD} &= 2\,000 \div 0,95 \div 0,9 \cong 2\,339 \text{ Wh / gün} \end{aligned} \quad (3.2)$$

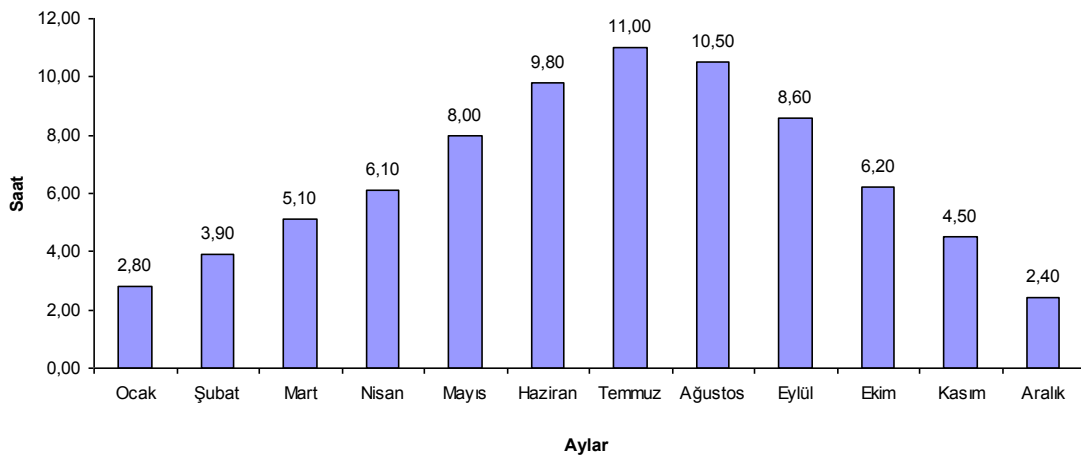
Sistemimizde meydana gelecek genel kayıplar (kablo kayıpları, ekler, kalkınma akımı) %10 olarak düşünüldüğünde günlük ihtiyaç duyulan toplam güç miktarı aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Abbas 2006).

$$P_{YÜK} = P_{GD} \times 1,1 \cong 2\,572 \text{ Wh / gün} \quad (3.3)$$

Amper-saat cinsinden ortalama günlük enerji ihtiyacı, toplam enerji miktarının sistem gerilimine oranıdır.

$$P_{Ah} = P_{YÜK} \div V_{SIS}$$

$$P_{Ah} = 2\,572 \div 12 \cong 214 \text{ Ah / gün} \quad (3.4)$$



Şekil 3.1 Afyonkarahisar ilinin yıllık güneşlenme süreleri

Afyonkarahisar ilinde; yaz aylarında güneşlenme süresi ortalama 10,43 saat, yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 6,57 saattir (İnt. Kyn. 10). Buna göre gereken PV panel akım değeri Denklem 3.5’de görüldüğü gibi hesaplanır.

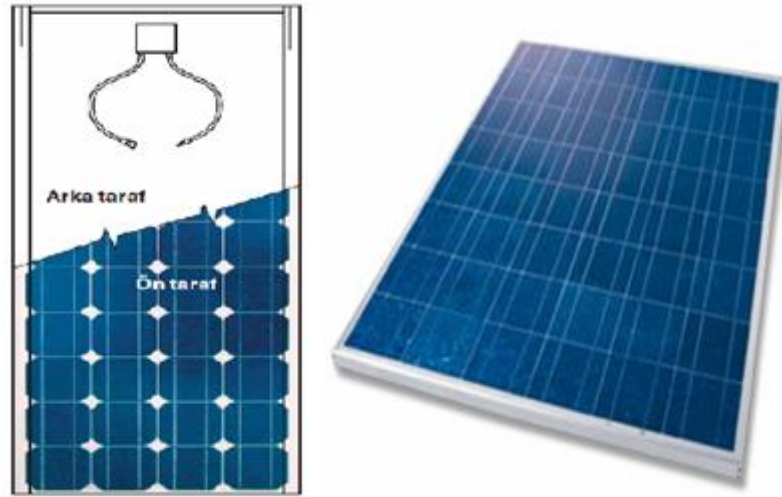
$$I_{PV} = P_{Ah} \div 6,57$$

$$I_{PV} = 214 \div 6,57 \cong 32,57 \text{ A} \quad (3.5)$$

3.1.1 PV Panel Seçimi

Yukarıdaki hesaplamalara göre en uygun güneş paneli Norm Energy firmasına ait Conergy marka Q 80MI modelidir. Bu model mono kristal hücrelerden oluşturulduğu için polikristal ve amorf tipi PV panellere göre daha verimli ve uzun vadeli yatırımlar için en iyi seçenektir. Güneş panelleri kendi aralarında seri bağlanarak gerilim değerleri

yükseltilebileceği gibi paralel bağlantı yapılarak da akım değerleri artırılabilir. Bu sistem için 7 adet Q 80MI güneş paneli paralel bağlanarak hesaplamada bulunan 32.57A değeri elde edilecektir. Aşağıda Q 80MI modeli güneş panelinin resmi ve teknik özellikleri sırasıyla Resim 3.2 ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.2 Conergy marka Q 80MI güneş panel modeli (İnt. Kyn. 11)

Çizelge 3.1 Güneş paneli teknik özellikleri (İnt. Kyn. 11)

PV Panel Teknik Özellikleri	
Maksimum Güç (Pm)	80 W
Maksimum Güç Gerilimi (VMPP)	17,5 V
Maksimum Güç Akımı(IMPP)	4,58 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	21,9 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	4,95 A
Hücre Tipi ve Sayısı	Monokristalin yapıda, 36 hücre
Hücre Boyutu	125 x 125 mm
Modül Boyutu ve Ağırlığı	1,195x541x30 mm – 8 kg

3.2 Rüzgâr Türbini ve Hesabı

Rüzgar türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisinin, ilk olarak mekanik enerjiye dönüştürülmesi ve daha sonra bu mekanik enerjinin, senkron ve asenkron

makinalar aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine göre çalışırlar. Rüzgar türbinleri ve PV panellerin bakım maliyetleri kıyaslandığında rüzgar türbinlerinin bakım maliyetleri daha pahalıdır. PV paneller gibi küçük güçlü üretimi bulunmamaktadır. Ancak, her ne kadar sistemlerin kurulacakları yörelerdeki rüzgar ve güneş rejimi, maliyetleri doğrudan etkilese de genellikle rüzgar türbininden üretilen enerjinin birim maliyeti PV panelden üretilen enerjinin birim maliyetine nazaran daha düşüktür. Rüzgar türbinlerinden üretilen enerjinin artırılması amacı ile kendi aralarında paralel bağlanabilir. Rüzgar türbinlerinden üretilen enerjinin verimini etkileyen faktörler arasında en önemlisi rüzgar hızıdır. Bu nedenle türbinin kurulacağı alanın, rüzgar hızının yüksek olması ve hava akışını engelleyecek engebeli yükseltilerin etrafında yer almamasına dikkat edilmesi gereklidir. Rüzgar hızının çok değişken olmasından dolayı, türbinlerden üretilen enerji de değişkenlik gösterir. Rüzgar türbinleri, rüzgar hızına engel olmayan düz ve yüksek bir alana kurulursa, rüzgar hızındaki değişim azalır ve daha yüksek rüzgar hızında enerji üretimi yapılabilir. Rüzgar türbinleri, rüzgarın esme yönüne göre hareket edebilecek şekilde tasarlanırlar. Rüzgar, kanatlara çarparak kanatların dönmesini ve dolayısıyla kanatların bağlı olduğu milin dönmesini sağlar. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde mil doğrudan generatöre bağlı iken, büyük ölçekli türbinlerde ise dişli kutusu yolu ile bağlanır. Generatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

Temel olarak rüzgar türbinlerine asenkron, senkron ve doğru akım generatörlerinden herhangi biri bağlanabilir. Asenkron generatörler sağlamlılığı, mekanik olarak basitliği, büyük türlerde üretilmesi ve fiyatlarının düşük olması nedeniyle çok yaygın kullanılmaktadır. Ani rüzgar değişimlerinde oluşan tork titreşimlerini azaltmada çok iyidir. En büyük dezavantajı statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekanik olarak daha karmaşık olup harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Senkron generatör sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan yada sargılardan akan doğru akımdan üretilir (Hansen et al. 2001). Doğru akım generatörleri ise güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmeleri gibi dezavantajlarına

rağmen, hız kontrollerinin kolay olması sebebiyle rüzgar türbin generatörü olarak kullanılmaktadırlar. Düşük güçlü rüzgar türbinlerinde jeneratör olarak genellikle sabit mıknatıslı alternatörler kullanılırken, yüksek güçlülerde ise asenkron veya senkron jeneratör kullanılır (Dursun ve Binark 2008).

Şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde frekansı sabit tutmak, rüzgar hızındaki değişimlerden dolayı zor olduğundan generatör çıkışı genellikle DA' ye dönüştürülür. Rüzgar türbinleri yatay ve düşey türbinler olmak üzere iki çeşittir. Bir çok rüzgar türbini, 2 veya 3 kanatlı olarak üretilir. 2 kanatlı rüzgar türbinleri, rüzgar hızı yüksek olan bölgeler için daha uygundur ve fiyatları daha ucuzdur. 3 kanatlı rüzgar türbinleri ise daha düşük rüzgar hızı olan bölgelerde daha düzgün dönme momenti elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. Rüzgar türbininden elde edilebilecek güç, rüzgar hızının küpüyle ve kanat süpürme alanı ile doğru orantılıdır.

Rüzgar türbini üreten firmalar, türbinin üretime başladığı minimum rüzgar hızını, aşırı rüzgar hızlarında üretimin durdurulduğu rüzgar hızını ve rüzgar hız-güç eğrisini, kanat sayısını ve çapını, maksimum çıkış gücünü katalog bilgilerinde kullanıcılara verirler. Rüzgar türbinleri günümüzde hala pahalı sistemler olduğundan dolayı enerji veriminin yüksek olması amacıyla kurulacağı alanın yıllık ortalama rüzgar hızının yeterli olması gerekir. Rüzgar türbinin gücü, besleyeceği yükün enerji talebine ve bölgenin rüzgar hızı rejimine göre belirlenir. Talep edilen enerji miktarını karşılayacak türbinden, daha büyük boyutlandırma, rüzgar türbinin düşük rüzgar hızlarında bile kesime gitmesine neden olacaktır. Gereğinden daha küçük boyutta seçilmesi durumunda ise, çok yüksek rüzgar hızlarında ancak üretime başlayacaktır. Her iki durum da istenilmeyen durumlardır. Rüzgar türbinlerinde tüketimden fazla üretim, sistem geriliminin yükselmesine neden olur. Ortaya çıkan artık enerji, gerilim regülatörleri veya mekanik sistemlerle yok edilebilir. Genellikle bu tür sistemlerde, bu fazla gerilimler sisteme bağlı rezistanslar üzerine verilir. Mekanik sistemler, kanat açılarını değiştirerek kanatların daha az rüzgar enerjisine maruz kalmalarını sağlar. Mekanik sistemler daha çok büyük ölçekli rüzgar türbinlerinde kullanılırken, küçük tip rüzgar türbinlerinde gerilim regülatörleri kullanılır. Bu regülatörler, genellikle türbin gövdesi içerisine yerleştirilmiştir. Bu sistemler gerilimi sabitleyerek bataryaların şarjı esnasında

kullanılan şarj regülatörleri olarak da çalıştırılırlar. Rüzgar türbinleri de güneş panellerinde olduğu gibi tek faktöre bağlı olduğu için, enerji ihtiyacının karşılanmasında tek başlarına sürekli ve güvenilir bir güç kaynağı olarak kullanılamazlar. Ancak, batarya ve bir başka enerji kaynağı ile birlikte kullanıldığında daha düzenli ve güvenilir çıkış veren bir güç kaynağı haline gelirler. Özellikle PV sistemle birleştirildiğinde üretilen enerjinin güvenilirliği önemli ölçüde artmaktadır (Hocaoğlu 2008).

Aydınlatma sistemimizdeki 100 W değerindeki lambalar günde ortalama 5 saat kullanıldığında rüzgâr enerjisi ile karşılanacak günlük enerji, lambaların gücü ve günlük kullanım süresinin çarpımı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} P_{RT} &= P_{L2} \times t \\ P_{RT} &= 100 \times 5 = 1\,000 \text{ Wh / gün} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Günlük ortalama enerji ihtiyacı, güç dönüşüm verimi ve kayıplar ilave edildikten sonra denklem 3.7’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} P_{YÜK} &= [P_{RT} \div \eta_{\text{ŞARJ}} \div \eta_{\text{INV}}] \times 1,1 \\ P_{YÜK} &= [1000 \div 0,90 \div 0,95] \times 1,1 \cong 1\,286 \text{ Wh / gün} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Amper-saat cinsinden ortalama günlük enerji ihtiyacı, toplam enerji miktarının sistem gerilimine oranıdır.

$$\begin{aligned} P_{Ah} &= P_{YÜK} \div V_{SIS} \\ P_{Ah} &= 1\,286 \div 12 \cong 107 \text{ Ah / gün} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Rüzgar türbinlerinden elde edilecek mekanik gücün denklemi;

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (\text{Watt}) \quad (3.9)$$

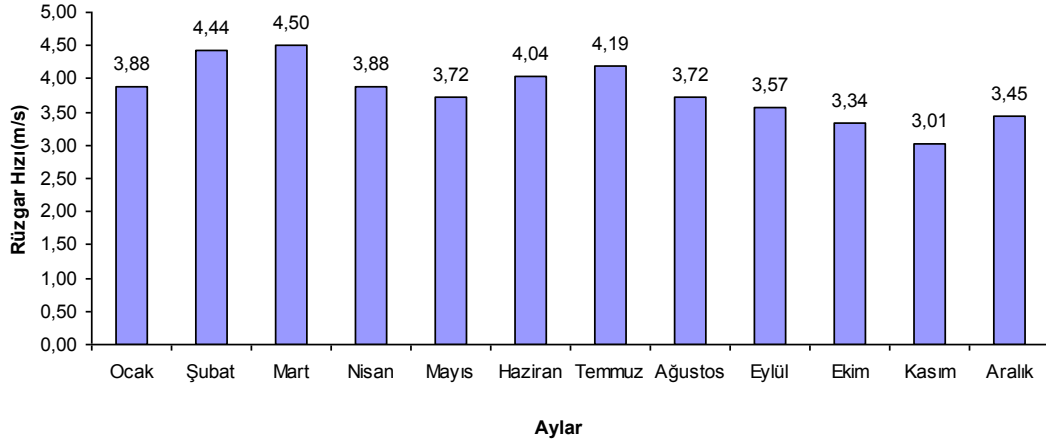
Rüzgardan türbinlerinde mekanik güç ve tork ilişkisi;

$$T_w = \frac{P_w}{\omega_w} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'daki açısal hız ifadesi ω yerine $\omega = \frac{\lambda V}{R}$ yazılırsa, rüzgar türbininde elde edilen tork bulunur.

$$T_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \frac{C_p}{\lambda} \cdot V^2 \quad (3.11)$$

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Afyonkarahisar meteoroloji istasyonuna ait 10 m yükseklikte ölçülmüş aylık bazda rüzgar hızı verileri alınmıştır. Bu rüzgar hızı verileri Hellman denklemi, $V = V_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^n$ kullanılarak 10 m yükseklikten 30 m yükseklikteki değerlere dönüştürülmüştür. Afyonkarahisar iline ait aylık ortalama rüzgar hızı dağılımı aşağıda gösterilmiştir. Buna göre yıllık ortalama rüzgar hızı değeri 3,84 m/sn olarak hesaplanmıştır.

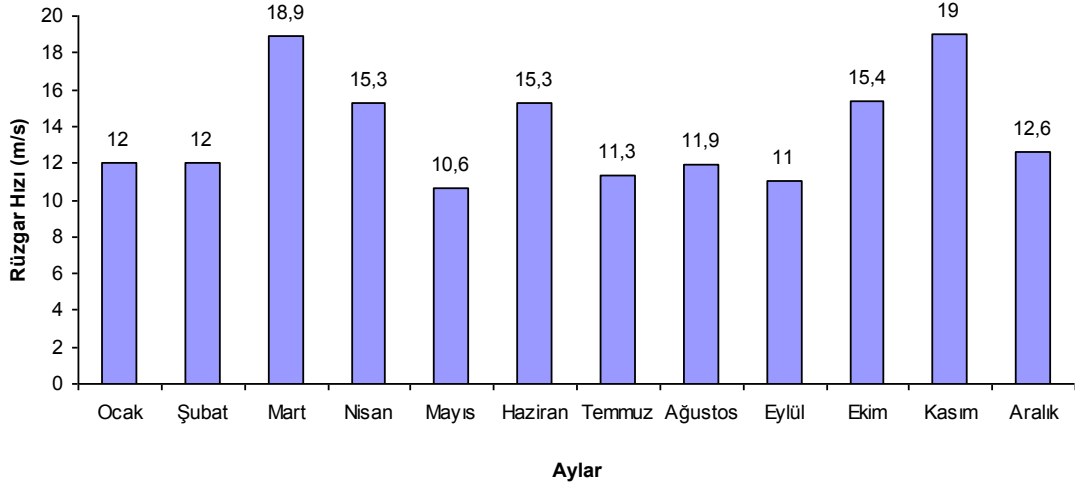


Şekil 3.2 Afyonkarahisar ilinde 30m yükseklikteki rüzgar hızı

Denklem 3.9'daki A yerine $A = \pi R^2$ yazılarak R değeri bulunur. Bu değer istenilen gücü üretebilecek türbin kanat yarıçapıdır (Toklu 2002).

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot V^3}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{0,45 \times 1,226 \times \pi \times 3,84^3}} \cong 0,63m \quad (3.12)$$

Hesaplamalarda türbin verim katsayısı (C_p), iki kanatlı yüksek hızlı türbinler için genelde 0,4 ile 0,5 arasında alınırken, iki den fazla kanatlı, düşük hızlı rüzgâr türbinlerinde 0,2 ile 0,45 arasında değişmektedir. Hava yoğunluğu ise $\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır. Afyonkarahisar ilindeki maksimum rüzgâr hızı değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.3 Aylık maksimum rüzgar hızı verileri

Bu verilere göre, rüzgar hızının 10 m/sn değerine nadiren çıktığı düşünüldüğünde gerekli rüzgar türbini 1,2 m kanat çapına sahip 312W değerindedir.

$$P = \frac{1}{2} \times 1,226 \times \pi \times 0,6^2 \times 0,45 \times 10^3 \cong 312 \text{ W} \quad (3.13)$$

3.2.1 Rüzgâr Türbin Seçimi

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda bizim ortalama 1286 Wh/gün 'lük bir enerjiye ihtiyacımız olduğu ortaya çıkmaktadır. Buna göre kullanabileceğimiz en uygun rüzgâr türbini modeli norm energy firmasına ait TW 400W modelidir. Bu modeli seçmemizin birinci faktörü üretici firma tarafından verilen katalog bilgilerine göre yıllık ortalama 5,4m/s rüzgâr hızında ortalama 600kw/yıl'lık güç üretimi sağlayarak bizim ihtiyacımızı karşılayabilmesidir. Rüzgâr türbinimiz 3 kanatlıdır. Kanatlar makro-molekül kompleks materyallerden ısı presi ve enjeksiyon kalıp tekniği ile yapıldığı için yüksek güçlü, sert

ve hafif yapıya sahiptir. Yüksek hız dönüşlerinde ise küçük bir gürültü ve sarsıntıya sahiptir.

Bu modelde kalıcı mıknatıslı senkron generatör kullanılmıştır. Bu tip generatörler, kendinden uyarımlı olması ve herhangi bir rüzgâr hızında güç üretebilmesi bakımından küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde tercih edilmektedir. Resim 3.3’de rüzgâr türbinimizin resmi ve teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.



Resim 3.3 TW 400W rüzgar türbini (İnt. Kyn. 12)

Çizelge 3.2 Rüzgar türbini teknik özellikleri (İnt. Kyn. 12)

Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri	
Anma Gücü	400 W (12,5 m/s’de)
Çıkış Gerilimi	12 V / 24 V, DA
Üretime Başlama Rüzgâr Hızı	3 m/s
Kanat Sayısı	3
Kanat Çapı	1,2 m
Dayanabildiği Max Rüzgâr Hızı	50 m/s
Aşırı Hıza karşı Koruma	Elektromanyetik Tork Kontrolörü
Gövde Ağırlığı	6 kg
Yıllık Üretim Min/Max	300/900 Kwh

3.3 İnvörtör ve Güç Hesabı

İnvörtör, hibrit sistemlerin besleyeceği AC yüklerin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, bir ara eleman olarak kullanılması gereklidir. İnvörtörler DA batarya veya jeneratör çıkışını 50 Hz AC gerilime dönüştüren güç elektroniği devreleridir. Küçük ölçekli yükleri beslemek için kurulan hibrit sistemlerde genellikle bir fazlı invörtör kullanılır. Büyük ölçekli hibrit sistemlerde ise yükler 3 faz ile beslendiğinden 3 fazlı invörtörler kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız çalışan enerji üretim sistemlerinde sinüs, kare ve merdiven sinüs dalga çıkış veren invörtör çeşitleri kullanılmaktadır. Sinüs çıkış veren invörtörler şebeke kalitesinde enerji sağlar ve hassas yüklerin çalıştırılmasında kullanılır. Kaliteli bir enerjiye gerek duyulmayan aydınlatma amaçlı uygulamalarda, kare dalga çıkış veren invörtörler kullanılır. Kare dalga çıkışlı invörtörlerin maliyetleri, tam sinüs invörtör maliyetine nazaran oldukça düşüktür. Merdiven basamaklı sinüs çıkışlı invörtörler ise, hassas olmayan elektronik cihazların ve bazı motor içeren cihazların çalıştırılmasında tercih edilmektedir.

İnvörtör çıkışındaki harmonik kirliliği bilgisayar, buzdolabı ve motor içeren cihazların verimsiz çalışmalarına neden olur. Bu tür cihazlar, tam sinüs çıkışlı invörtör ile çalıştırılması gereklidir. Özellikle, indüktif ve kapasitif yüklerin ilk çalıştırılma anında yüksek akım çekmeleri, birçok invörtörün korumaya geçmesine neden olmaktadır. Bu sebepten yeni üretilen invörtörler nominal çıkış güçlerinin 6 katı çıkış gücünü kısa süreli verebilecek şekilde tasarlanmaktadır. İnvörtörlerin verimleri, düşük güçte çalışmada düşüktür. Nominal çıkış gücünün %80-%90'ındaki çalışmada en iyi verim elde edilir. İnvörtörler yüksüz çalışmada da belirli bir enerji tüketeceklerdir. Gereksiz enerji harcanan bu zaman dilimlerinde mümkünse kapatılmaları sağlanmalıdır. İnvörtörleri maksimum verimde kullanmak için, yüke göre invörtör tasarlayarak, onları maksimum verimin elde edildiği çalışma noktasında çalıştırmak gerekir. İkinci bir yük için ikinci bir invörtör tasarlanmalıdır. İnvörtörlerin bu şekilde paralel bağlanmalarında herhangi bir sakınca yoktur (Engin 2002).

Şebekeye bağılı çalışan invörtör frekansının, şebekeden alınan örnekle sabit kalması sağlanır. Şebekeye enerji satmak için tasarlanan invörtörlerde, şebekenin reaktif

gücünün de dikkate alınması gerekir. İnvertör seçimi yapılırken karşılanılacak yükün maksimum güç değeri dikkate alınır. Bir çok invertör, kısa süreli olarak nominal güçlerinin 6 katına kadar çıkış gücünü sağlayabilir.

Rüzgâr türbini ve güneş panellerinden elde edilen enerjinin DA-AA dönüşümü için ayrı ayrı iki invertör kullanmak yerine tek invertör kullanmak hem maliyet hem de sistemin karmaşıklığı açısından daha uygun olacaktır. Bunun için gerekli hesaplamalar denklem 3.14’da gösterilmiştir.

Sitemimizde tüm lambaların aynı anda çalıştırılacağı ve invertör verimi % 90 olduğu dikkate alınırsa;

$$\begin{aligned} P_{INV} &= [P_{L1} + P_{L2}] \div \eta_{INV} \\ P_{INV} &= [400 + 100] \div 0,9 \cong 556 W \end{aligned} \quad (3.14)$$

3.3.1 İnvertör Seçimi

Rüzgâr türbini ve güneş panellerinden elde edilen enerji doğru akımdır. Sistemimizin çıkışını alternatif akıma çevirmek için 1000 W’lık invertör kullanılacaktır. Seçtiğimiz invertör SPW 1000W 12TS gerçek sinüs modelidir. Resim 3.4’de invertörümüzün resmi verilmiştir. Teknik özellikleri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.



Resim 3.4 SPW 1000W 12TS invertör (İnt. Kyn. 13)

Çizelge 3.3 İnvörtör teknik özellikleri (İnt. Kyn. 13)

İnvörtör Teknik Özellikleri	
Giriş Gerilimi	12 V DA
Daimi Güç	1000 W
Sınırlı Maksimum Güç	2000 W
Dalga Tipi	Tam Sinüs
Çıkış Gerilimi ve Frekansı	230 V AC / 50 Hz
Koruma	Kısa devre, yüksek ve düşük gerilim girişi, aşırı sıcaklık koruması
Verim	% 90
Ağırlığı	6.2 Kg
Ebatları	420 x 223 x 103 mm

3.4 Şarj Kontrolörü ve Hesabı

Şarj kontrolörü, hibrit sistemlerde akülere ve yüke gelen gerilimi düzenleyen güç elektroniği devreleridir. Kontrolör, aküyü aşırı şarj ve deşarj etmeden sürekli tam şarjlı vaziyette tutar. Yük, güç çekmeye başladığı zaman, kontrolör şarjın modüllerden aküye, yüke veya her ikisine birden akışına izin verir. Kontrolör, akülerin tamamen şarj olduğunu hissettiği zaman modülden gelen şarj akısını durdurur. Birçok kontrolör, ayrıca yüklerin aküden çok fazla akım çektiğini de hisseder ve akü yeterli şarja sahip olana kadar akımı durdurur. Bu özellik, akü grubunun ömrünü önemli ölçüde artırır. Kontrolörlerin maliyeti, genellikle fotovoltaiik sistemin çalışacağı amper kapasitesine ve denetim özelliklerine bağlı olarak değişir.

Sistemimizdeki tüm lambaların çalışacağını ve şarj denetleyici veriminin %95 olduğu düşünülürse;

$$\begin{aligned} I_{\text{ŞARJ}} &= P_{\text{INV}} \div V_{\text{BAT}} \\ I_{\text{ŞARJ}} &= 556 \div 12 \cong 46,3A \end{aligned} \quad (3.15)$$

3.4.1 Şarj Kontrolörü Seçimi

Sistemde şarj kontrolörü olarak maksimum güç noktası takibi (MPPT) yapabilen OutBack firmasına ait MX 60 PV MPPT modeli kullanılacaktır. MPPT, akım ve gerilim optimizasyonu sağlayarak panellerden elde edilen gücü diğer kontrolörlere göre %30 civarında artırmaktadır. Yüksek çıkış gerilimlerine sahip fotovoltaiik modüllerden düşük gerilim seviyesine sahip akülerin şarj edilmesini sağlayabilir. Bu sayede modüllerden gelen kablo çapı düşerek kablo kayıplarının önüne geçmiş oluruz. Açık devre gerilimi 150V'a kadar olan PV sistemler için 12V'dan 60V'a kadar aküleri şarj edebilir. Ayarlanabilen parametreleri sayesinde, her türlü akü cinsine göre mükemmel şarj sağlanarak akülerin ömrü uzatılmış olur. Ayrıca fotovoltaiik sistemin son 128 gün boyunca tüm ölçülerini kaydetme özelliğine sahiptir. Resim 3.5'de MX 60 PV modelimizin resmi gösterilmiştir. Teknik özellikleri ise Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Resim 3.5 MX 60 PV MPPT (İnt. Kyn. 14)

Çizelge 3.4 MX 60 PV Şarj kontrolörü teknik özellikleri (İnt. Kyn. 14)

MPPT Teknik Özellikleri	
Çıkış Akımı	Ayarlanabilir akım sınırlayıcı 60 A
Maksimum Güç	12V / 800W, 24V / 1600W, 48V / 3200W
PV Açık Devre Gerilimi	150 V
Ebatları ve Ağırlığı	40 x 14 x 10 cm / 5,3 kg

3.5 Bataryalar ve Güç Hesabı

Bataryalar, rüzgar türbini ve güneş panellerinden elde edilen enerjiyi kimyasal olarak depolayan elemanlar olarak tanımlanabilirler. Hibrit güç üretim sisteminden üretilen enerjinin sistemde üretildiği anda tüketilmeyen kısmının bataryalarda depolanmaları sayesinde, fazla üretimin daha sonra kullanılmasına olanak sağlar. Hibrit enerji üretim sistemlerinde en yaygın kullanılan batarya tipi, derin boşaltmaya izin veren kurşun-asit tipli bataryalardır. Bunların dışında nikel-kadmiyum, nikel-demir, ve demir-hava gibi daha başka batarya türleri de vardır. Fakat bu bataryalar pratik uygulamalar için güvenilir değildir. Kurşun-asit tip bataryaların en büyük dezavantajları aşırı şarj ve deşarjlardan korunmalarının gerekmesi ve ayrıca uzun süreli düşük şarj seviyesinde tutulamamaları nedeniyle ilave regülatörlere ihtiyaç duymalarıdır. Genellikle hibrit sistemde kullanılacak olan rüzgar türbinleri ve güneş panellerini üreten firmalar bu regülatörleri de üretmektedir. İşletme koşullarına göre kurşun-asit bataryaların ortalama ömrü 3 ile 15 yıl arasında değişmektedir. Ancak, performanslarının düşmesi nedeniyle genellikle 5 yılda bir değiştirilmeleri gerekir. Bu nedenle, ilk yatırım maliyetleri düşük olmasına rağmen bakım ve yenileme maliyetleri yüksektir.

Bataryaların seri bağlanarak gerilimleri, paralel bağlanarak kapasiteleri arttırılabilir. Bataryalar, genelde 2V'luk hücrelerin seri bağlanması ile elde edilir. Her bir hücre elektrolitin içerisine daldırılmış iki plakadan oluşur. Deşarj sırasında plakalar ile elektrolit arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon, yük üzerinden elektrik akımı geçmesini sağlar. Şarj sırasında ise bu kimyasal reaksiyon tersine çevrilir. Bataryanın plakalarının kalınlığı ne kadar fazla olursa bataryaya zarar vermeden yapılabilecek derin deşarj o kadar yüksek olabilir. Arabalarda kullanılan geleneksel bataryalar, kısa sürede yüksek akım çekilmesine izin verecek şekilde ince plakalardan yapılmışlardır. Bu tür bataryalar, %10-%20'den sonra deşarj olmadıkları için hibrit güç üretim sistemlerde kullanılmaları tavsiye edilmez. Derin boşaltmaya izin veren sabit tesis bataryalarında plakalar daha kalındır ve kapasitelerinin %70 - %80'i kadar uzun sürede deşarj edilebilirler (Hocaoğlu 2008). Batarya kapasiteleri Ah (Amper-Saat) veya nominal gerilimlerinin çarpımı sonucu elde edilen kWh (Kilowatt-Saat) olarak ifade edilir. Bataryaların saklama kapasiteleri genellikle plakalarında yazılıdır. Ancak, saklama

kapasitesi aslında, yaşa, çalışma şekline ve işletme koşullarına da bağlıdır. Bu nedenle, bataryaların plakalarında yazan kapasite gerçek kapasitelerinden genellikle farklılık gösterir. Bataryalar, şarj edilen enerjiyi belirli bir süre saklayabilirler. Birçok batarya üreticisi, bu sürenin minimum 20, maksimum 100 saat olduğunu belirtirler. Verilen bu süre içerisinde deşarj edildiğinde saklanan enerjinin %70- %80'i geriye alınabilir. Başka bir ifadeyle, bataryaların ortalama verimleri %70- %80'i aralığındadır.

Bataryaların kullanım süreleri deşarj edilebilen enerjiye, plakaların ve elektrolitin yapısına bakılarak tespit edilebilir. Yaşlanan veya kötü kullanılan (sürekli aşırı şarj ve/veya deşarjlara maruz kalan) batarya plakaları sülfatlanır ve belirli bir süre sonra parçalar halinde elektrolitin içerisine dökülür. Bu parçalar, zamanla dipte birikerek kısa devrelere neden olabilir ve bataryanın şarj verimi giderek düşer. Hibrit sistemlerdeki bataryalar, saklama kapasitesinin nominal kapasitesinin %80'ine düştüğünde veya şarj veriminin %60'ın altına düştüğünde değiştirilmelidir.

Bataryaların kullanım sürelerini ve verimlerini etkileyen diğer bir etken de coğrafi şartlardır. Coğrafi şartların ağır olduğu (yazın aşırı sıcak, kışın aşırı soğuk) yerlerde kurulan hibrit enerji sistemlerde, akülerin bu şartlara dayanıklı olarak seçilmesi gerekmektedir. Sıcaklıklardaki aşırı artış veya düşüşler akünün depolama kapasitesini ve derin deşarj durumları özelliklerini hızla yitirmelerine neden olur. Ortam sıcaklığındaki her 10°C artış bataryanın kullanım süresini yarı yarıya azaltır. Diğer taraftan, negatif sıcaklıkta şarj verimi düşük olur. Kurşun asit sabit tesis akülerinin 20°C sıcaklıktaki kullanım süreleri 5 ile 10 yıl arasında değişir.

Güneş panelleri ve rüzgâr türbininden elde ettiğimiz enerji akülerde depolanacaktır. Sistemimizde iki modülden elde edilecek enerji miktarının akü gerilimine oranı bize kullanılacak akü değeri amper-saat olarak verecektir.

$$\begin{aligned} P_{Ah} &= P_{YÜK} \div V_{BAT} \\ P_{Ah} &= 3216 \div 12 = 268 \text{ Ah/gün} \end{aligned} \tag{3.16}$$

Akülerin %20'sinine kadar deşarj olduğunu da ilave edilirse;

$$K_{BAT} = P_{Ah} \times 1,2$$

$$K_{BAT} = 268 \times 1,2 \cong 322 \text{ Ah/gün} \quad (3.17)$$

3.5.1 Batarya Seçimi

Sistemimiz için en uygun akü HZY12-100 jel tipi modelidir. İstenen kapasiteyi 3 adet 12V 100Ah'lık jel tipi aküyü paralel bağlayarak karşılayabiliriz. Jel tipi aküler diğer akü çeşitlerinin aksine daha derin deşarj olma imkânı, daha fazla şarj deşarj olma sayısı, kendi kendine deşarj olma seviyesinin düşük olması, güvenilir sabit çıkış akımı sağlaması ve bakım gerektirmemeleri bakımından sistemimiz için tercih edilir. Aşağıda Resim 3.6'de akümüzün resmi ve Çizelge 3.5'de teknik özellikleri verilmiştir.



Resim 3.6 HZY12-100 Jel tipi akü (İnt. Kyn. 15)

Çizelge 3.5 Jel tipi akünün teknik özellikleri (İnt. Kyn. 15)

Akü Teknik Özellikleri	
Anma Gerilimi (V)	12 V
Kapasite (Ah)	100 Ah
Boyutları ve Ağırlığı	305 x 168 x 208 mm / 28,4 kg

3.6 İletken ve Sigorta Hesabı

Sistem bileşenlerinin birbiri ile bağlantısını sağlayacak iletken kesitlerinin belirlenmesi diğer sistem bileşenlerinin hesaplanması kadar önem taşımaktadır. Küçük gerilim değerli sistemlerde iletken kesiti belirlenmesinde, iletkenin geçecek akım değeri ve bağlantısı yapılacak cihazların arasında mesafe dikkate alınması gereken ölçütlerdir.

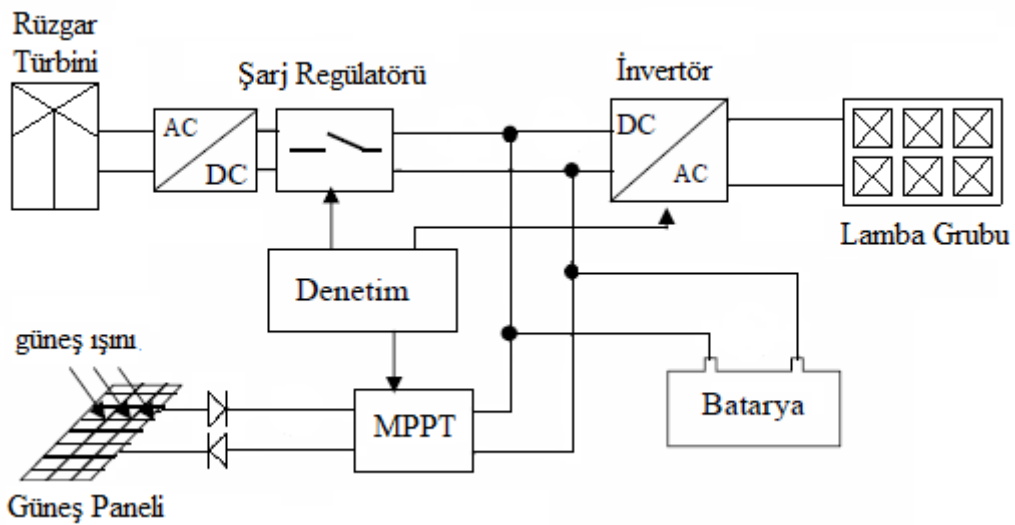
Sistem sigortaların seçiminde iletkenlerden geçecek maksimum akım değeri belirleyici olmaktadır. Maksimum akım değerinin belirlenmesinde nominal akımın 1,25 katı alınarak, sistemimizde kullanılacak sigorta akım değerleri belirlenir. Sistemimizde kullanılacak iletken kesiti de bu akımı taşıması gereklidir. Buna göre sistemimizde kullanılan iletken kesitleri ve sigorta değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 İletken kesiti ve sigorta değerleri

Sistem Bileşenleri	Çalışma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)	İletken Uzunluğu (m)	İletken Kesiti (mm^2)	Sigorta (A)
PV Panel-Kontrolör	12	35	10	4	50
Kontrolör-Akü	12	30	5	6	40
Rüzgâr Türbini- Akü	12	35	10	10	50
Akü-İnvertör	12	60	5	16	80
İnvertör-Alıcı	220	5	15	2,5	10

3.7 Sistem Bağlantı Şeması

Hesaplamaları yapılan rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin bağlantı şeması Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Sistem Bağlantı Şeması

Sistemde 7 adet güneş paneli ve 3 adet batarya paralel bağlanmak koşuluyla diğer sistem bileşenleri ile bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca gündüz güneş panelleri üretim yaparken akım geçişine izin verip, geceleri ters yönde akım geçişine karşı koyup akülerin boşalmasını engelleyecek bloklama diyotu ve açık devre oluşması durumunda devreye girerek akımın kesintiye uğramasını önleyen bypass diyotu kullanılmaktadır.

3.8 Sistem Maliyeti

Tasarlanan hibrit güç üretim sisteminde kullanılan elemanların, başta ülkemiz ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımının yoğun olarak görüldüğü ülkelerden Almanya, İspanya ve Portekiz'deki maliyetleri firmaların internet sitelerindeki fiyat katalog bilgileri dikkate alınarak Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Sistemde kullanılan elemanlarının adedi ve maliyeti

Hibrit Sistem Elemanları	Adet	Türkiye	Almanya	İspanya	Portekiz
Güneş Paneli	7	3300€	2485€	2310€	2855€
Rüzgar Türbini	1	735€	700€	640€	680€
İnvertör	1	440€	320€	375€	340€
Şarj Kontrolörü	1	650€	550€	590€	630€
Batarya	3	870€	570€	870€	660€
TOPLAM		5995€	4625€	4785€	5165€

4. BULGULAR

Tasarlanan hibrit güç üretim sisteminde en uygun sistem bileşenleri tespiti için iki önemli parametre vardır. Bunlar ortalama güneşlenme süresi ve ortalama rüzgar hızı verileri olup bu değerlerin Afyonkarahisar ilinde sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi için uygun olduğu görülmüştür. PV panellerinin güneş ışınımından maksimum süre faydalanıp enerji üretimine devam edebilmesi için gölgelenmenin olmadığı ve güneşlenme süresinin daha uzun olduğu güney cepheye yerleştirildiği gözlenmektedir. Rüzgar türbininden de en iyi verimi alabilmek için rüzgarı doğrudan alan, engebeli olmayan bir alana kurulması gereklidir.

Yapılan hesaplamalarda, Elektrik atölyesinin 500W/saat olan genel aydınlatması için talep edilen gücün toplam kayıplarla birlikte (invertör verimi %90, şarj kontrolör verimi %95 ve kablo vb. kayıpların %10) günde 5 saat çalıştırılması için gerekli enerjinin 3200W/gün olduğu tespit edilmiştir. Tasarımda kullanılan hibrit sistem bileşenlerinin hepsi bu ihtiyaca göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre 80W değerinde paralel bağlanması koşuluyla 7 adet mono kristalin yapıda güneş paneli, 1 adet 400W değerinde yatay eksenli ve kalıcı mıknatıslı senkron generatörden oluşan rüzgar türbini, 12/100Ah değerinde paralel bağlı 3 adet jel tipi akü grubu, birer adet 1 000W değerinde tam sinüs çıkışlı invertör ve çıkış akımı maksimum 60A ayarlanabilir olan şarj kontrolörü kullanılması gerektiği görülmüştür.

Sistem bileşenlerinin birbirleri ile bağlantısını sağlayacak iletkenlerin uzunlukları ve iletkenlerden geçecek akımın değerine göre iletkenlerin kesitleri belirlenmiştir. Sistem sigortalarının seçiminde ise nominal akımın 1,25 katı alınarak, kullanılacak sigorta akım değerleri belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan hibrit güç üretim sisteminin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'deki piyasa fiyatlarına göre toplam maliyet 5995€ olarak bulunurken, aynı sistem için kullanılan bileşenlerin Almanya'daki maliyeti 4625€, İspanya'daki maliyeti 4785€, Portekiz'deki maliyeti 5165€ olarak hesaplanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyadaki genel durumla orantılı olarak ülkemizdeki enerji sorunu toplumun gündeminden düşmeyen en önemli konuların başında gelmektedir. Son yıllarda kullanımındaki avantajlar ve çevreye dost olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen yıl artış göstermektedir.

Enerji üretiminde dikkat edilmesi gereken başlıca faktörler; maliyetinin ucuz olması, çevreye duyarlı olması ve şebekenin enerjisiz kalmaması için sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Günümüze kadar enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenemez enerji kaynakları ağırlıklı olarak kullanılırken artık günümüzde enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha aktif rol aldığı tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi ile elektrik üretimindeki birim maliyetin azaltılmasına ve verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar halen büyük bir hızla devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik atölyesinin 500W olan genel aydınlatmasının günde 5 saatlik elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında hibrit rüzgar-güneş güç üretim sistemi tasarlanıp kurulum için gerekli hesaplamalar ve bu hesaplamalara göre sisteme uygun elemanların seçimi yapılmıştır.

Hibrit sistem için yapılacak hesaplamalara lamba grubu için gerekli olan elektrik enerjisinin kayıplarla birlikte tespit edilmesiyle başlanmalıdır. Bu hesaplamalara göre 80W değerinde 7 adet güneş paneli kullanılmıştır. Bunun yerine aynı gücü sağlayacak daha büyük güç değerinde az sayıda güneş paneli kullanılabilirdi. Kullanılan mono kristalin yapıdaki güneş panellerinin dışındaki diğer yapıdaki paneller daha ucuz ama verimleri düşüktür. Tasarlanan hibrit sistem 12V DA barada birleştirilerek, güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin olmadığı veya hibrit sistem bileşenlerinin bakımda olduğu zamanlarında şebekenin enerjisiz kalmaması için akülerde depolanmaktadır. Kullanılan akü jel tipi aküdür. Bu akünün sağladığı en büyük avantaj daha derin deşarj imkânı ve daha fazla şarj-deşarj olmasıdır. Sistemimizde 12V değerinde 3 adet akü paralel bağlanmıştır. Bunun yerine aynı kapasiteye sahip bir adet

akü kullanılabilir. Fakat 1 adet aküye bağımlı olunması durumunda ve o akünün arızalanması ile sistemimizde üretilen ihtiyaç fazlası enerji depolanamayacaktır.

Güneş ışınlamı ve rüzgar hızı değerleri gün içinde değişim gösterdiği için güneş paneli ve rüzgar türbini çıkış gerilimleri de değişkendir. Akülerde enerjinin depolanabilmesi için gerilimin sabitlenmesi gereklidir. Bu değişken gerilim değerinin istenen sabit gerilim değerine getirmek için şarj kontrolörleri kullanılır. Klasik kontrolörler yerine güneşin gün içindeki değişimini takip edici sistemler (MPPT) kullanılarak verim %30 civarında artırılabilir. Üretilen enerji ve akülerde depolanan enerji DA olduğu için AC yüklerin beslenmesinde invertörler kullanılmalıdır. Hesaplamalara göre rüzgar türbini ve güneş panelinden üretilen DA gerilimi AC gerilime dönüştürmek için bir adet invertör kullanımı yeterli olmuştur.

Tasarlanan hibrit sistemin ülkemizde kurulum maliyetlerinin yüksek olduğu; rüzgar ve güneş enerjisi konusunda önde gelen ülkelerden Almanya, İspanya, Portekiz’de kurulum maliyetlerinin ülkemize göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmayla, herhangi bir yörede elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar ve güneş enerjisiyle karşılanması düşünülen bir hibrit güç üretim sistemi tesis edilmeden önce, hibrit sistemin besleyeceği yükün büyüklüğü ile o yörenin güneş ve rüzgar potansiyelleri dikkate alınarak optimum sistem boyutlarının bulunması yönüyle katkı sağlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda hibrit sistemin kurulumunu yapmak ve bilgisayar programlarından MATLAB/SİMULİNK veya PSCAD programları kullanılarak kurulan hibrit sistemin birebir modellemesi gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akgün A. (2006). Mikrodenetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arı Ü. H. (2006). Statik Konvertörlerin Güç Elektroniği Laboratuvarında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Boyle, G. (2004). Solar Photovoltaics, Renewable energy power for a sustainable future, 1st ed., Oxford University Press, 66–83
- Ceylan M. (2006). Muğla Bölgesinde Mermer Endüstrisinin Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin, Matlab Paket Programı ile Rüzgâr Çiftliği Tasarım Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Çetin E. (2010). Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çıtıroğlu A. (2000). Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi. Mühendis ve Makine Dergisi, 485:1–5.
- Demirtaş M. (2008). Güneş Ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrid Enerji Santrali Tasarımı Ve Uygulaması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dinçsoy E.M. (2010). Orta Ölçekli Bir Otelin Elektrik Enerjisinin Hibrit Sistemler İle Modellenmesi ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Divone, L.V. (1998). Evolution Of Modern Wind Turbines. Wind Turbine Technology, Editor, Spera, D, A., Asme Press, 82-86, New York.
- Duman C. (2008). Fotovoltaik Pillerin Klimalara Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Dursun, E., ve Binark, K.A. (2008). Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 17-19 Aralık.
- Dusonchet, L., Massaro F., Telaretti E. (2007). Transient Stability Simulation of a Fixed Speed Wind Turbine by Matlab/Simulink. International Conference Clean Electrical Power, University of Palermo, Palermo ss. 651-655.
- Engin M. (2002). Fotovoltaik-Rüzgar Hibrid Enerji Sisteminin İzmir Koşullarında Tasarımı ve Denenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Etemoğlu, A.B. ve İşman, M.K. (2004). Enerji Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi. Mühendis ve Makine Dergisi, 529: 1-7.
- ETKB, (2010). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı İle Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara.
- Fesli U. (2009). Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Fidan Ş. (2010). Değişken Hızlı - Değişken Kanat Açılı Rüzgar Türbinlerinin Tork ve Kanat Açısı Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Güçlü S. (2009). Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik

Enerjisinin; Güneş Enerjisi ile Sağlanması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Gültekin, A.H. ve Örgün Y. (1993), Doğalgaz ve Çevre, Çevre Dergisi, **9**: 37–41.

Hammons T.J. (2003). Geothermal power generation worldwide. *Power Tech Conference Proceedings*, **1**: 8–9.

Hansen, L.H., Madsen, P.H., Blaabjerg, F., Christensen H.C., Lindhard, U., Eskildsen, K. (2001). Generators and Power Electronics Technology for Wind Turbines. Industrial Electronics Society, IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE 29 Nov.-2 Dec. 2001, Vol. 3, pp.2000–2005.

Hatipoğlu A. (2010). Rüzgâr Santrallerinde Rüzgâr Karakteristiği ve Saha Topografisine Göre Türbin Seçimi ve Yerleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hau, E. (2006). Wind Turbines Fundamentals Technologies Application Economics 2nd ed, Springer, Berlin.

Hocaoğlu F.M. (2008). Rüzgar Ve Güneş Verilerinin Sinyal İşleme Yöntemleriyle Analizi ve Sistem Modellemesi. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Johnson, G.L. (2001). Wind Energy Systems. Electronic Edition, Manhattan, USA.

Karadağ İ.H. (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Rüzgar Enerjisinin Önemi Ve Rüzgar Türbini Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaya, D. (2006). Renewable energy policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **10**: 152–155.

- Keçel S. (2007). Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koca N. (2006). Konutlarda Hibrit enerji Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Köse S. (2007). Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Nonlineer Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Luque, A. and Hegedus, S. (2002). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley and Sons, USA.
- Malt, A.P.J., Clarke, G.D., Robinson, P.E. (1998). Computer-Based Supervisory Control and Energy Management System For The City of Cape Town. IEE Proceeding Vol.135, 1: 41–50.
- Marques, J., Pinheiro, H., Gründling, A., Pinheiro, J.R., Hey, H.L. (2003). A Survey on Variable-Speed Wind Turbine System. CE. 7 Congresso Brasileiro de Eletronica de Potencia, Fortaleza, 1:732-738.
- Masters, G. M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Mergen, A.F. ve Zorlu, S. (2005). Elektrik Makineleri 2 Asenkron Makineler. Birsen Yayınevi.
- Mergen, A.F. ve Zorlu, S. (2006). Elektrik Makineleri 3 Senkron Makineler. Birsen Yayınevi.
- Nurbay, N. ve Çınar, A. (2005). Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle

Karşılaştırılması. EMO III, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.

Oğuz Y. (2007). Hibrid Güç Üretim Sisteminin Modellemesi, Analizi Ve Neuro-Fuzzy Kontrolör Kullanılarak Sistem Performansının İyileştirilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Onat N. (2005). Mini Hidroelektrik Santraller İçin Güneş Pilleri İle Uyarılan Senkron Generatör Tasarım. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özcan H. (2009). Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özdamar, A. (2000). Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, Sayı: B.30.2. İzmir.

Özgür M.A. (2002). Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Öztürk H.H. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, Ankara.

Patel, M.R. (1999). Wind and Solar Power Systems. CRC Press, 35–41, 85–86, 93–98 Washington.

Protogeropoulos, C., Brinkworth, B.J., Marshall, R.H. (2007). Sizing and Techno-Economical Optimization for Hybrid Solar Photovoltaic/Wind Power Systems With Battery Storage. *International Journal of Energy Research*, **21**: 465–479.

- Shepherd, D.G. (1994). Historical Development of The Windmill, in Wind Trubine Technology. p.2, Ed. Spera, D., A., ASME Press, New York.
- Şen Ç. (2003). Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi İle Karşılanması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- TMMOB, (2008). Makine Mühendisleri Odası Oda Raporu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ankara, 36–65.
- Toklu M. (2002). Rüzgar Enerjisi ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Uğuz S. (2005). Rüzgar Enerjisi İle Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uyar, M., Gençoğlu, M.T., Yıldırım S. (2006). Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri. EMO 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.

6.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1- http://www.dektmk.org.tr/upresimler/Enerji_Raporu_20106.pdf | 26.12.2010 |
| 2- http://www.atonet.org.tr/yeni/index.php?p=1712&l=1 | 12.01.2010 |
| 3- http://www.ruzgarenerjisibirligi.org.tr/index.php?option=com_docman&Itemid=69 | 19.06.2010 |
| 4- http://www.eie.gov.tr/turkce/yek/gunes/tgunes.html | 06.02.2011 |
| 5- http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/pvilke.html | 06.02.2011 |
| 6- http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html | 07.02.2011 |
| 7- http://www.acDA.com.tr/tr/jel_aku.htm | 11.09.2010 |
| 8- http://www.bilwor.com/urun/781/ruzgar.gunes.hibrid.sistemler.html | 17.10.2010 |
| 9- http://www.solar-bazaar.com/gunes_enerjisi.asp?id=142 | 14.09.2010 |

10- http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx	07.11.2010
11- http://www.solar-bazaar.com/productis/güneş_pili_Q80MI.pdf	08.02.2011
12- http://www.solar-bazaar.com/gunes.asp?id=330	22.02.2011
13- http://shop.gunes-pili.com/product_info.php?info=p107_SPW1000W12TS.html	24.02.2011
14- http://www.solar-bazaar.com/menus/mx60.pdf	23.02.2011
15- http://shop.gunes-pili.com/product_info.php?info=p130_HZY12-100.html	22.02.2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Feyzi ÖZSOY
Doğum Yeri : Şuhut
Doğum Tarihi : 12.08.1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şuhut Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, 2001
Lisans : Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 2006
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl Aralığı

Uşak Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, 2007-Halen devam ediyor.