

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PV, RÜZGAR TÜRBİNİ VE BATARYA İÇEREN HİBRİD ENERJİ
SİSTEMLERİNDE İYİLEŞTİRİLMİŞ OPTİMAL ÖLÇEKLENDİRME**

GÜNEŞ GÜRSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MUSTAFA BAYSAL**

İSTANBUL, 2015

ÖNSÖZ

Sanayinin gelişmesi ile birlikte artan enerji ihtiyacı doğanın kaynaklarının sömürülmesiyle birlikte tabiatın tahribatını başlatmıştır. Tabiatı hiç düşünmeden çevreye zarar veren kapitalist düzen iklim değişikliği ile birlikte dünyanın sonunu getirmek için çabalamaktadırlar. Bu ortamda doğayı korumak adına yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji ihtiyacının karşılanması için yapılan araştırmalara ve çalışmalara bir nebze olsun katkı sağlamak beni son derece mutlu etmektedir. Doğayı korumayı kendime görev bildiğim süreçte bu çalışmaya verdiği katkılardan dolayı tez danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL'a, beni hiç yalnız bırakmayan ailem Ali Naki GÜRİSOY, Zakine GÜRİSOY, Satı GÜRİSOY ve Neriman GÜRİSOY'a ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İ. Halil KARTAL'a teşekkür ederim.

Aralık, 2014

Güneş GÜRİSOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	1
BÖLÜM 2	
RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ	3
2.1 Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi	4
2.1.1 Rüzgar Enerjisi Tarihçesi	6
2.1.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi	7
2.1.3 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi.....	8
2.2 Rüzgar Türbini Çeşitleri.....	12
2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)	12
2.2.1.1 Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri	14
2.2.1.2 Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri	14
2.2.1.3 Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	15
2.2.1.4 Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	15
2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)	16
2.2.2.1 Savonius Rüzgar Türbinleri	16
2.2.2.2 Darrieus Rüzgar Türbinleri	18
2.2.2.3 H-Darrieus Rüzgar Türbinleri	18

2.2.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)	18
2.3 Rüzgar Türbinlerinin Birbiri ile Karşılaştırılması.....	19
2.4 Rüzgar Santrallerinde Kullanılan Generatör Çeşitleri	21
2.4.1 Asenkron Generatör	21
2.4.1.1 Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)	22
2.4.1.2 Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generator (RSAG)	22
2.4.1.2.1 Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)	23
2.4.1.2.2 OptiSlip Endüksiyon Generatör (OSEG)	24
2.4.2 Senkron Generatörler	24
2.4.2.1 Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSAG)	24
2.4.2.2 Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)	25
2.4.3 Doğru Akım Generatörü.....	27
2.4.4 Anahtarlı Relüktans Generatör (ARG).....	27
BÖLÜM 3	
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	28
3.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması	28
3.2 Güneş Pili Sistemleri	30
3.3 PV Yapı Maliyeti	33
3.4 PV Hücre Elektriksel Modeli	34
3.5 Güneş Panellerinin I-V Karakteristikleri.....	35
3.5.1 İdeal Güneş Paneli Karakteristiği	36
3.5.2 Sıcaklığın I-V Eğrisine Etkisi	37
3.5.3 Işımanın I-V Karakteristiğine Etkisi	38
3.6 Fotovoltaik Enerji Sistem Tasarımı	38
3.7 Fotovoltaik Sistemlerde Akü Kontrol (Şarj) Üniteleri	41
BÖLÜM 4	
ENERJİ TALEBİ.....	43
4.1 Sistem Verimi Hesaba Katılarak Üretilecek Enerji Miktarının Hesaplanması ...	43
BÖLÜM 5	
GÜNEŞLENME (IŞINIM) ÖLÇÜMÜ ve RÜZGAR HIZI ÖLÇÜMÜ	44
5.1 Güneş Radyasyon Ölçümü	44
5.1.1 Güneş Radyasyonu.....	44
5.1.2 Yerel (Terrestrial) Radyasyon.....	44
5.1.3 Toplam Radyasyon	45
5.1.4 Net Radyasyon	45
5.1.2 Meteorolojik Güneş Ölçümleri	46
5.1.2.1 Global Güneş Radyasyonu	46
5.1.2.1.1 Pyranometre	47

5.1.2.2 Direkt Güneş Radyasyonu	47
5.1.2.3 Diffuse Güneş Radyasyonu	48
5.2 Rüzgar Hızı Ölçümü	49
5.2.1 Rüzgar Hızı Sensörü (Anemometre)	49
5.3 Meteoroloji İstasyonu	50
BÖLÜM 6	
VERİLERİN DÜZENLENESİ ve ENERJİ DÖNÜŞÜMLERİ	52
6.1 Rüzgar Verilerinin Düzenlenmesi ve Rüzgar Enerjisi Dönüşümü	52
6.1.1 Yüksekliğe Göre Verilerin Düzenlenmesi	52
6.1.2 Hava Yoğunluğunun Hesaplanması	53
6.1.3 Performans Katsayısı (C_p) ve Rüzgar Hızı Değişimi	54
6.1.4 Rüzgar Gücü Dönüşümü	56
6.1.4.1 Etkin Rüzgar Gücü Kapasitesi	56
6.1.5 Rüzgar Enerjisi Dönüşümü	57
6.2 Güneşlenme (Işınım) Verilerinin Düzenlenmesi	58
6.2.1 Güneş Işığı Geliş Açılarının Tanımlamaları ve Formülleri	58
6.2.2 Tanımlamalar	58
6.2.2.1 Yükseklik açısı (α)	58
6.2.2.2 Güneş azimut açısı (β)	58
6.2.2.3 Yüzey azimut açısı (λ)	58
6.2.2.4 Deklinasyon açısı (δ)	58
6.2.2.5 Geliş açısı (θ)	61
6.2.2.6 Hava kütlesi (m)	61
6.2.2.7 Zenit açısı (θ_z)	61
6.2.2.8 Enlem açısı (Φ)	61
6.2.2.9 Saat açısı (w)	61
6.2.2.10 Eğim açısı (S)	61
6.2.2.11 Açıların İlişkisi	62
6.2.2.12 Deklinasyon Açısı	63
6.2.2.13 Genel Açılı İfadesi	63
6.2.2.14 Bazı Açılı İfadeleri	63
6.2.3 PV Panelin Eğik Yüzeyine Gelen Işınım Şiddeti	64
6.2.4 Sıcaklık Etkisi	67
6.2.5 Etkin Işınım Gücü Kapasitesi	68
6.2.6 Işınım Şiddeti Güneş Enerjisi Dönüşümü	68
BÖLÜM 7	
DÜZENLENMİŞ VERİLER İLE BÖLGENİN GÜNEŞ ENERJİSİ VE RÜZGAR ENERJİSİ	
KAPASİTESİ	69
BÖLÜM 8	
PV, RÜZGAR TÜRBİNİ ve BATARYA OPTİMİZASYONU	74

BÖLÜM 9

HİBRİT ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMİNİN ŞEBEKEYE BAĞLANMASI HALİNDE ŞEBEKEYE ENERJİ AKIŞI	80
---	----

BÖLÜM 10

SONUÇLAR.....	82
---------------	----

KAYNAKLAR.....	85
----------------	----

EK-A

METEOROLOJİ VERİ ÖRNEĞİ	87
-------------------------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	92
---------------	----

SİMGE LİSTESİ

C_p	Güç Katsayısı
T	Sıcaklık
P	Güç
V	Rüzgar Hızı
A	Alan
ρ	Hava Yoğunluğu
E_t, R, G, K	Etkin Rüzgar Gücü Kapasitesi
t_R	Rüzgar verisi zaman aralığı
δ	Deklinasyon açısı
H	Kule yüksekliği
α	Rüzgar sürtünme katsayısı
β	Tilt açısı
L	Enlem
ρ_r	Yansıma katsayısı
E_R	Birim alana düşen faydalı rüzgar enerjisi
E_G	Birim alana düşen faydalı güneş enerjisi
A_G	PV yüzey alanı
A_R	Rüzgar türbini rotor alanı
E_B	Batarya kapasitesi
$E_{Günlük}$	Günlük ortalama enerji talebi
$E_{Aylık}$	Aylık ortalama enerji talebi
G_H	Yatay yüzeyde ölçülen radyasyon
G_T	Eğik yüzeye gelen radyasyon

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
DC	Doğru Akım (Direct Current)
EİEİGM	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPIA	Avrupa PV Endüstrisi Birliği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IGBT	Kapısı İzolasyonlu Çift Kutup Transistör
MA	Molekül Kütlesi
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçisi (Maximum Power Point Tracking)
MÖ	Milattan Önce
MS	Milattan Sonra
OPEC	Petrol İhraç Eden Ülkeler
PV	Fotovoltaik panel
RT	Rüzgar Türbini
WASP	Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Dünya rüzgar enerji kapasitesinin gelişimi 7
Şekil 2.2	NASA'nın oluşturduğu dünya rüzgar gücü haritası 8
Şekil 2.3	50 metre yükseklikten ölçülen Türkiye geneli ortalama yıllık rüzgar hızı dağılımı 10
Şekil 2.4	Yatay eksenli rüzgar türbini 13
Şekil 2.5	Yatay eksenli rüzgar türbininin detaylı yapısı 13
Şekil 2.6	Tek, üç ve çok kanatlı rüzgar türbinleri (sırasıyla soldan sağa)..... 15
Şekil 2.7	Dikey eksenli rüzgar türbini 16
Şekil 2.8	Savonius tipi rüzgar türbinler 17
Şekil 2.9	Darrieus tipi rüzgar türbinleri 18
Şekil 2.10	Örnek bir rüzgar türbininin parçaları 21
Şekil 2.11	Rüzgar türbinine akuple edilmiş SKAG'ün şebekeye bağlantısı 22
Şekil 2.12	Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ün şebekeye bağlantısı 23
Şekil 2.13	CBAG'lerin rüzgar türbinine ve şebekeye bağlantısı 23
Şekil 2.14	Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ün şebekeye bağlantısı 25
Şekil 2.15	Rüzgar türbinine akuple edilmiş SMSG'ün şebekeye bağlantısı 26
Şekil 2.16	Sürekli mıknatıslı senkron generatör 26
Şekil 2.17	Anahtarlı relüktans generatör 27
Şekil 3.1	P-N eklem oluşması 29
Şekil 3.2	Şebekeden bağımsız güneş pili enerjinin şeması 31
Şekil 3.3	2012 Yılına kadar dünya genelinde PV kurulu gücü değişim öngörüsü 32
Şekil 3.4	2007 Yılı dünya fotovoltaik güneş pili pazarı grafiği 33
Şekil 3.5	PV yapı maliyet oranları 33
Şekil 3.6	PV yapı maliyetinin yıllara göre değişimi 34
Şekil 3.7	Genel eşdeğer devre modeli 34
Şekil 3.8	Uygun eşdeğer devre modeli 35
Şekil 3.9	Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli 35
Şekil 3.10	Fotovoltaik Sistem (PV) 35
Şekil 3.11	İdeal bir güneş panelinin Tipik I-V ve P-V karakteristikleri 36
Şekil 3.12	V_{oc} ve I_{sc} 'nin sıcaklıkla değişimi 37
Şekil 3.13	Gücün sıcaklıkla değişimi 37
Şekil 3.14	V_{oc} ve I_{sc} 'nin ışımaya ile değişimi 38

Şekil 3.15	Şebekeden bağımsız DC yükü besleyen fotovoltaik sistem	39
Şekil 3.16	Şebekeden bağımsız AC yükü besleyen fotovoltaik sistem	39
Şekil 3.17	Şebekeden bağımsız DC ve AC yükü besleyen fotovoltaik sistem	40
Şekil 3.18	Şebekeden bağımsız DC ve AC yükü besleyen fotovoltaik sistem	40
Şekil 3.19	Şebeke ile paralel çalışan fotovoltaik sistem	41
Şekil 3.20	Aküyü aşırı yüklerle karşı korumak için kullanılan şarj ünitesi	41
Şekil 3.21	Röle ve gerilim regülatörlü akü koruma ünitesi.....	42
Şekil 5.1	Güneş radyasyonu dağılımı	46
Şekil 5.2	Pyranometre	47
Şekil 5.3	Pyrheliometre kurulu şekil	48
Şekil 5.4	Pyrheliometre sensörü.....	48
Şekil 5.5	Pyranometre ve gölge bandı.....	49
Şekil 5.6	Rüzgar hızı sensör tipleri	50
Şekil 5.7	Meteoroloji istasyonu	51
Şekil 6.1	Türbin tiplerine göre güç katsayısı ve hız oranı	54
Şekil 6.2	Rüzgar hızı- C_p değişimi.....	54
Şekil 6.3	Güneş geliş açısı 1	59
Şekil 6.4	Güneş geliş açısı 2	59
Şekil 6.5	Güneş geliş açısı 3	60
Şekil 6.6	Güneş geliş açısı 4	60
Şekil 6.7	Güneş geliş açısı 5	61
Şekil 6.8	Güneş geliş açısı 6	61
Şekil 6.9	Deklinasyon grafiği.....	63
Şekil 7.1	Hava yoğunluğunun ekim ayından itibaren bir yıllık değişimi	70
Şekil 7.2	Panellerde sıcaklığa bağlı verimin ekim ayından itibaren bir yıllık değişimi	71
Şekil 7.3	Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi yıllık değişimi	72
Şekil 7.4	Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi aylık görünümü.....	72
Şekil 9.1	Şebekeye enerji akışı.....	80
Şekil 10.1	Enerji üretimi ile enerji talebi arasındaki ilişki	82
Şekil 10.2	Enerji üretimi ile enerji talebi arasındaki ilişki 2	83

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Türkiye'nin işletmedeki rüzgar elektrik santral projeleri..... 11
Çizelge 2.2	Büyükliklerine göre türbinlerin karşılaştırılması..... 19
Çizelge 2.3	Rüzgarı alış yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması..... 20
Çizelge 2.4	Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması..... 20
Çizelge 6.1	Sürtünme katsayısı tespiti tablosu..... 53
Çizelge 6.2	Belli bir markanın rüzgar hızı- C_p değişim tablosu..... 55
Çizelge 6.3	Yaz aylarına ait düzenlenmiş örnek ışınım şiddeti verileri..... 66
Çizelge 6.4	Sonbahar aylarına ait düzenlenmiş örnek ışınım şiddeti verileri..... 66
Çizelge 8.1	Optimizasyon sonuçları..... 76
Çizelge 8.2	Talebin düzenlenmesi ile yapılan yeni optimizasyon sonuçları..... 78
Çizelge 10.1	Hava yoğunluğu ve sıcaklığın sisteme etkisi..... 84

PV, RÜZGAR TÜRBİNİ VE BATARYA İÇEREN HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİNDE İYİLEŞTİRİLMİŞ OPTİMAL ÖLÇEKLENDİRME

Güneş GÜRSOY

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL

Teknolojinin son yıllarda her alanda büyük bir hızla gelişmesi enerjiye olan ihtiyacı her gün daha fazla artırmıştır. Artan enerji ihtiyacını karşılarken çevreye zarar vermemek dünyamız açısından çok önem kazanmıştır. Bunun için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması oldukça önem kazanmıştır. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmayan bir yapıda olmaları güvenilirliğinin az olmasına sebebiyet vermiştir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin bu süreksizliği hibrit bir şekilde kullanılarak tolere edilmeye çalışılmıştır. Hibrit enerji sistemlerinin bu çıkış noktasının ardından rüzgar enerjisinden ve güneş enerjisinden ne oranda faydalanılacağı gündeme gelmiştir. Böylelikle bir hibrit sistemde PV, rüzgar türbini ve batarya boyutlarının en az ve en ekonomik şekilde dizayn edilmesi önem kazanmıştır.

Hibrit üretim sisteminin boyutlandırılması için Teksas bölgesi seçilmiş ve buradaki meteoroloji istasyonundan rüzgar hızı, ışınım şiddeti ve sıcaklık verileri alınmıştır. Alınan tüm veriler düzenlenerek direkt olarak faydalı enerjiye dönüşebilecek veriler hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler üzerinden matlab yardımıyla optimizasyon yapılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Hibrid, Çevresel, Güneş Paneli, Rüzgar Türbini, Batarya, Akıllı Şebeke

**İMPROVED OPTIMAL SCALING ON THE HYBRID ENERGY SYSTEMS WHICH
CONTAINING PV, WIND TURBINE AND BATTERIES**

Güneş GÜRSOY

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Ass.Prof. Mustafa BAYSAL

In recent years, the need for energy has increased more as a result of rapid development in all fields of technology. While fulfilling energy needs, not to damage the environment has become very important for our world. Use of renewable energy sources has gained importance for it. However, the lack of continuity of renewable energy sources lead to increase the reliability. This discontinuity of solar and wind energy has been tried to be tolerated by using a hybrid form. Following the use of hybrid energy systems for this purpose to become a current issue what extent will be benefit from wind and solar energy. Thus, it has gained importance the designing of wind turbine, PV and battery effectively. And it provides to people minimum cost and maximum performance.

A meteorology station has selected to design of hybrid system in Texas where wind speed, solar radiation and temperature datas were taken. All datas were classified and which can be converted in to useful energy were calculated. We used these values which calculated after that hybrid system was optimized and analyzed.

Keywords: Renewable Energy, Hybrid, Environmental, PV, Wind Turbine, Battery, Smart Grid

1.1 Literatür Özeti

Hibrit enerji üretim sistemlerini oluşturan rüzgar türbini, PV paneli ve batarya boyutlandırılması en önemli verilmiş konusudur. Literatür incelendiğinde boyutlandırılma için bir çok teknik ve algoritma kullanılmıştır. Makalelerde tek amaç algoritmayı değiştirmek ve geliştirmek olmuştur. Ancak kullanılan verilerin kurulum şartlarına göre düzenlenmesine pek önem verilmemiştir. Yine bazı çalışmalarda hava yoğunluğu sabit alınmış ve sıcaklığa bağlı verim düşümlerine önem verilmemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yeteri kadar faydalanabilmek ve enerji talebini rüzgar enerjisi ve güneş enerjisiyle karşılayabilmek günümüzde oldukça önemsenmeye başlanmıştır. Çevreyi korumak ve fosil yakıtlara dayalı enerji üretimini azaltılması için bu kaynaklardan yararlanmak şarttır. Fakat rüzgar enerjisinin ve güneş enerjisinin sürekli kaynaklar olmayışı enerji talebini karşılamada zorluklara neden olmaktadır. Bunun için rüzgar ve güneş enerjisinin bir arada kullanılarak iki süreksizliğin birbirini tamamlaması amaçlanmıştır. Rüzgar türbini, PV panel ve batarya en küçük boyutlarda ve en ekonomik şekilde dizayn edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Hibrit enerji üretim sistemlerinde rüzgar türbini, güneş paneli ve batarya boyutlandırılması rüzgar hızı verileri ve ışınım şiddeti verileri sistemin kurulacağı şartlara göre düzenlenmesi sonuçların doğruluk payını oldukça artırmaktadır. Ayrıca sıcaklığın

güneş panellerine olan etkisi dikkate alındığında güç çıkışı hata payı azalmaktadır. Rüzgar türbinlerinde C_p değerinin rüzgar hızına göre değişim ifadesi bulunduğu ve güç çıkışında yerine konulduğunda gerçek verime daha fazla yaklaşılmaktadır. Son olarak hava yoğunluğu sabit alınmayıp her bir rüzgar hızına karşılık gelen hava yoğunluğu dikkate alındığında türbin güç çıkışı hata oranı oldukça azalmaktadır.

RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Enerji modern toplumun temel taşlarından biridir. İnsanoğlunun bugünkü modern hayatını devam ettirebilmesi ve geliştirebilmesi için enerji olmazsa olmazlardandır. Bu sebeptendir ki enerji, üzerinde düşünülmesi, politika ve strateji geliştirilmesi gereken bir konudur. Bu bağlamda enerji konusundaki hassasiyet başlıca iki sebebe bağlanabilir. Birincisi; dünyanın 1970'li yıllarda yaşamış olduğu enerji krizini bir daha yaşamama isteği, ikincisi ise teknolojik gelişmelerin ve modern yaşamın enerjiye olan gereksinimindeki artış. Enerji ihtiyacının artmasına rağmen mevcut enerji kaynakları aynı kalmakta, miktarlarında ise kullanımdan kaynaklanan bir azalma söz konusudur. Bugün kullanılan klasik fosil yakıtların bir gün tükeneceği bilinen bir gerçektir. Ayrıca enerji üretimlerinin tümü, günümüz şartlarına göre her ne kadar tedbir alınır alınsın yine de çevresel açıdan olumsuzluklar içerebilmektedir. Mesela kömür yakıldığında, yakılan her gram kömür başına 4 gram karbondioksit (CO_2) açığa çıkmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmadığı yanma olaylarında yakılan kömürün dört misli ağırlığında CO_2 atmosfere verilerek sera etkisine sebep olunmaktadır. Kaynak kısıtlılığının yanı sıra yukarıda örnek verilmeye çalışılan enerji üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin, geri dönüşsüz bir şekilde dünyanın doğal yapı ve dengesi üzerinde yapmış olduğu tahribat endişe verici düzeylere ulaşmıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı, enerji veriminin yüksek, bunun yanında çevresel etkilerin az olduğu, süreklilik arz eden yeni enerji kaynakları bulma arayışı içine girilmiştir. Ulusal ve uluslararası hukuki ve kanuni düzenlemeler de bu arayışı hızlandırmaktadır. Enerji üretirken çevreyi kirletmek, ardından temizlemek ve arıtmak yerine, çevreyi kirletmeyen enerji üretim sistemlerini

ve kaynaklarını geliştirmek; üretilen enerjinin bir kısmının da arıtma için kullanılması yerine, bu enerjinin temiz üretim sistemlerinin geliştirilmesi için harcanması muhtemelen daha akıllıca olacaktır. İşte bu sebeple, günümüzde klasik enerji kaynaklarına ek olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak isimlendirilen güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen, deniz-dalga enerjileri gibi enerji kaynakları üzerine çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bugün bu yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyadaki üretim kapasitesi yılda milyon kWh mertebelerine ulaşmıştır. Teknolojik imkanların artması ve Ar-Ge çalışmalarını sayesinde bu miktarların gelecek yıllarda daha da artacağı düşünölmektedir. Rüzgar kaynaklı enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en ileri ve ticari olarak mevcut olanı, aynı zamanda en hızlı gelişenidir. Rüzgar enerjisinin bu kadar hızlı gelişmesinin nedeni olarak atmosferde doğal olarak oluşması, kolay kurulumu, teknolojik geliştirilebilirlik ve kullanılabilirliğinin yanında giderek ucuzlayan maliyeti gösterilebilir. Rüzgar enerjisinden elektrik üretim sürecinin karbon bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak “temiz enerji” olarak da nitelendirilmektedir. Buna karşın her enerji üretiminde olduğu gibi rüzgar kaynaklı enerji üretiminde de bazı çevresel olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Ancak amaç olumsuz etkilerin varlığından dolayı bu kaynaktan vazgeçmek değil, aksine olumsuz etkilerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılması sonucunda, bu enerji kaynağından en üst düzeyde fayda sağlarken, çevresel etkilerini de en alt seviyelere indirmek olmalıdır.

2.1 Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, güneş enerjisinin dünyanın oldukça değişen olan yüzeyini eşit ısıtmamasından kaynaklanan sıcaklık, yoğunluk ve basınç farklarından dolayı oluşan yatay hava hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Buradan hareketle, güneş var oldukça rüzgarın ve bunun neticesinde de gücünün var olacağı söylenebilir. Genel olarak rüzgarlar, dünya ölçeğinde, kıtalar, ölkeler ve yerel ölçekler ile mikro ölçeklerde çıkabilirler. Meteorolojik ve topografik açıdan rüzgarın olabileceği yerler aşağıda sıralanmıştır:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler

- Yağışların sürekli esen rüzgara paralel olduğu vadiler
- Yüksek, engebesiz tepe ve platolar
- Yüksek basınç gradyanlı düzlükler ve sürekli rüzgar alan az eğimli vadiler
- Güçlü jeostrofik rüzgar alanlarının etkisinde kalan tepe ve zirveler
- Jeostrofik rüzgar ve termal gradyan alanına sahip kıyı şeritleri

Rüzgar enerjisi ise hava kitlesinin sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ile oluşur. Rüzgar enerjisi, dönüşüme uğramış güneş enerjisidir. Topografya rüzgarın yönü, hızı ve dağılımında önemli bir rol oynar. Dağ silsileleri, tepe ve kayalıklar, rüzgar profillerini büyük ölçüde etkiler. Dağ silsileleri eğer denize paralel, hakim rüzgar yönüne dik, orta eğimli (10° - 22°) ve özellikle çıplak ise enerji üretimine uygun yerlerdir. Zirvede rüzgar hızı, eğim ve dağ grubunun büyüklüğüne bağlı olarak artar. Bu nedenle, tepenin üst ön kısmı tesis için uygundur. Fakat tepenin üst arka kısmı türbülans nedeniyle göz önüne alınmaz [EİEGM, 1992]. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, seçilecek bölgenin meteorolojik özelliklerine ve en önemlisi de kullanılacak türbinin tasarımına bağlıdır. Seçilen bölgeden ekonomik olarak enerji üretebilmek için rüzgar hızı ve yön ölçümleri, topografik yapı ve arazi pürüzlülüğü çok iyi belirlenmelidir. Rüzgar türbinlerinin kurulması tasarlanan bölgede türbin tarafından üretilen elektrik enerjisinin hesaplanabilmesi için, meteorolojik ve bölge verilerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. En yaygın olarak kullanılan hesaplama yöntemi Danimarka' da RISO Laboratuvarlarında geliştirilmiş bulunan "Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı (WASP)"dır. Rüzgar çiftliği kurulmadan önce seçilen araziye en az 10 m veya mümkünse 30 m yüksekliğinde bir çubuk üzerine anemometre yerleştirilerek 6 ay süre ile ölçüm yapılmalıdır. Eğer seçilen alanda yükseklik farkları varsa birden fazla anemometre dikilmesi daha yararlı sonuçlar verecektir. Arazi seçiminden sonra kapasiteyi belirleyen en önemli unsur üretilen elektriğin nereye verileceğidir. Ulusal dağıtım sistemine verilecekse araziye en yakın iletim hattı belirlenerek gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Bölge seçimini kısıtlayan bir faktör de rüzgar çiftliği için (bir çok rüzgar türbininin bir arada bulunduğu yerler) geniş arazi gerektirmesidir. Bu santral alanlarında türbinlerin birbirlerine çok yakın yerleştirilmesi birbirlerinin rüzgarlarını keseceği için uygun değildir. Santral alanının efektif olarak

kullanıldığı alan %1'i geçmez ve geri kalan arazi tarım ve hayvancılık amacıyla kullanılabilir. Rüzgar santralleri için ileri sürülen gürültü kirliliği de çok yüksek düzeyde değildir. Rüzgar santrali içinde türbinlerin bulunduğu ortamın gürültü seviyesi 80 dB'dir. Bu değer trafiğin yoğun olduğu bölgelerdeki gürültü düzeyine eşittir. Bundan dolayı rüzgar santralleri ile yerleşim birimleri arasındaki mesafe 500m'den az olmayacak şekilde tasarlanır.

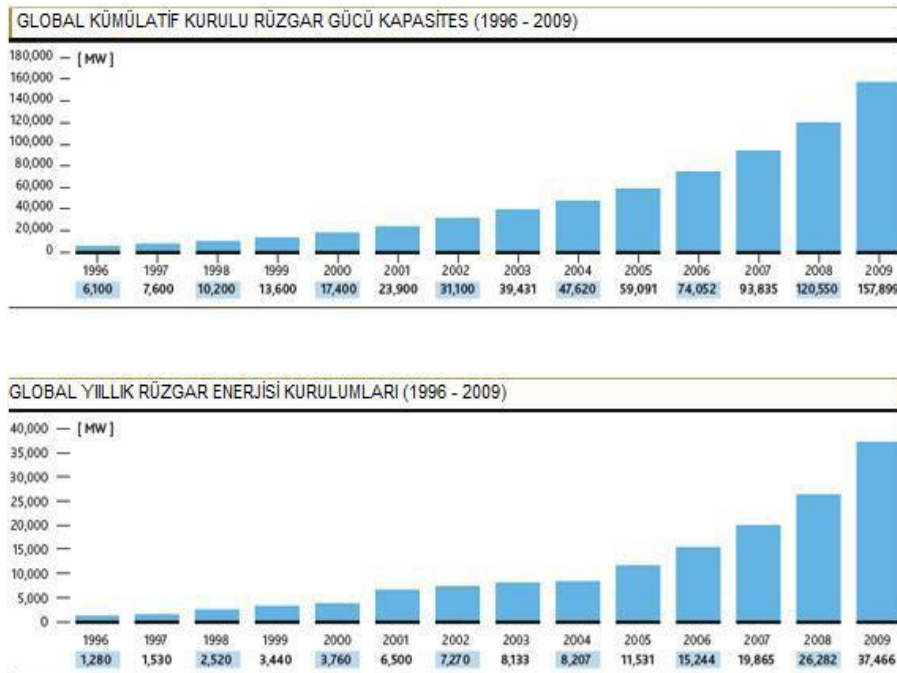
2.1.1 Rüzgar Enerjisi Tarihçesi

İnsanlık medeniyet tarihinde rüzgar çok önemli bir rol oynamıştır. Rüzgarın ilk kullanılması 500 yıl önce Mısır'da kayıkların bir sahilden diğerine yüzdürülmesinde kullanılmıştır. İlk tam rüzgar değirmeni MÖ 200 yılında antik Babylon'da inşa edilmiş olmalıdır, bu değirmen bir eksene tutturulmuş pervaneler ile dönüş hareketi üreten bir makinedir. MS 10.yy'a kadar doğu İran ve Afganistan' da 16 feetlik (4.9 m) rüzgar yakalama kanatları ve 30 feet (9.14 m) yüksekliği olan rüzgar değirmenlerinde tahıl öğütüldüğü bilinmektedir. Batı dünyası rüzgar değirmenlerini çok daha sonraları keşfetmiştir. Bu konudaki ilk yazılı kayıtlar 12.yy'a aittir. Birkaç yüzyıl sonra rüzgar değirmenleri geliştirilerek ve uyarlanarak su pompalamada kullanıldı. Çok pervaneli yel değirmenleri 19.yy ikinci yarısında ABD'de icat edilmiştir. 1889 yılında ABD' de 77 tane rüzgar değirmeni fabrikası vardı ve yüzyılın sonunda rüzgar değirmeni ihracatı ABD ekonomisi için en büyük ihracat kalemi olmuştu. Dizel motorlar icat edilene kadar, ABD' deki büyük demir yolları büyük çok-pervaneli yel değirmenlerine bağlı kalmıştır. 1930 ve 1940'lı yıllarda ABD'de yüz binlerce elektrik üreten rüzgar türbini imal edildi. Bunlarda yüksek hızda dönen ve elektrik generatörünü çalıştıran iki veya üç ince pervane vardı. Bu türbinler çiftliklere elektrik sağladılar, depolama pillerini doldurmada, radyo alıcılarını çalıştırmada ve bir veya iki aydınlatma ampulünü çalıştırmada kullanıldılar. 1950 başlarında ulusal şebekelerin her eve ulaşacak kadar yaygınlaşması ve elektrik düzenleme yasalarının çıkarılması ile rüzgar türbini bir duraklama devresine girdi. 1973 OPEC petrol ambargosunu takiben enerji fiyatlarındaki artış ve geleneksel enerji kaynaklarının sınırlılığı rüzgar enerjisine olan ilgiyi tekrar arttırmıştır. Teşvikler ve resmi araştırma çalışmaları sonucu birçok yeni türbin tasarımı yapılmıştır. Teşvikler ve resmi araştırma çalışmaları sonucu tasarlanan türbinlerden

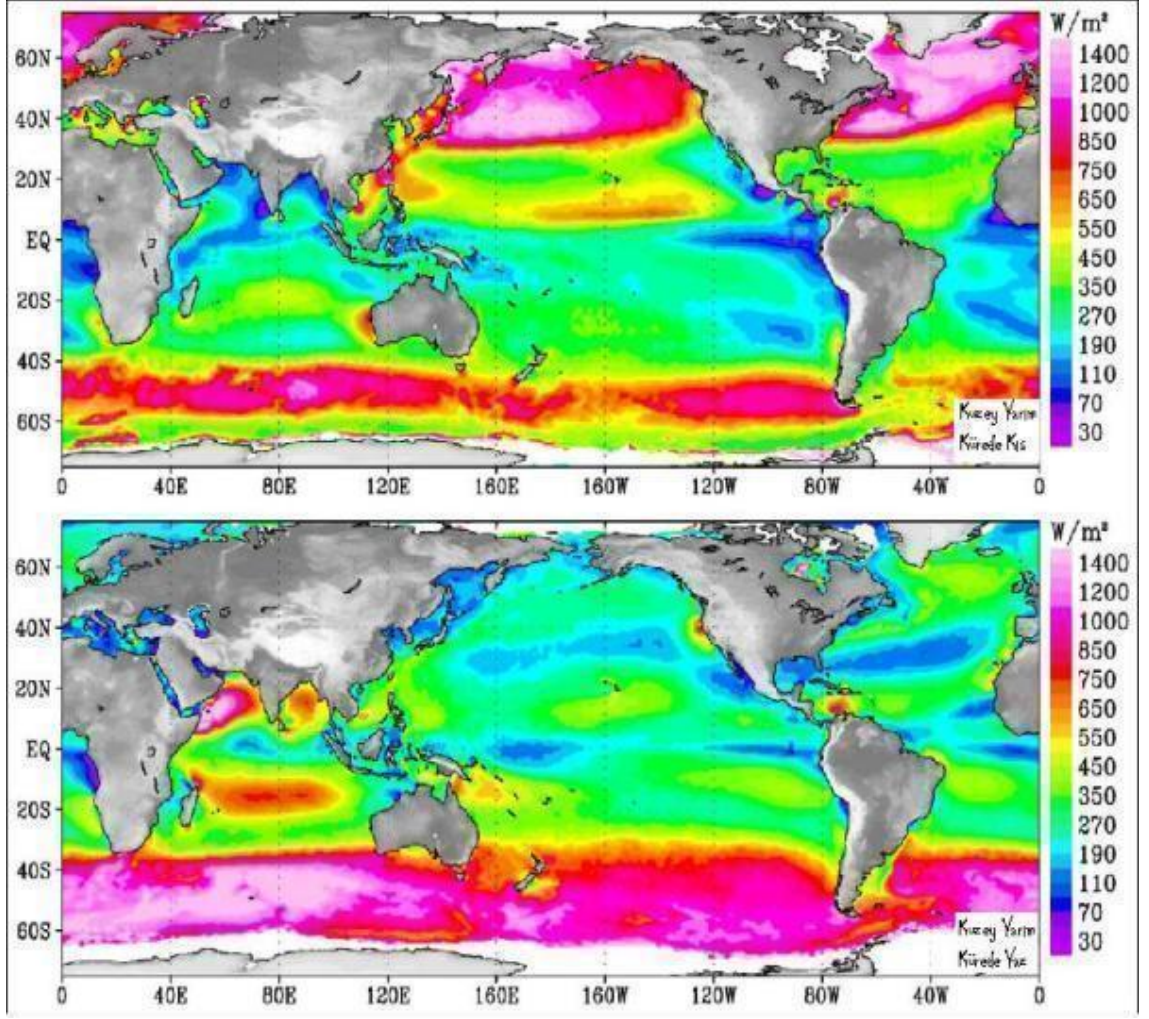
bazıları çok büyüktür. 300 feet (91 m) pervane çaplı bir büyük türbin 700 evin elektrik enerjisini karşılayabilir. Konutlarda, çiftliklerde kullanılmak üzere birçok yeni küçük ölçekli model geliştirilmiştir. 1970'li yıllarda ABD'de çıkarılan yasa ile rüzgar enerjisine getirilen teşvik ile elektrik dağıtım şirketleri rüzgar enerjisinden üretilen enerjiyi almak zorundaydılar.

2.1.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi

1970'li yıllarda baş gösteren petrol kriziyle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artması rüzgar enerjisinin önemli bir enerji kaynağı olarak ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özellikle rüzgar verimi yüksek bölgelerde kullanılan rüzgar türbinleri sınırlı alan uygulamalarının ötesine geçerek şehir şebekesine katkı yapmaya da başlamıştır. Rüzgar enerjisi dünyanın birçok ülkesinde geleceği en parlak yenilenebilir enerji türü olarak kabul edilmektedir. Bunda rüzgardan elde edilen elektrik enerjisinin oldukça tatmin edici seviyeye ulaşmasının etkisi büyüktür. Almanya'da rüzgar enerjisi sektöründe istihdam edenlerin sayısı 35 bine ulaşmıştır. Avrupa ülkeleri 2010 vizyonunda enerji ihtiyaçlarının yüzde 13'ünü rüzgardan karşılamayı kararlaştırmıştır. Rüzgar teknolojisinin beşiği sayılan Danimarka'nın yıllık teknoloji ihracatı 2,5 milyar dolara çıkmıştır.



Şekil 2.1 Dünya rüzgar enerji kapasitesinin gelişimi



Şekil 2.2 NASA' nın oluşturduğu dünya rüzgar gücü haritası

2.1.3 Türkiye' de Rüzgar Enerjisi

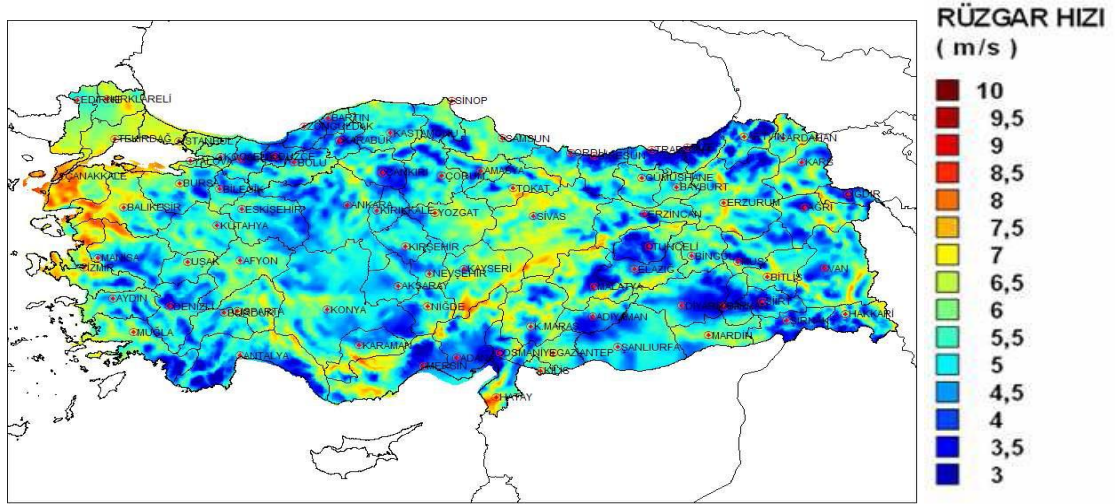
Ülkemizde rüzgar enerjisiyle ilgili çalışmaların başlangıç tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Bu konudaki çalışmaları ilk başlatan kurum 1980'li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi olmuştur. Başlangıç çalışmaları rüzgar potansiyelini tespit amacıyla gerçekleştirilen etüt faaliyetlerinden ibarettir. Hatta bu yıllarda rüzgar enerjisini konu alan herhangi bir kanuni düzenleme bulunmamaktaydı. 1995 yılından başlayarak bazı küçük uygulamalar Yap-İşlet-Devret modeliyle gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ilk rüzgar santrali Demirer Holding'in Çeşme'de kurduğu santraldir. İzmir Çeşme Germiyan'da (1,5 MW), Alaçatı' da(7,2 MW), Çanakkale Bozcaada' da (10,2 MW) ve İstanbul Hadımköy'de (1,2 MW) gerçekleşen rüzgar santralleri bu şekilde ortaya çıkmıştır. Türkiye'de rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji

kaynaklarının konu edildiği ilk kanun 2001 yılında Elektrik Piyasası Kanunu'dur. Bu kanunla devletin belirli fiyattan alım garantisinden vazgeçmesi zaten düşük seviyede olan enerji yatırımlarını durdurmuştur. Bu aşamada az sayıda özel sektörün kendi enerjisini üretmek için gerçekleştirdiği projeler mevcuttur. Rüzgar enerjisine verilen resmi önemin kanıtı olarak ilk ciddi girişim ise ancak 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ile ortaya konmuştur. Bu kanunun sonrasında Bandırma, Çeşme yarımadası, Hatay, Manisa, Çanakkale'de gerçekleştirilen 150 MW gücündeki santraller kanunun ilk meyveleridir. Bu tarihten sonra EPDK'ya (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak için başvurular gerçekleştirilmiştir (Aralık 2007). EPDK gelen yoğun başvurulardan uygun olanlarını elemiş ve 2008 itibarıyla 1420 MW kurulu gücünde rüzgar enerji santralı projesine üretim lisans verilmiş olup, bu güne kadar yapımına başlanılan proje bulunmamaktadır. Türkiye Rüzgar potansiyeli yüksek ülkeler arasında sayılmaktadır. Örneğin Avrupa parlamentosunun belirlediği rüzgar endeksinde Danimarka 100, İngiltere 2800 ve Türkiye 2000 birim üzerinden ölçeklendirilmiştir. Maalesef ülkemizde rüzgar potansiyeli bu kadar yüksek iken gerek bu konuda yerli teknolojinin yeterli seviyeye ulaşamaması gerekse de yasal koşulların sağlam zemine oturtulamaması sebebiyle rüzgar enerjisinden istenilen seviyede yararlanılamamaktadır. Türkiye' de esen rüzgarın karakterinin çok iyi bilinmesi kurulacak olan rüzgar türbininin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Rüzgar hızını etkileyen faktörler sırasıyla şunlardır;

1. Coğrafi konum
2. Yerel yüzey yapısı
3. Yeryüzünden olan yükseklik

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'na (IEC) göre rüzgar, esme hızı bakımından dört sınıfa ayrılmaktadır. Birinci sınıfta ortalama rüzgar hızı 10 m/sn, ikinci sınıfta ortalama rüzgar hızı 8,5 m/sn, üçüncü sınıfta ortalama rüzgar hızı 7,5 m/sn, dördüncü sınıfta ortalama rüzgar hızı 6 m/sn olmaktadır. Bu sınıflama göz önüne alındığında, ülkemizde esen rüzgar hızı ortalama 5,9 ile 8,1 m/sn olduğuna göre ülkemizde 3. sınıf bir rüzgar esmektedir. 10 metre olcum yüksekliğinde ortalama yıllık hızı 2,7–3,5 olan yörelerimiz Afyon, Antalya, Isparta, Samsun, Sarıyer, Akhisar, Malatya, Anamur ve hızı 3,5 – 4 m/s

olan yörelerimiz Bergama, Bodrum, Çanakkale, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Sinop ve son olarak hızı 4 – 6 m/s olan yörelerimiz ise Antakya, Bandırma ve Mardin olup, en yüksek hız 6,2 m/s ile Bozcaada'da saptanmıştır. Türkiye'de esen rüzgarın, rüzgar türbinleri açısından, çok kaliteli olduğunu düşünmek yanıltıcı olabilir. Ancak türbin tasarımı bu rüzgar hızına göre tasarlanır ve seçilirse aynı rüzgar hızından daha fazla verim almış oluruz ki buda ülke ekonomisi açısından önemli bir kazanımdır.[1]



Şekil 1.3 50 metre yükseklikten ölçülen Türkiye geneli ortalama yıllık rüzgar hızı dağılımı

Çizelge 2.1 Türkiye'nin işletmedeki rüzgar elektrik santral projeleri

Mevkii (Location)	Şirket (Company)	Kurulu Güç (MW) Installed Capacity	Üretime Geçiş Tarihi (Commissioning Date)	Kullanılan Türbin Markası (Turbine Manufacturer)	Kullanılan Türbin Kurulu Gücü (MW) (Turbine Capacity)	Kullanılan Türbin Adedi (Number of WTGs)
İzmir-Çeşme	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1.50	1998	Enercon	0.5	3
İzmir-Çeşme	Ares Alaçatı Rüzgar Enerjisi Sant. San. ve Tic. A.Ş.	7.20	1998	Vestas	0.6	12
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt Sun'ı Jüt San. ve Tic. A.Ş.	1.20	2003	Enercon	0.6	2
Balıkesir-Bandırma	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	30.00	2006	GE	1.5	20
İzmir-Çeşme	Mare Manastır Rüzgar Enerjisi Santrali San. ve Tic. A.Ş.	39.20	2006	Enercon	0.8	49
İstanbul-Silivri	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	0.85	2007	Vestas	0.85	1
Çanakkale-İntepe	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30.40	2007	Enercon	0.8	38
Manisa-Akhisar	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	10.80	2007	Vestas	1.8	6
Çanakkale-Gelibolu	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	14.90	2007	Enercon	0.8 ve 0.9	13 adet 800 kW + 5 adet 900 kW
Manisayalar	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	34.20	2008	Enercon	0.9	38
İstanbul-Çatalca	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	60.00	2008	Vestas	3	20
İzmir-Aliağa	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	57.50	2008	Nordex	2.5	23
İstanbul- Gaziosmanpaşa	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	24.00	2008	Enercon	2	12
Muğla-Datça	Dares Datça Rüzgar Enerji Santrali Sanayi ve Ticaret A.Ş.	29.60	2008	Enercon	0.9	37
Hatay-Samandağ	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	30.00	2008	Vestas	2	15
Aydın-Didim	Ayen Enerji A.Ş.	31.50	2009	Suzlon	2.1	15
Balıkesir-Şamlı	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	90.00	2009	Vestas	3	30
Hatay-Belen	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	30.00	2009	Vestas	3	10
Tekirdağ-Şarköy	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	28.80	2009	Enercon	2 ve 0.9	14 adet 2000 kW + 1 adet 800 kW
İzmir-Urla	Kores Kocadağ Rüzgar Enerji Santrali Üretim A.Ş.	15.00	2009	Nordex	2.5	6
Çanakkale-Ezine	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20.80	2009	Enercon	2 ve 0.8	10 adet 2000 kW + 1 adet 800 kW
Balıkesir-Susurluk	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20.70	2009	Enercon	0.9	23
İzmir-Bergama	Ütopya Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	15.00	2009	GE	2.5	6
İzmir-Çeşme	Mazi-3 Rüzgar Enerjisi Santrali Elektrik Üretim A.Ş.	30.00	2009	Nordex	2.5	12
Balıkesir-Bandırma	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	15.00	2009	Vestas	3	5
Balıkesir-Bandırma	Borascio Enerji ve Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.	45.00	2009	Vestas	3	15
Osmaniye-Bahçe	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	95.00	2010	GE	2.5	54
Manisa-Soma	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	49.50	2010	Enercon	0.9	55
Balıkesir-Bandırma	As Makinsan Temiz Enerji Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	24.00	2010	Nordex	3	10
Mersin-Mut	Akdeniz Elektrik Üretim A.Ş.	33.00	2010	Vestas	3	11
Çanakkale-Bozcaada	Bores Bozcaada Rüzgar Enj. Sant. San. ve Tic. A.Ş.	10.20	2000	Enercon	0.6	17
İzmir-Aliağa	Bergama RES Enerji Üretim A.Ş.	90.00	2010	Nordex	2.5	36
Edirne-Enez	Boreas Enerji Üretim A.Ş.	15.00	2010	Nordex	2.5	6
KAPASİTE TOPLAMI (TOTAL OPERATING CAPACITY)		1029.85				

2.2 Rüzgar Türbini Çeşitleri

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinelerinde kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştiren bu RT'lerden bazıları günümüzde ticari hale gelmiştir. RT'ler dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar:

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri

2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Eğer;

$\lambda = 1-5$ ise Çok kanatlı rotor,

$\lambda = 6-8$ ise Üç kanatlı rotor,

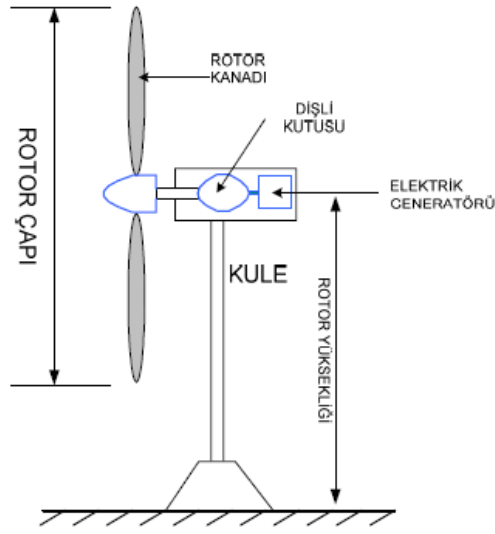
$\lambda = 9-15$ ise İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$ ise Tek kanatlı rotor kullanılır.

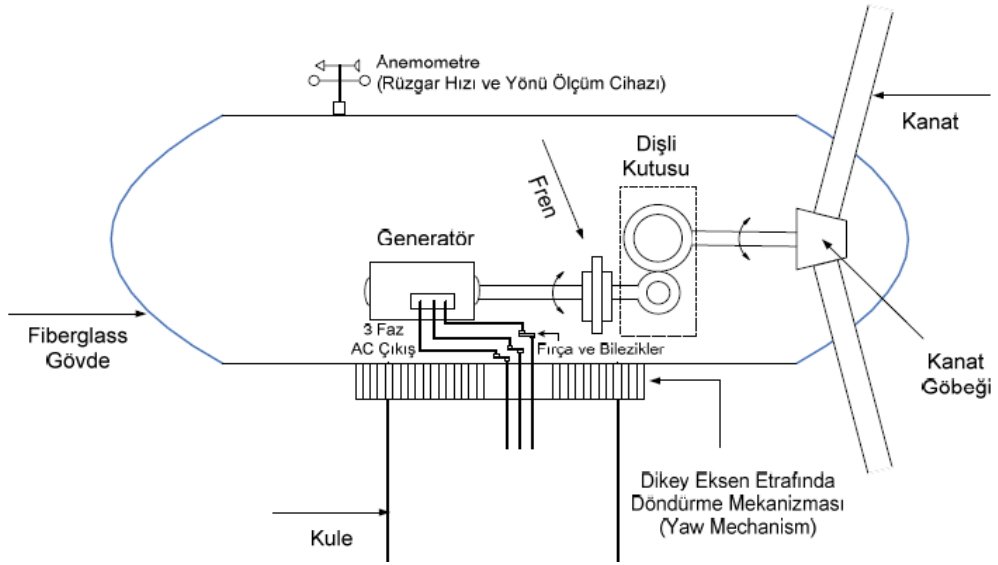
YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.

Rüzgarı önden alan türbinler yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için "Yaw" mekanizmasına gerek duyarlar.

Rüzgarı arkadan alan türbinlerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayırlardır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgarı 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 rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir.



Şekil 2.4 Yatay eksenli rüzgar türbini



Şekil 2.5 Yatay eksenli rüzgar türbininin detaylı yapısı

2.2.1.1 Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için hub çok iyi yapılmalıdır. MBB firması tarafından tasarlanan, her birinin tesis gücü 630 kW olan ve rotor çapı 56 m üç tip RT Almanya'nın Wilhelmshaven yakınında çalışmaktadır. En önemli ticari dezavantajı, 120 m/s civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Bir kanatlı RT'nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü içermektedirler. Almanya halkı, gürültü ve görsel rahatsızlık nedeniyle bu RT'lerin piyasada kullanılmasına şans tanınmamıştır.

2.2.1.2 Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ila 100 m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat maalesef iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır. Hub'ın titreşimi azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3 m/s) çalıştırılması dezavantajdır. Günümüzde iki kanatlı rotor, şimdi birkaç ünitedir ve en az bir an için artan piyasaya dikkat edecek olursak iki kanatlı rotora hiçbir eğilim bulunmamaktadır.

2.2.1.3 Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri

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

2.2.1.4 Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri

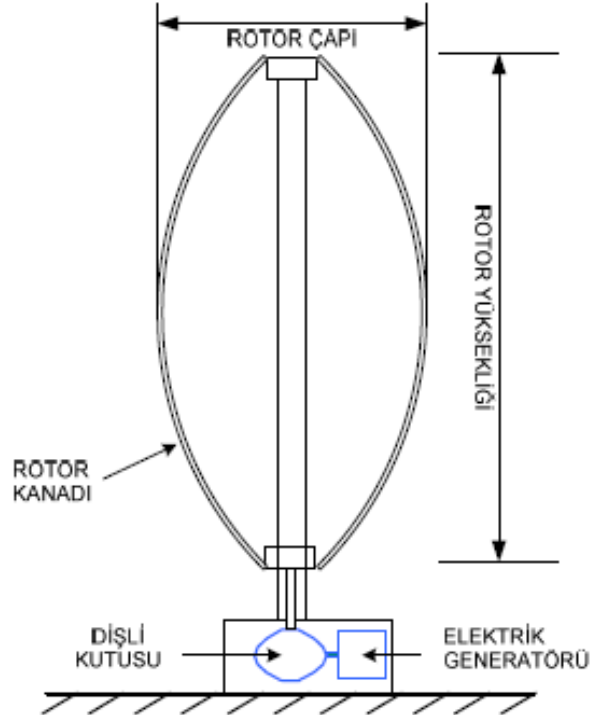
Çok Kanatlı RT'ler (rüzgar gülleri), RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri,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



Şekil 2.6 Tek, üç ve çok kanatlı rüzgar türbinleri (sırasıyla soldan sağa)

2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık % 35'dir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve "Yaw" mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5 m olan türbinden yaklaşık 0,5 kW güç elde edilir. Bu türbinleri ye yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 2.7 Dikey eksenli rüzgar türbini

2.2.2.1 Savonius Rüzgar Türbinleri

Savonius RT, 1925 yılında Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasında yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, "kanat" adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında

negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır. Diğer DERT'lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT'lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT'nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirilmesi yönünde olmuştur. Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; "sallanan kanatlı çark" kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT'nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir. Reupke ve Probert, Savonius RT'nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT'lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir.



Şekil 2.8 Savonius tipi rüzgar türbinleri

2.2.2.2 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 tasarımları 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 olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir.



Şekil 2.9 Darrieus tipi rüzgar türbinleri

2.2.2.3 H-Darrieus Rüzgar Türbinleri

Dikey eksenli en önemli RT'lerden biridir. Darrieus RT'nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbinidir. Darrieus RT'den iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatlar pitch kontrol uygulanır.

2.2.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)

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

2.3 Rüzgar Türbinlerinin Birbiri ile Karşılaştırılması

Rüzgar çiftlikleri kurulumunda; rüzgar şartları, kurulacak alan ve ciddi kayıplardan kaçınmak için RT'lerin özellikleri bilinmelidir. RT'ler incelendiği üzere kanat çeşitleri, rüzgarı alış şekilleri ve kullanım alanlarına göre birkaç çeşitte imal edilebilmektedir. Aşağıdaki Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de RT'lerin birbirleri ile çeşitli özellikleri ve tipleri dikkate alınarak kıyaslanması verilmiştir. Bu tablolarda; türbinin kullanım amacı, bölgedeki rüzgar ve maddi imkanlara göre nasıl bir türbin seçimi gerektiği veya kurulmak istenen türbinin özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.2 Büyüklüklerine göre türbinlerin karşılaştırılması

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük RT ler	Endüstriyel	50 kW-2 MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük RT ler	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekomünikasyon alıcısı, Radyo kulesi, Seralar Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük
	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük RT ler	Endüstriyel	50 kW-2 MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük RT ler	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekomünikasyon alıcısı, Radyo kulesi, Seralar Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük

Çizelge 2.3 Rüzgarı alış yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı
Rüzgarı Önden Alan RT	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgarı Arkadan Alan RT	Yok	Esnek	Hafif	Çok

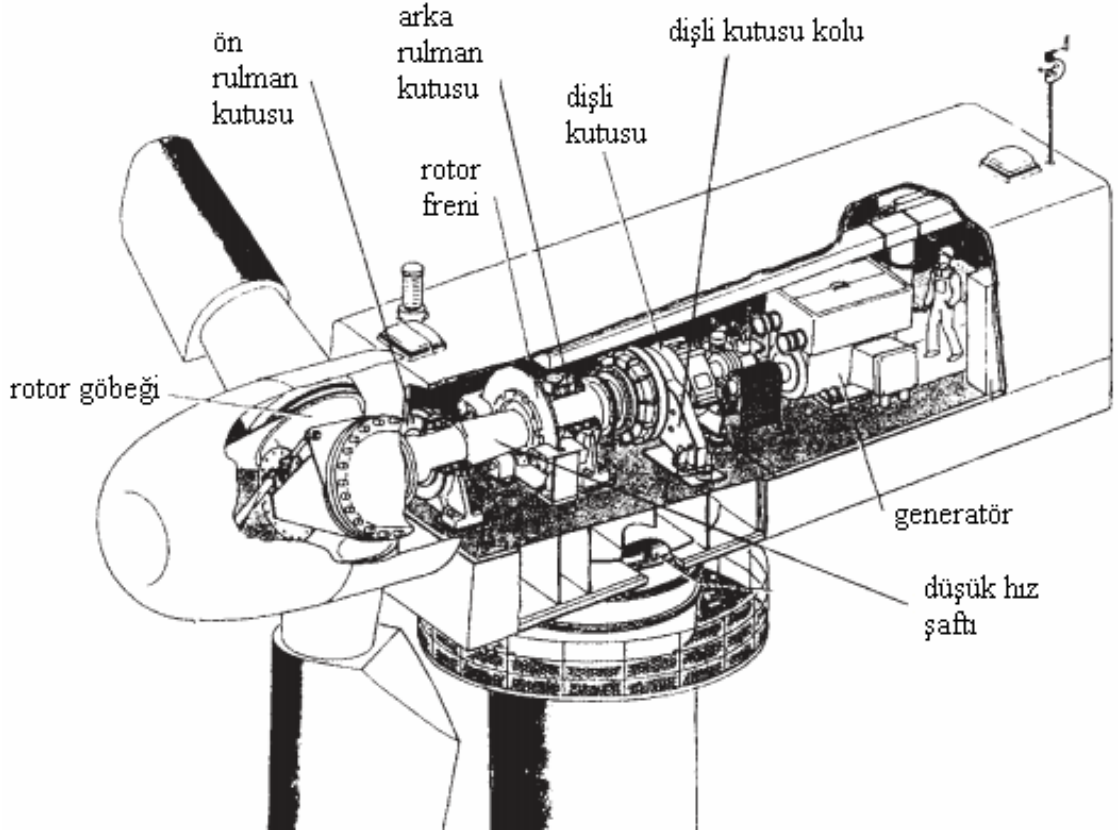
Çizelge 2.4 Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması

	YERT				DERT	
	Tek Kanatlı	2 Kanatlı	3 Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darriereus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik ve Su Pompalama	Az Elektrik ve Su Pompalama	Az Elektrik ve Su Pompalama
Günümüzde Kullanımı	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi İçin Rüzgarı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler

Yerel yüzey yapısı, bitki örtüsü ve yüksek bina gibi engeller rüzgar hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Türbinler düz tepelerde, en yüksek noktaya; vadi, kanyon ve geçitlerde ise hakim rüzgarı alabilecek ve tüketiciden uzak olmayacak

şekilde yerleştirilmelidir. Kanat yerleşiminde, asgari kanatın yerden 3m yüksekte olması ve kullanım yerinden 40m uzakta olması avantajdır. Rüzgar çiftliklerinde yapılan düzenlemelerde her bir türbin, rüzgarı en iyi alacak şekilde ve birbirlerinin arkasına, gölgeleme etkisi en az olacak şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir [2],[3].

2.4 Rüzgar Santrallerinde Kullanılan Generatör Çeşitleri



Şekil 2.10 Örnek bir rüzgar türbininin parçaları

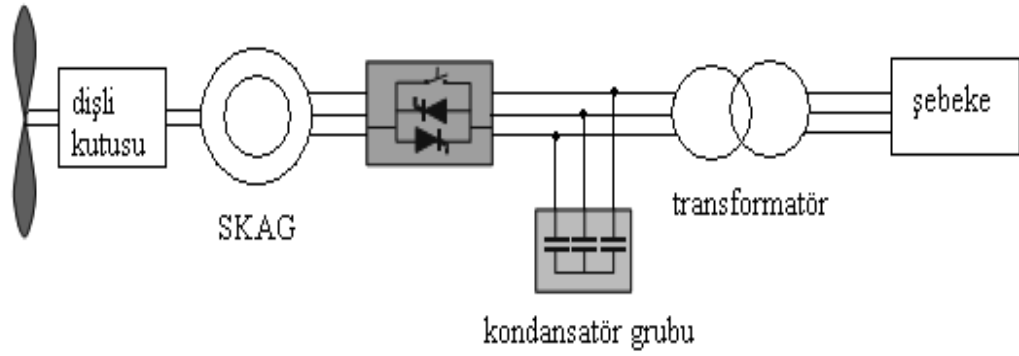
2.4.1 Asenkron Generatör

Rüzgar türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir generatör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dezavantajı duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Ani rüzgar artışlarında oluşan tork titreşimlerini azaltmada çok iyidir. Asenkron generatörler rotor yapılarındaki farklılığa göre ikiye ayrılırlar, rotoru

sincap kafesli (kısa devre çubuklu) asenkron generatör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron generatör.

2.4.1.1 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.

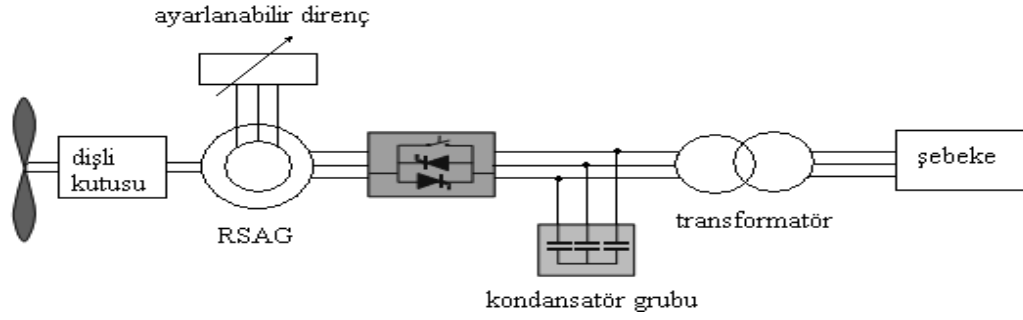


Şekil 2.11 Rüzgar türbinine akuple edilmiş SKAG'ün şebekeye bağlantısı

Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Dezavantajları; generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşılaştırmasıdır. 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.

2.4.1.2 Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generator (RSAG)

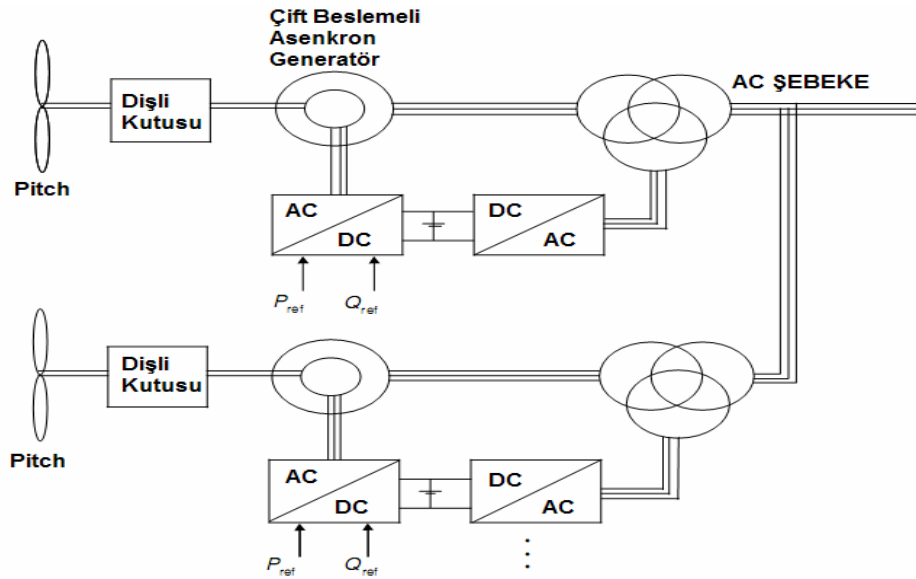
Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Dezavantajı ise pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır.



Şekil 2.12 Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ün şebekeye bağlantısı

2.4.1.2.1 Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)

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 konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve generatörün manyetizasyonunu sürdürülebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter 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 2.13 ÇBAG'lerin rüzgar türbinine ve şebekeye bağlantısı

2.4.1.2.2 OptiSlip Endüksiyon Generatör (OSEG)

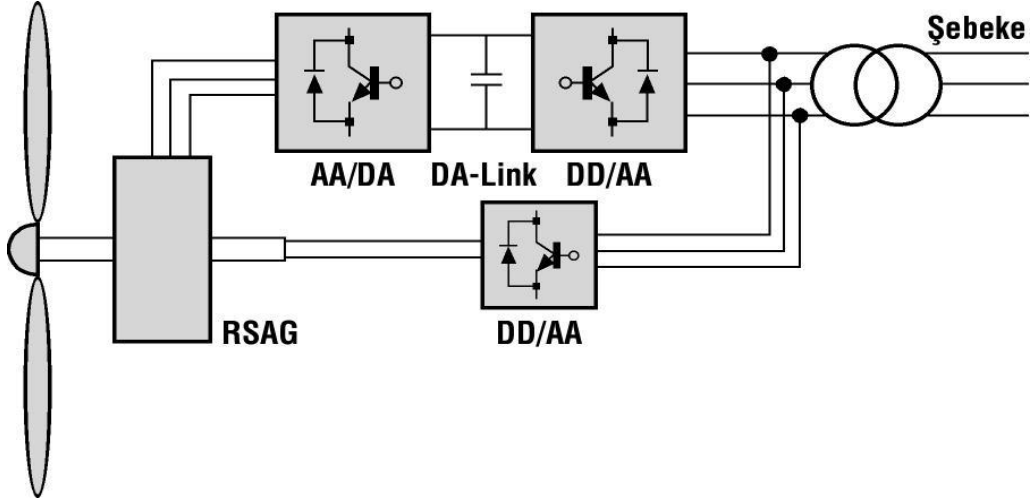
OSG, rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı şirket Vestas tarafından geliştirilmiştir. Opti Slip generatör rotoru sargılı asenkron generatör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Generatörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konvertör aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgar hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgar artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır.

2.4.2 Senkron Generatörler

Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekanik olarak daha karmaşıktır. Senkron generatör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Senkron generatörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir.

2.4.2.1 Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSAG)

Manyetik alan kutup sargısının bulunduğu makinenin hareketli parçası rotorda üretilir. Rotorda ki kutup sargısı doğru akımla beslenerek hava aralığında zamana göre değişmeyen genliği sabit manyetik alan meydana getirir. Bu manyetik alan rotorun döndürülmesi ile statora yerleştirilmiş sargının düzlemlerinden değişik açılarda geçer ve gerilimi endükler. Bu sargıda oluşan gerilim alternatiftir, zamana göre değişir. RSAG'nın hızı, döner alanın frekansı ve kutup sayısına göre değişir.

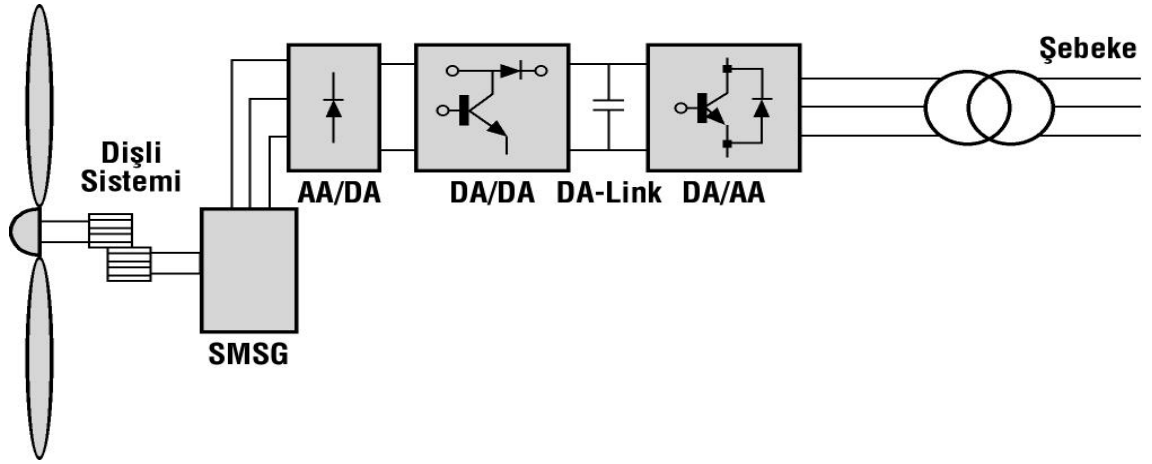


Şekil 2.14 Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ün şebekeye bağlantısı

Stator tarafındaki dönüştürücü elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki dönüştürücü ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder. Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için RSSG'nin verimi yüksektir. RSSG kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı bir çok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu generatörlerin kutup eğimi endüksiyon makinalarına göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusunu ortadan kaldırabilir. Asenkron generatörlerin aksine senkron generatörlerin, reaktif güç kompanzasyon sistemine ihtiyacı yoktur. Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron generatör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır.

2.4.2.2 Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)

SMSG herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artışı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Generatör hızı herhangi dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir. SMSG'nin statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. SMSG'nin çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı SMSG'lerdir.



Şekil 2.15 Rüzgar türbinine akuple edilmiş SMSG'ün şebekeye bağlantısı

SMSG'ler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğer dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir.



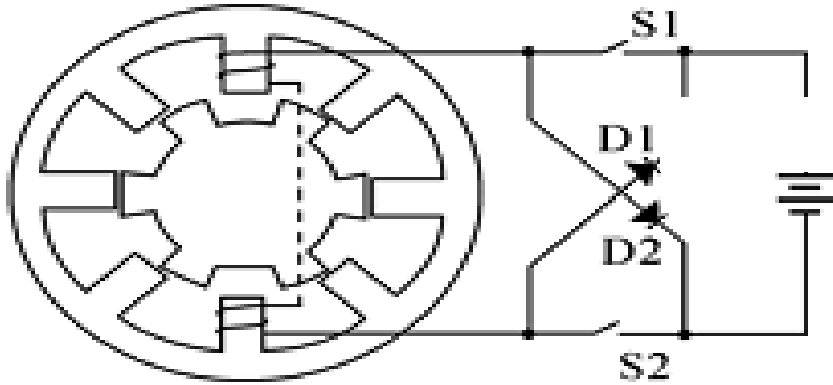
Şekil 2.16 Sürekli mıknatıslı senkron generatör

2.4.3 Doğru Akım Generatörü

Doğru akım generatörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG'ler küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DAG'ların komütatörü elimine etmek için sürekli mıknatıslı olarak tasarlanmasına başlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım makinaları olarak da isimlendirilen bu makinalar, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar.

2.4.4 Anahtarlı Relüktans Generatör (ARG)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgar enerjisi uygulamalarında tercih edilen generatördür. ARG'nin statorunda bulunan her çıkık kutuba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyarım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur. Uyarım aşamasında S1 ve S2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici



Şekil 2.17 Anahtarlı relüktans generatör

elektriksel devre tarafından uyarılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S1 ve S2 anahtarları kapalı olup, D1 ve D2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür.

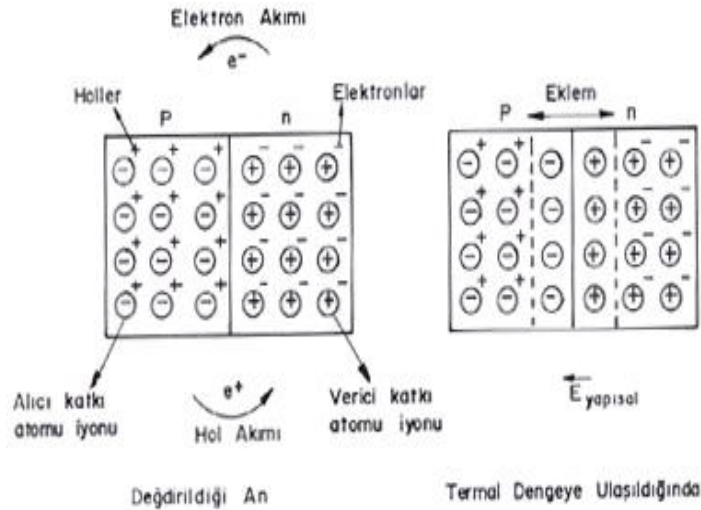
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

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 cm^2 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 bir kaç Watt'tan MegaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.

3.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p 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. Silisyum'un dış

yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir. P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletkende elektronlar, p tipi yarı iletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler 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 (E_y)" olarak adlandırılır. Aşağıda P-N eklem oluşması şematize edilmiştir.



Şekil 3.1 P-N eklem oluşması

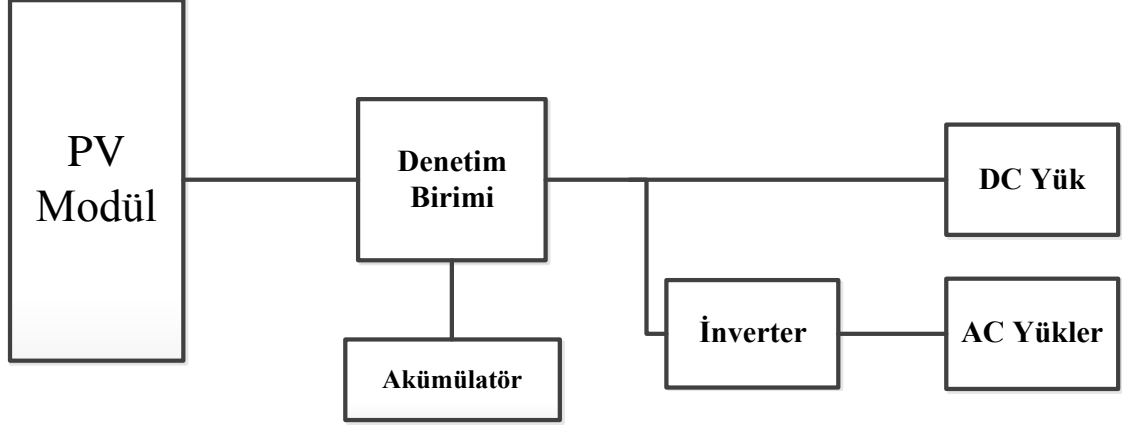
Yarı iletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar

bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banttaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn 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. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

3.2 Güneş Pili Sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek

elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. Aşağıda şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir.



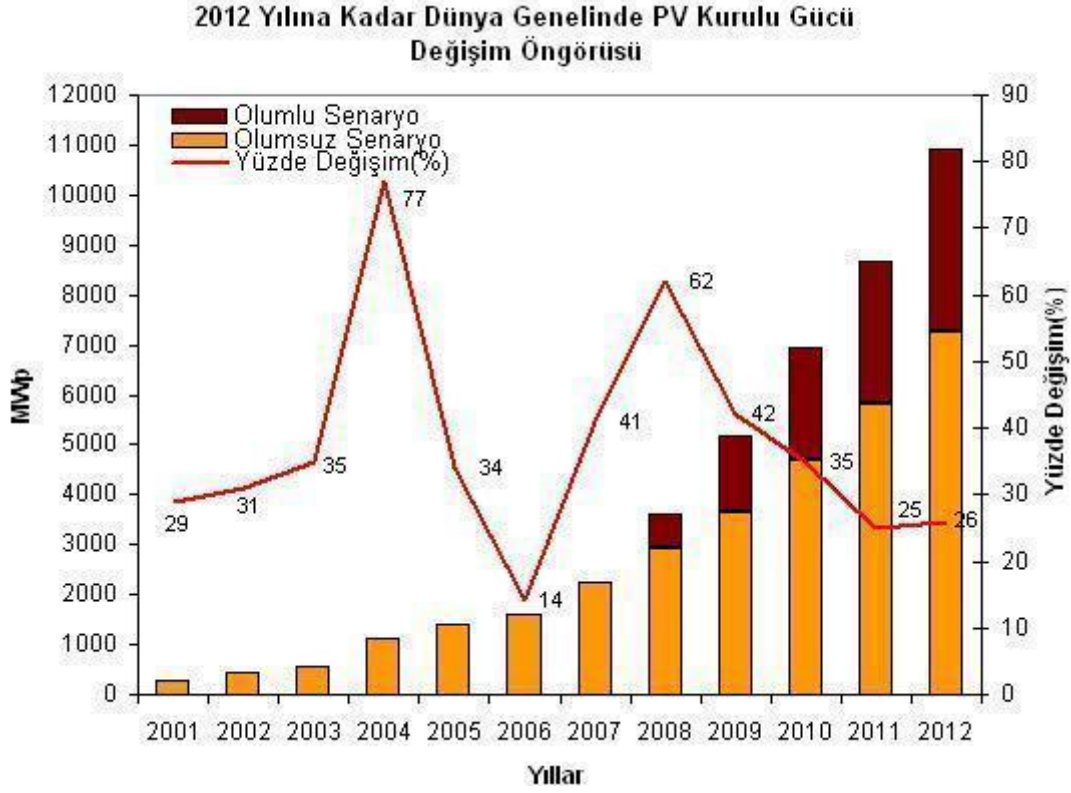
Şekil 3.2 Şebekeden bağımsız güneş pili enerji sisteminin şeması

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı

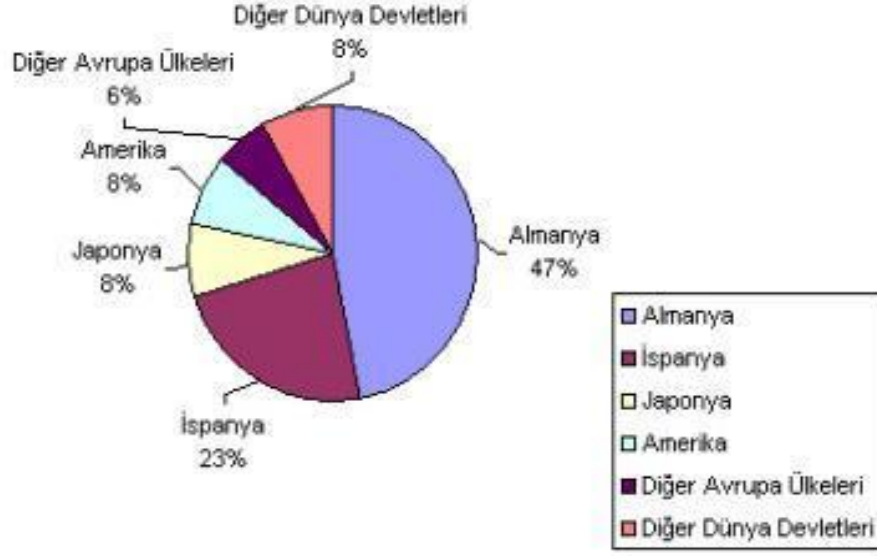
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma.



Şekil 3.3 2012 Yılına kadar dünya genelinde PV kurulu gücü değişim öngörüsü grafiği
(Kaynak: EPIA (Avrupa PV Endüstrisi Birliği), www.epia.org)

Geçtiğimiz son beş yılda dünya genelinde PV üretimi yıllık bazda %30 civarında bir büyüme oranına sahip olmuştur. 2007 yılı dünya fotovoltaik pazarı 2826 MW'a ulaşmıştır.

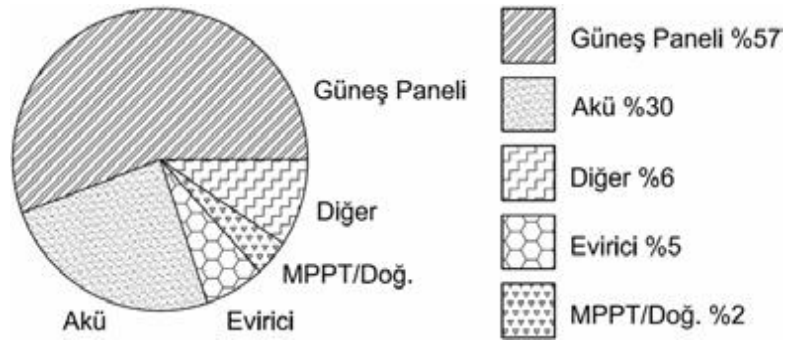
2007 Yılı Dünya Fotovoltaik Güneş Pili Pazarı 2826 MW



Şekil 3.4 2007 Yılı dünya fotovoltaik güneş pili pazarı grafiği

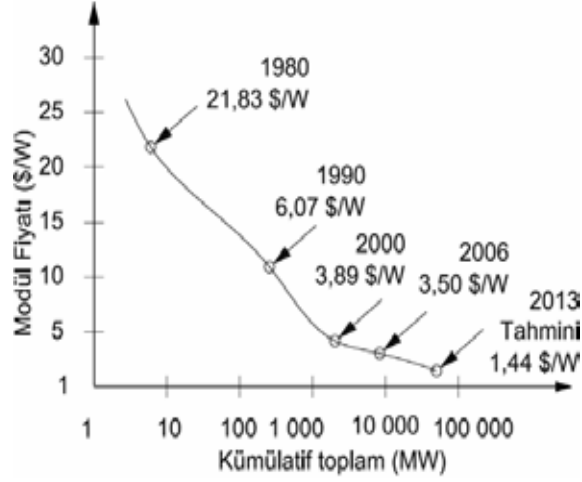
3.3 PV Yapı Maliyeti

PV panellerden elde edilen enerji maliyeti, hidroelektrik, kömür, petrol, nükleer gibi günümüz yakıtlarından elde edilen enerjiden daha fazladır. Temelde aradaki farkın kaynağı kurulum maliyetidir. Kurulum maliyetini oluşturan unsurlar PV panel, yedekleme üniteleri (akü), güç dönüştürücüleri, taşıma ve inşa giderleri olarak sıralanabilir. PV sistemin büyüklüğüne göre adı geçen giderlerin ağırlıkları değişmektedir. Şekil 3.5’de 15 kWh/gün için kurulmuş bir sistemin kurulum maliyet oranlarını veren grafik bulunmaktadır.



Şekil 3.5 PV yapı maliyet oranları

PV paneller kurulum maliyetinin en büyük bileşenidir. PV yapılar yaygınlaştıkça panel maliyetleri de düşmekte bunun sonucu olarak daha ekonomik olmaktadır.

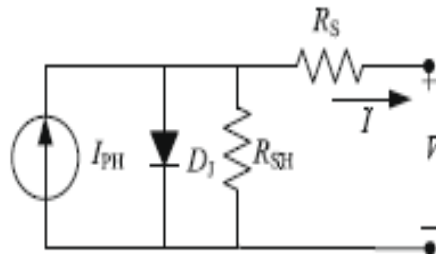


Şekil 3.6 PV Yapı maliyetinin yıllara göre değişimi

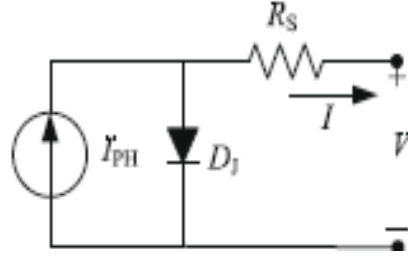
Şekil 3.6'da PV panel fiyatlarının \$/W cinsinden yıllara göre değişimi ve gelecek yıllardaki tahmini sonuçları veren grafik verilmiştir. Buradan hareketle PV sistemlerin yakın gelecekte enerji ihtiyacına oldukça ekonomik çözümler getireceği söylenebilir. Güneşten elde edilen enerjinin birim maliyeti ise kullanılan teknoloji, ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve PV hücre cinsine göre 0,15-0,29 \$/kWh arasında değişmektedir.

3.4 PV Hücre Elektriksel Modeli

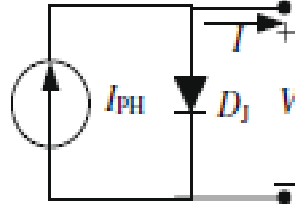
Güneş pilleri literatürde çeşitli şekillerde modellenmektedir. Şekil 3.7'de görülen model bir diyot ve bir dirençten oluşan modeldir. Şekil 3.8'de görülen model bir diyot ve iki dirençten meydana gelen model, Şekil 3.9'da görülen model ise birden çok diyottan meydana gelen modeldir.



Şekil 3.7 Genel eşdeğer devre modeli

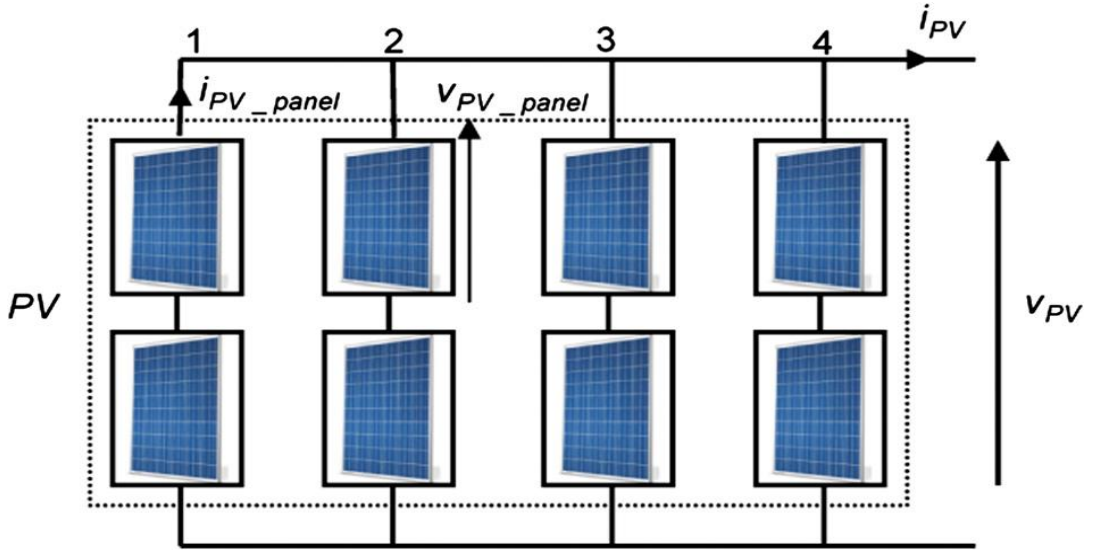


Şekil 3.8 Uygun eşdeğer devre modeli



Şekil 3.9 Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli

Bütün olarak fotovoltaik sistem incelendiğinde aşağıdaki Şekil 3.10'daki sistemi ele alabiliriz. Burada 2 seri panelin 4'lü paralel şekilde kullanılan CONERGY Q125PI tipi paneller görülmektedir.



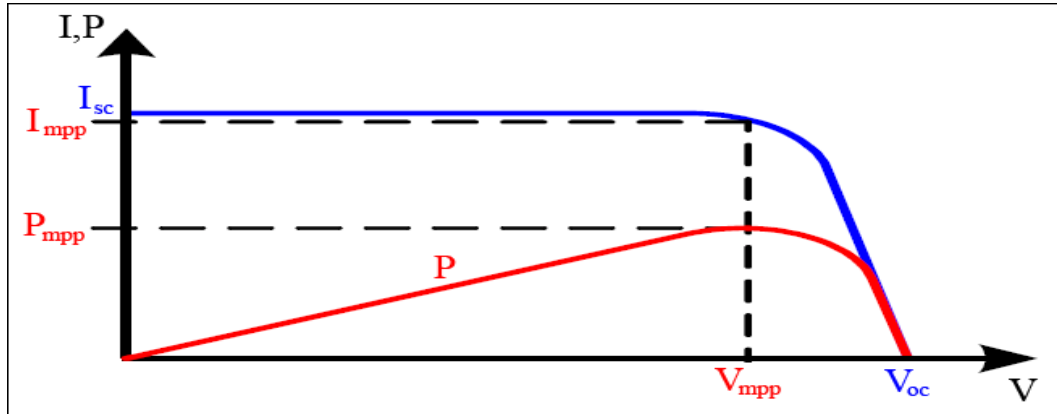
Şekil 3.10 Fotovoltaik Sistem (PV)

3.5 Güneş Panellerinin I-V Karakteristikleri

Bu bölümde güneş panellerinin I-V karakteristikleri üzerinde durulmuştur.

3.5.1 İdeal Güneş Paneli Karakteristiği

Şekil 3.11, ideal bir güneş panelinin tipik I-V ve P-V karakteristiğini göstermektedir. Birbirine seri veya paralel bağlanmış birden fazla güneş panelinden oluşan sistemlerin karakteristikleri de sırasıyla V_{OC} ve V_{MPP} ya da I_{MPP} ve I_{SC} değerlerinin katlanmış olması dışında benzerdir.



Şekil 3.11 İdeal bir güneş panelinin Tipik I-V ve P-V karakteristikleri

Şekil 3.11'den de görülebildiği gibi ideal bir güneş panelinin çıkış gerilimi, çıkış akımı belli bir değere ulaşana kadar sabitken, bu değeri aştığında hızla azalmaya başlamaktadır. Gerçek güneş panelinde ise çıkış gerilimi panelden çekilen akım sıfırdan farklı olduğu anda düşmeye başlar. Ancak gerilimin düşme hızı akım belli bir değere ulaşana kadar yavaşken, bu değeri aştıktan sonra hızlanır. Güneş panellerinin Şekil 3.11'de gösterilmiş 5 temel parametresi vardır. Bu parametreler ve sembolleri aşağıda liste halinde verilmiştir:

V_{OC} : Açık devre gerilimi

I_{SC} : Kısa devre akımı

P_{MPP} : Maksimum güç değeri

V_{MPP} : Maksimum güç noktası gerilimi

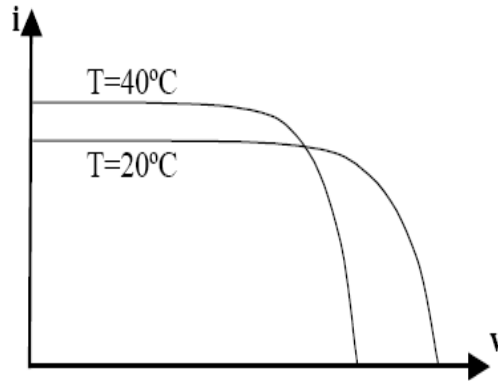
I_{MPP} : Maksimum güç noktası akımı

Gerçek bir güneş panelinin I-V karakteristiği sıcaklığa ve ışımaya bağlı olarak değişir. Bu yüzden Şekil 3.11'deki gibi bir eğri ancak tek bir sıcaklık ve ışınım değeri için geçerlidir. Yine Şekil 3.11'deki eğri, panel yüzeyinin tamamen ve homojen bir şekilde aydınlanmış

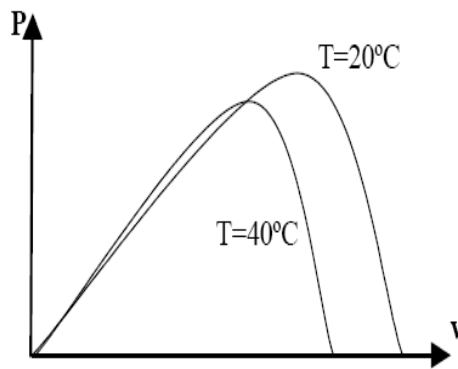
olduğu, gölgeler ve kir nedeniyle gerçekte sağlanması zor olan bir koşul altında geçerlidir. Kısacası, bir güneş paneli için her koşulda doğru I-V eğrisinin elde edilebilmesi için ortam koşullarının hesaba katılması gerekmektedir.

3.5.2 Sıcaklığın I-V Eğrisine Etkisi

Güneş panelleri çok sayıda küçük hücreden oluşur. Her hücre en basit haliyle yüzeyi büyütülmüş olan bir P-N jonksiyonu olduğundan, parametreleri bir diyotunkiler gibi sıcaklık ile değişir. Sıcaklık arttıkça V_{OC} azalır ve I_{SC} artar. V_{OC} 'deki azalma miktarı I_{SC} 'deki artış miktarından çok daha fazla olduğu için sıcaklık arttıkça panelden elde edilebilecek olan maksimum güç azalır. Bu etkiler Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 V_{OC} ve I_{SC} 'nin sıcaklıkla değişimi

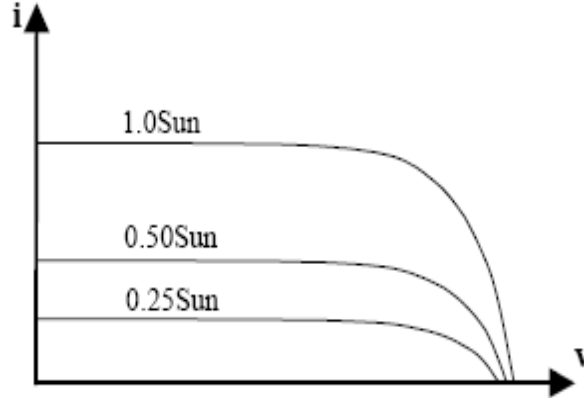


Şekil 3.13 Gücün sıcaklıkla değişimi

Sıcaklıktaki $1^{\circ}C$ 'lik değişime karşılık V_{OC} ve I_{SC} 'deki değişim miktarı genellikle güneş panellerinin teknik dokümanlarında $T=25^{\circ}C$ 'deki değerleri referans alan sıcaklık katsayıları olarak verilir. Bu katsayılara kısaca I_{TEMPCO} ve V_{TEMPCO} denilmektedir.

3.5.3 Işımanın I-V Karakteristiğine Etkisi

Bir güneş panelinin kısa devre akımı ışıma ile doğrudan orantılıyken, açık devre gerilimi artan ışıma ile sadece az bir miktar artar. V_{oc} 'deki değişim I_{sc} 'deki değişime kıyasla ihmal edilebilecek seviyede olduğundan bir güneş panelinin maksimum çıkış gücünün de ışıma ile doğrudan orantılı olduğu söylenebilir. Şekil 3.14'de aynı panelin üç farklı ışınım değeri için I-V eğrileri verilmiştir.

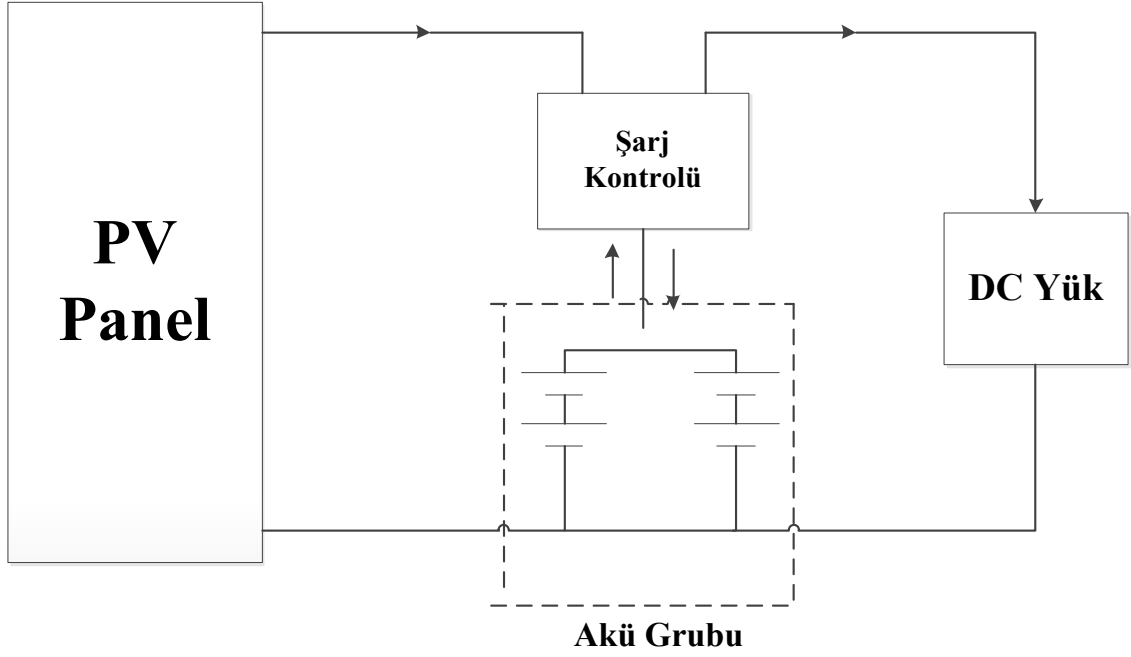


Şekil 3.14 V_{oc} ve I_{sc} 'nin ışıma ile değişimi

I_{sc} ışınım ile doğrudan orantılı olduğundan, ışınımdaki 1 W/m^2 'lik değişimin I_{sc} üzerindeki etkisini hesaplamak kolaydır. V_{oc} 'deki değişim ancak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Çünkü ışınım ile V_{oc} arasında doğrudan bir orantı olmadığı gibi, panellerin teknik dokümanlarında bu iki değer arasındaki bağıntıyı veren bir katsayıya da rastlanmamaktadır. Işımanın V_{oc} üzerindeki etkisini hesaba katmak için kullanılan katsayıya V_{IRCO} adı verilmiştir.

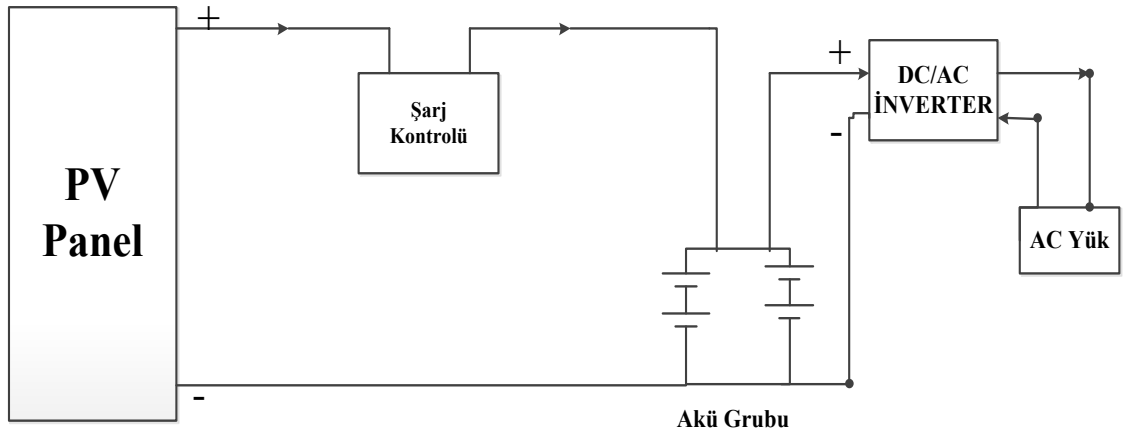
3.6 Fotovoltaik Enerji Sistem Tasarımı

Fotovoltaik enerji sistem tasarımında literatürde çeşitli tasarım durumları vardır. Bu bölümde fotovoltaik sistemlerde tasarımda şebekeden bağımsız sistemler ve şebeke ile paralel çalışan sistemler anlatılacaktır. Şebekeden bağımsız sistemler sistemin DC yükü besleme durumu, AC yükü besleme durumu veya sistemde hem AC hem de DC yük olma durumları incelenecektir. Daha sonrasında fotovoltaik enerji sistem tasarımında önemli rol oynayan akü şarj üniteleri anlatılacaktır. Şebekeden bağımsız sistemleri Şekil 3.15'deki gibi gösterebiliriz.



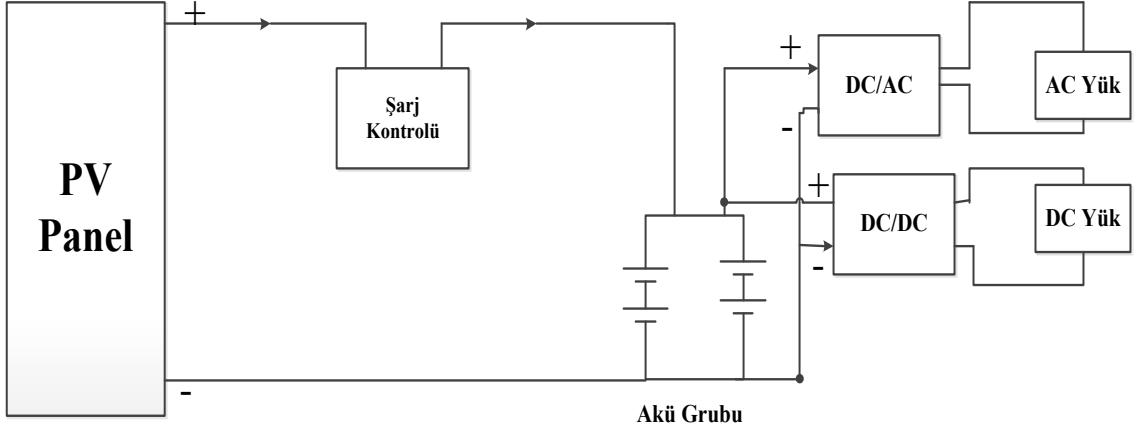
Şekil 3.15 Şebekeden bağımsız DC yükü besleyen fotovoltaik sistem

Eğer sistem şebekeden bağımsız AC yükü besliyor ise Şekil 3.15 deki gibi gösterebiliriz.



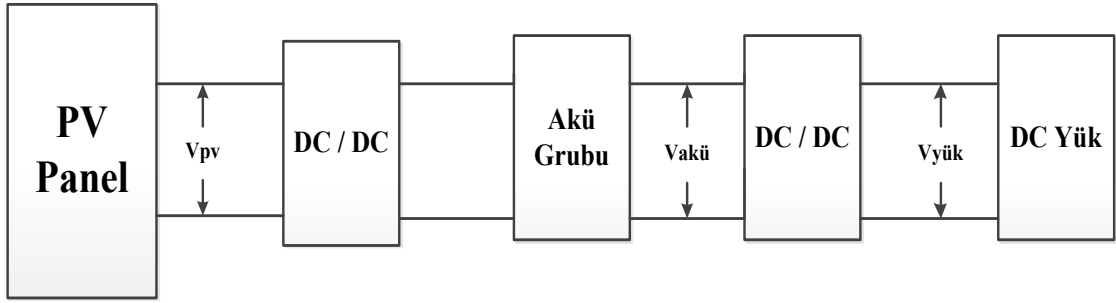
Şekil 3.16 Şebekeden bağımsız AC yükü besleyen fotovoltaik sistem

Eğer sistem şebekeden bağımsız hem DC yükü hem de AC yükü besliyor ise Şekil 3.16'daki gibi gösterebiliriz.



Şekil 3.17 Şebekeden bağımsız DC ve AC yükü besleyen fotovoltaik sistem

PV panelden DC yükü besleme aşamasına kadar olan dönüştürücü-akü kombinasyonlu besleme şeması Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Burada görülmekte olan dönüştürücüler 5.Bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

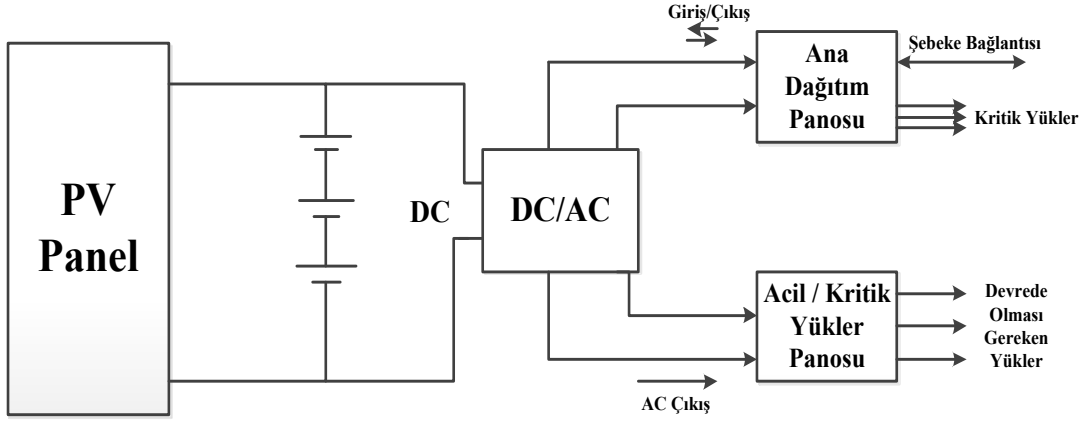


Şekil 3.18 Şebekeden bağımsız DC ve AC yükü besleyen fotovoltaik sistem

Dönüştürücüleri burada özetle açıklayabiliriz. Bunu şu şekilde yapabiliriz;

- 1) $V_{pv} > V_{akü}$ ise düşürücü dönüştürücü
- 2) $V_{pv} < V_{akü}$ ise yükseltici dönüştürücü
- 3) Her iki durum için düşürücü-yükseltici tip dönüştürücü kullanılacaktır.

Bu durum akü grubu ile DC yük arasındaki dönüştürücü için de geçerlidir. Dönüştürücülerde, dönüştürülen gerilimler arasındaki fark büyüdükçe verim de o oranda azalır. Bu yüzden düşürücü veya yükseltici tip dönüştürücü kullanmak düşürücü-yükseltici tip dönüştürücülere göre daha avantajlıdır. Şebeke ile paralel çalışan sistemlerde basit olarak Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Şebeke ile paralel çalışan fotovoltaik sistem

3.7 Fotovoltaik Sistemlerde Akü Kontrol (Şarj) Üniteleri

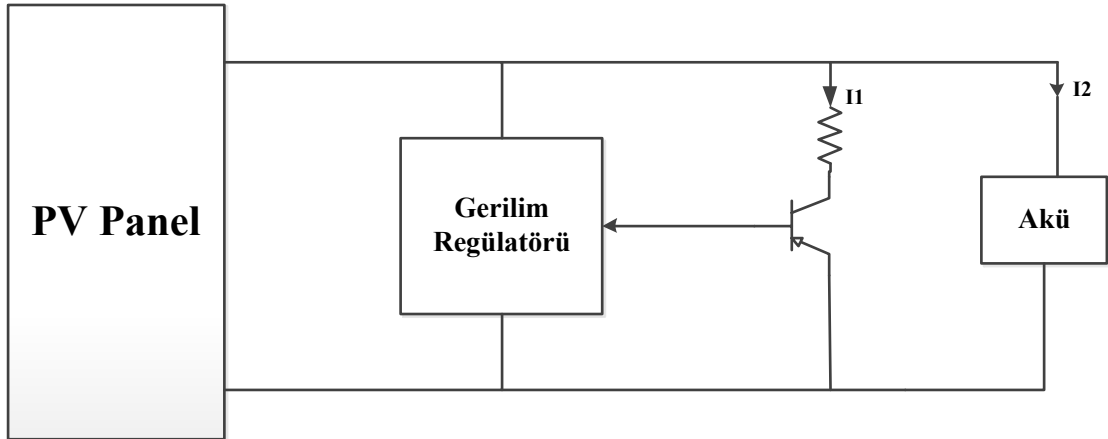
Şarj kontrol üniteleri PV panel ve akü grubu arasında çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

Aküyü fazla şarjdan korumak

Aküyü tamamıyla boşalmaktan korumak

Maksimum güç aktarımını sağlamak

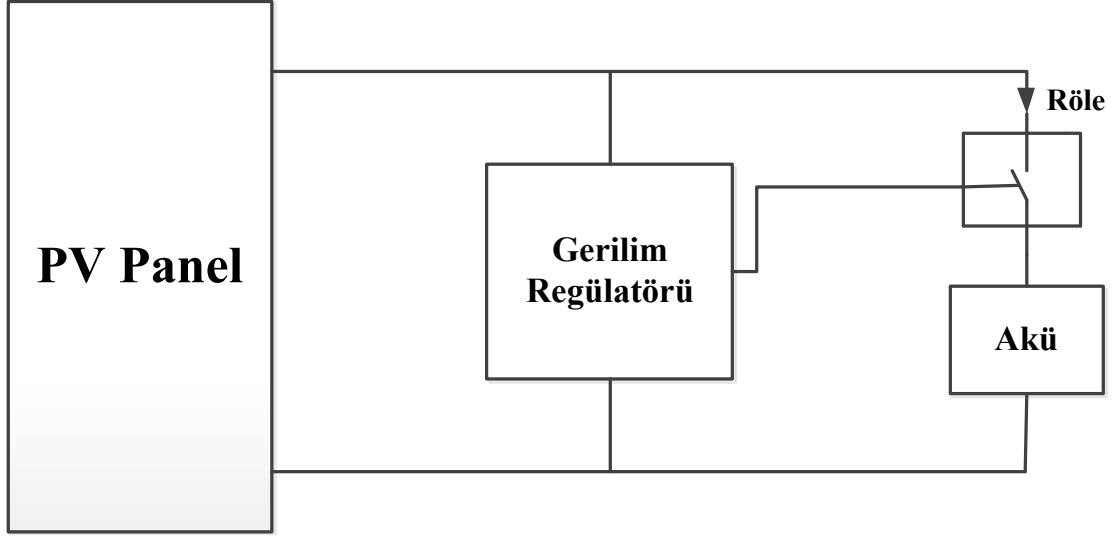
DC/DC dönüştürümünü sağlamak.



Şekil 3.20 Aküyü aşırı yüklerle karşı korumak için kullanılan şarj ünitesi

Şekil 3.20'de görüldüğü üzere aküyü aşırı yüklemeye karşı korumak için paralel devre regülatörü kullanılabilir. Akü belirli bir eşik voltajına ulaştığında transistör devreye girer ve gücü dağıtır. Yukarıdaki sistem nispeten küçük güçlerde (birkaç yüz watt'a kadar)

kullanılır. Daha yüksek güç gerektiren uygulamalarda ise seri regülatör kullanılır. Akü gerilimi belirli bir seviyeye ulaşınca akü Şekil 3.21’da görüldüğü gibi PV panelden röle ile ayrılır[4].



Şekil 3.21 Röle ve gerilim regülatörlü akü koruma ünitesi

Şebekeden bağımsız olarak beslenen yüklerin enerji talepleri şebekeye bağlı yüklerin enerji talebinden daha kritik bir önem taşır. Üretilen enerji talep edilen enerjii karşılamalı ve bu enerji talep edilen enerjiden çok fazla olmamalıdır. Şebekeden bağımsız bir sistemde bu pek mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada günlük ortalama enerji tüketimi 450 kwh olan bir bölge düşünülerek sistem tasarlanmıştır.

4.1 Sistem Verimi Hesaba Katılarak Üretilecek Enerji Miktarının Hesaplanması

Seçtiğimiz marka inverter için verim %95 tir. Kullanılacak yer altı kablo sistemi ve diğer sistemler için yüzde güç kaybı %5 alınırsa toplam verim;

$$\eta = \eta_{inverter} \times \eta_{iletim} \quad (4.1)$$

$$\eta = 0.95 \times 0.95 = 0.90$$

Üretmemiz gereken enerji miktarı;

$$E_{toplam} = \frac{E_{ihtiyac}}{\eta} \quad (4.2)$$

$$E_{toplam} = \frac{450 \text{ kwh}}{0.90}$$

$$E_{toplam} = 500 \text{ kwh}$$

Tüm verimler dahil edildiğinde 450 kwh'lik enerji ihtiyacı 500 kwh'e ulaşmaktadır. Bu da her gün yaklaşık 50 kwh enerjinin kayıplardan dolayı boş yere üretildiği anlaşılmaktadır. Eğer fosil yakıtlardan karşılanacak olsa bu enerji miktarı için gereksiz yere yakıt kullanılmış olacaktı.

GÜNEŞLENME (IŞINIM) ÖLÇÜMÜ ve RÜZGAR HIZI ÖLÇÜMÜ

Bir bölgenin rüzgar hızı ve güneşlenme şiddeti verilerinin alınabilmesi için ölçümlerin sağlıklı alınabileceği bir yere meteoroloji istasyonunun kurulması gereklidir. Verilerin kullanılabilir olması için verilerin hiç ara verilmeden alınmış olması ve en az bir yıllık olması gereklidir. Ayrıca veriler için bir çok türden sensör kullanılmaktadır.

5.1 Güneş Radyasyon Ölçümü

Bir çok ışınım türü vardır ve her biri için farklı ölçüm teknikleri uygulanmaktadır.

5.1.1 Güneş Radyasyonu

Güneş tarafından yayılan ve atmosfere ulaşan radyasyondur. Kısa dalga radyasyon olarak adlandırılır. 3 tip radyasyon vardır.

- Direkt radyasyon: (S)
- Diffuse (yayılan) radyasyon:(H)
- Yansıyan Radyasyon: (R)

5.1.2 Yerel (Terrestrial) Radyasyon

Dünya ve atmosfer tarafından yayılan radyasyondur. Uzun dalga radyasyon olarak adlandırılır 300 K için %99.99'u 3000 nm'den büyük dalga boyundadır. Yerel yüzey radyasyonu, dünya yüzeyi tarafından yayılan radyasyon (E) dir. Atmosferik radyasyon ise atmosfer tarafından yayılan radyasyon (A) dir.

5.1.3 Toplam Radyasyon

Güneş ve yerel radyasyonun toplamıdır. Global radyasyon, kısa dalga radyasyon (300–3000 nm) ve yerile atmosferden yansıyan uzun dalga boyulu radyasyon (300–100.000

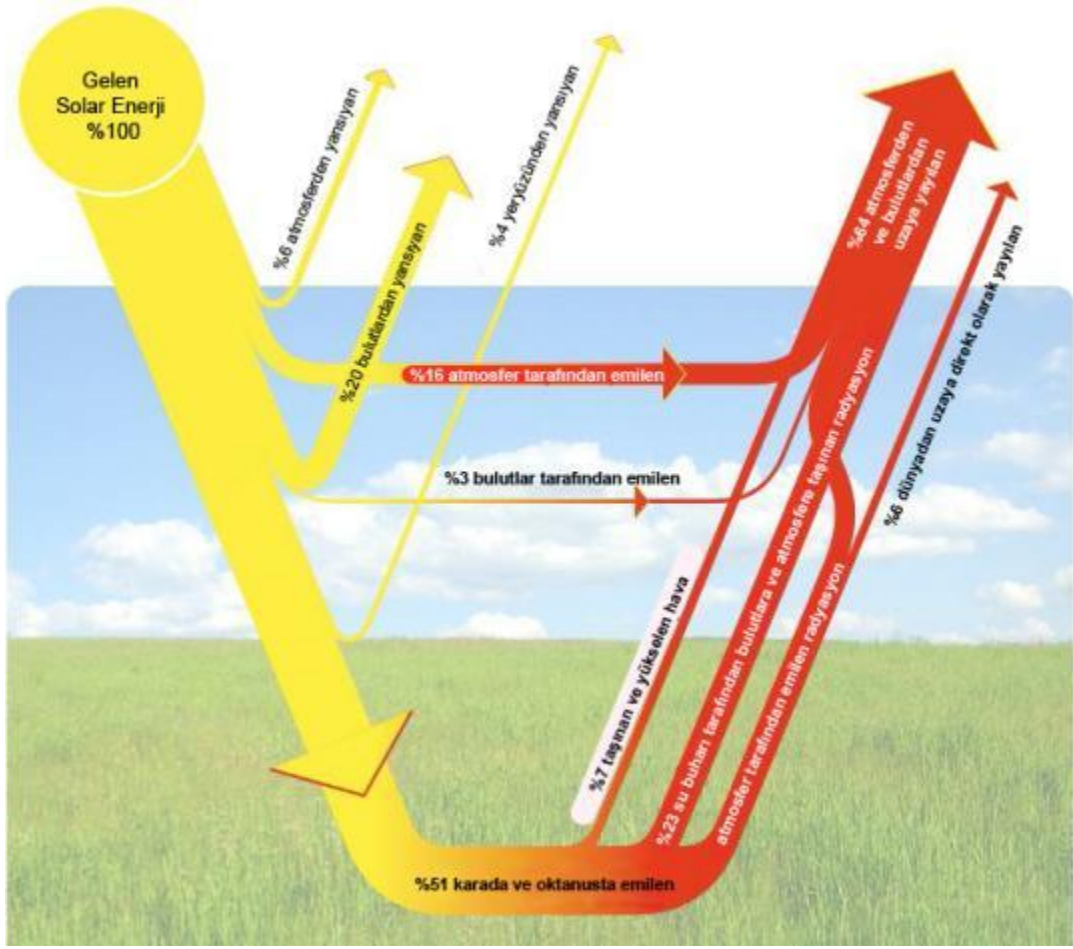
nm) toplamıdır. Pyrradiometre ile ölçülür (Pyrradiometer). Aşağı ve yukarı bakan iki sensör kullanılarak ölçülür. İkisinin toplamı total radyasyonu, farkı ise net radyasyonu verir. Pyrradiometre 300 – 100.000 nm arasında dalga boylu radyasyonu ölçecek özellikte olmalıdır. Kısa dalga radyasyon, güneş tarafından yayılan radyasyondur. Direkt, diffuse ve yansıyan radyasyondan oluşur. Uzun dalga radyasyon ise atmosferden gelen ve yer yüzeyinden giden radyasyondur.

5.1.4 Net Radyasyon

Yer yüzüne gelen radyasyon (aşağı doğrultudaki toplam güneş radyasyonu= S+H+A) ile yer yüzünden giden (yukarı doğrultudaki Radyasyon=R+E) radyasyon arasındaki farktır. Radyasyon dengesi $Q = (S + H - R + A - E)$ dir. Atmosferdeki radyasyon enerjisinin%49'u atmosferde kaybolur. Bu dağılım aşağıdaki gibidir:

- %30 Geri Yansıma
 - -%20 Bulutlar
 - -%4 Yer yüzü
 - -%6 atmosfer
- %16 atmosfer tarafından emilme
 - -Ozon
 - CO₂
 - Su buharı
- %3 Bulutlar tarafından emilme

Geriye kalan %51 ise yer yüzeyi tarafından emilerek ısıya çevrilir.



Şekil 5.1 Güneş radyasyonu dağılımı

5.1.2 Meteorolojik Güneş Ölçümleri

Farklı tipte güneş radyasyonu vardır ve bunlar farklı ölçüm aletleriyle ölçülürler. Global güneş radyasyonu pyranometre ile, direkt güneş radyasyonu pyrliometre ile, diffuse güneş radyasyonu gölge bantlı pyranometre ile, toplam güneş radyasyonu ve net radyasyon Pyrgeometre ve pyranometre ile, güneşlenme süresi ölçümleri helyograf /Güneşlenme Süresi Ölçer ile yapılır.

5.1.2.1 Global Güneş Radyasyonu

Güneşten yatay yüzeye $2\pi'$ lik açıyla gelen radyasyonun toplamıdır. Dalga boyu 300 – 3000 nm (Kısa dalga radyasyon) dur. Aktinometre, aktinograf ve Pyranometre ile ölçülür. Direkt ve diffuse radyasyonun toplamıdır. Diffuse radyasyon bileşenini ayırmak için gölgeleme bandı, disk veya top kullanılır.



Şekil 5.2 Pyranometre

5.1.2.1.1 Pyranometre

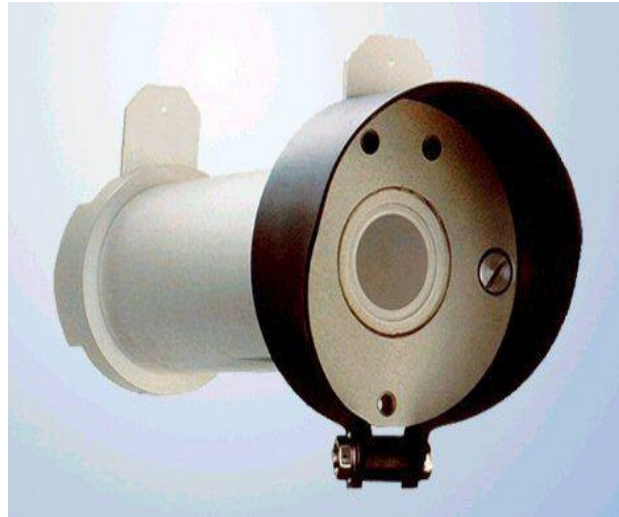
Yatay düzleme gelen global (küresel) radyasyon şiddetini ölçmede kullanılır. Dalga boyu 300 – 3000 nm olan termal radyasyondan voltaj üretir. Sensör güneş radyasyonu şiddetine göre mikro V seviyesinde voltaj üretir. Bu değer Sensör sensivity değerine bölünerek w/m^2 olarak güneş radyasyon şiddeti elde edilir. Direkt ve diffuse radyasyon toplamını ölçer. Diffuse radyasyon bileşenini belirlemek için gölgeleme bandı, disk veya top kullanılır.

5.1.2.2 Direkt Güneş Radyasyonu

Yansıma ve dağılmaya uğramadan yere kadar dik ulaşan güneş radyasyonudur. Pyrheliometre ile ölçülür. Pyrheliometrenin güneşi sürekli dik görmesi gerekir. Güneşi dik takip etmesi için güneş izleyici (sun tracker) kullanılır. Takip açısı $< 5^\circ$ doğrulukla olmalıdır ve bu şekilde w/m^2 olarak direkt güneş radyasyonu ölçülür. Direkt güneş radyasyonun $120 w/m^2$ üzerinde olduğu dakikalar güneşlenme süresi olarak kaydedilir.



Şekil 5.3 Pyrheliometre kurulu şekil



Şekil 5.4 Pyrheliometre sensörü

5.1.2.3 Diffuse Güneş Radyasyonu

Bulutlar, atmosfer gibi ortamlardan geçerken dağılarak yer yüzüne ulaşan güneş radyasyonudur. Dalga Boyu 300 – 3000 nm dir ve global güneş radyasyonundan direkt radyasyonu ayırmak için pyranometre gölge bandı, disk veya top ile kullanılır, gölgeleme elemanı kullanılarak diffuse radyasyon ölçülür.



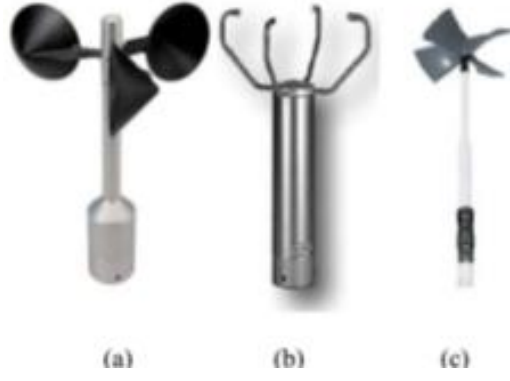
Şekil 5.5 Pyranometre ve gölge bandı

5.2 Rüzgar Hızı Ölçümü

Rüzgâr elektrik santralının projelendirilmesi, santral sahasından üretilebilecek enerji miktarına göre yapılır. Santral sahasından üretilebilecek enerji miktarı da proje sahasından alınan rüzgâr ölçümlerine göre belirlenebilmektedir. Bu nedenle Rüzgâr Enerji Santrallerinin kurulmasının ilk aşaması rüzgâr ölçümüdür. Rüzgâr ölçümleri, projenin veri değerlendirmesi, enerji üretiminin belirlenmesi, türbin seçiminin yapılması gibi projenin ileri aşamalarında en önemli unsurdur. Bu nedenle kaliteli ölçüm yapılmasına özen gösterilmektedir. En az 1 yıl süreyle rüzgâr değerleri kaydedilmektedir. Rüzgâr ölçüm işlemi bittikten sonra da en az bir ölçüm sistemi ölçüme devam ettirilmelidir. Rüzgâr ölçüm sistemlerinde rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, nem ve basınç değişkenlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu değişkenleri ölçmek için ölçüm direğine sensörler monte edilir.

5.2.1 Rüzgar Hızı Sensörü (Anemometre)

Anemometreler rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştüren sensörlerdir. Kepçe, ultrasonik ve propeller anemometre olmak üzere 3 tip anemometre vardır.



Şekil 5.6 Rüzgar hızı sensör tipleri

(a) Kepçe anemometre

(b) Ultrasonik anemometre

(c) Propeller anemometre

Kepçe anemometrede kepçe rotorunun bir dönüşü için geçen süreye göre rüzgâr hızı belirlenir. Ultrasonik anemometrede her bir uçtan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibi ile çalışmaktadır. Propeller anemometrenin çalışma prensibi de kepçe anemometrelerle aynıdır. Bu tip anemometreler rüzgâr yönüne paralel monte edildiğinde yatay rüzgâr hızını, dik monte edildiğinde de dikey rüzgâr hızını ölçerler. Rüzgâr hızı ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan anemometreler kepçe anemometrelerdir [5].

5.3 Meteoroloji İstasyonu

Hesapların yapıldığı verilerin alındığı meteoroloji istasyonu ABD Teksas eyaletindedir. Burada kullanılan meteoroloji istasyonu ve özellikleri aşağıdaki gibidir [6]:



Şekil 5.7 Meteoroloji istasyonu

VERİLERİN DÜZENLENESİ ve ENERJİ DÖNÜŞÜMLERİ

Meteoroloji istasyonundan alınan veriler orijinal şekliyle güç ve enerji dönüşümlerinde kullanılamazlar. Rüzgar hızı ölçüm sensörlerinin yerden yüksekliği ile rüzgar türbininin yerden yüksekliği arasındaki farktan dolayı rüzgar hızları da farklı olmaktadır. Solar radyasyon ölçüm sensörleri (güneş takibi yoksa) yatay yüzeye gelen ışınım şiddetini ölçerler. Fakat güneş panelleri belli bir eğimli açı ile kurulduklarından gerçekte PV yüzeyine gelen ışınım farklı olur. Bu sebeplerden dolayı sıcaklık ve hava yoğunluğu gibi etkenler de hesaba katılarak verilerin tümü düzenlenmiş, güç ve enerji dönüşüm formülasyonları yapılmıştır.

6.1 Rüzgar Verilerinin Düzenlenmesi ve Rüzgar Enerjisi Dönüşümü

Bir yıl boyunca alınan yaklaşık 120000 rüzgar hızı verileri düzenlenmiş ve enerji dönüşümleri yapılmıştır.

6.1.1 Yüksekliğe Göre Verilerin Düzenlenmesi

Texas meteoroloji istasyonundan alınan rüzgar verileri ilk olarak yüksekliğe göre düzenlenmiştir. Çünkü bu sensör 5 metre yüksekliğindedir ve rüzgar türbinleri 30-60 m arasındaki bir kule üzerinde bulunurlar. Rüzgar hızı yerden yükseğe çıktıkça bölgenin fiziki yapısına bağlı olarak artış gösterir. Fiziki şartlara göre sürtünme katsayıları farklıdır ve bu değerler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1 sürtünme katsayısı tespiti tablosu

Yeryüzü Karakteristiği	Sürtünme Katsayısı
Pürüzsüz sert toprak,durgun su	0,10
Toprak seviyesinde uzun çimenli bölge	0,15
Toprak seviyesinin üzerinde daha uzun mahsul	0,20
Kırsal orman alanları, birçok ağaç	0,25
Ağaçlık ufak kasabalar	0,30
Uzun binalarda dolu büyük şehirler	0,40

Tekzas bölgesi kırsal orman alanların ve ufak kasabaların bulunması nedeniyle sürtünme katsayısı 0,25 alınmıştır. Kullanılacak rüzgar türbininin ortalama kule yüksekliği 40 metredir. Bu şartlara göre meteoroloji istasyonundan elde edilen rüzgar verileri düzenlenirse yükseltme katsayısı aşağıdaki gibi olur;

$$\left[\frac{v}{v_0}\right] = \left[\frac{H}{H_0}\right]^\alpha \quad (6.1)$$

Bu işlem yapıldığında her bir rüzgar hızı 1,68 kat artacaktır. Matlab'de 5 dakikalık verilerin hepsi bu katsayıyla çarpılarak kule yüksekliğindeki yaklaşık rüzgar hızı bulunur.

6.1.2 Hava Yoğunluğunun Hesaplanması

Rüzgar hızının enerjiye dönüşmesini etkileyen parametrelerden biri hava yoğunluğudur. Hava yoğunluğu her an değişiklik gösterebilir. Bu parametre sıcaklık ve rakıma bağlı olarak değişir. Bu değişim;

$$\rho(C^\circ, H) = \frac{e^{-1.18575 \times 10^{-4} \times H \times MA \times 10^{-3}}}{R \times T} \quad (6.2)$$

şeklindedir. Burada;

H: Rüzgar Türbininin Bulunduğu Yükseklik[m]

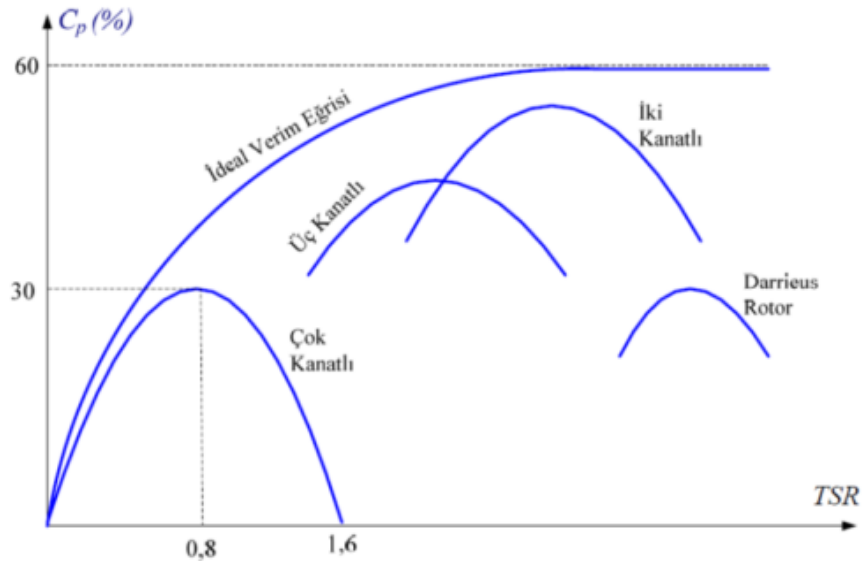
MA: 28.97 [g/mol]

R: $8.2056 \cdot 10^{-5} [m^3 \cdot \frac{atm}{K} \cdot mol]$

T: Sıcaklık[Kelvin]

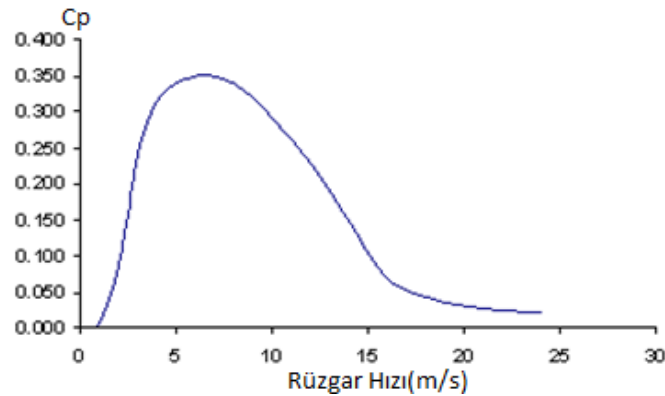
6.1.3 Performans Katsayısı (C_p) ve Rüzgar Hızı Değişimi

Rüzgar türbinleri rüzgardan güç dönüşümü yaparken performans katsayısının değeri oranında çıkış gücü üretirler. Çıkış gücüne oldukça etki eden bu parametre her tipteki ve boyuttaki türbine göre farklılık gösterir. Dolayısıyla bu parametre rüzgar türbinlerinin bir anlam da güç dönüştürme becerileridir. Rüzgar türbinlerindeki kanatların aerodinamik yapısı, kanat açıları, generatör tipleri ve kontrol metotları türbinlerin güç dönüşümüne doğrudan etki eder. C_p değeri rüzgar hızına bağlı olarak bir değişim gösterir. Böylelikle her rüzgar hızında bu değer farklı olur. Buna bağlı olarak TSR, C_p değişimi de farklı tip türbinler için aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Türbin tiplerine göre güç katsayısı ve hız oranı

Burada TSR türbin kanat ucu lineer hızı ile rüzgar hızının oranını simgelemektedir [7].



Şekil 6.2 Rüzgar hızı- C_p değişimi

Grafikten de görüldüğü üzere C_p değeri belli bir optimal değere kadar artmakta daha sonra düşmektedir. Bu çalışmada herhangi bir firmanın vermiş olduğu rüzgar hızı ve C_p değişim tablosu kullanılarak o firmanın belli güç aralığındaki rüzgar türbinlerinin yaklaşık fonksiyonunu bulmak için matlab'de eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. Bu fonksiyon rüzgar hızı güce dönüştürülürken her bir veri için hesaplanıp C_p değerleri bulunmuştur. Böylelikle gerçeğe en yakın şekilde güç dönüşümü yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan üretici firmanın rüzgar türbinlerinin bu değişim tablosu aşağıdaki gibidir [8],[9],[10].

Çizelge 6.2 Belli bir markanın rüzgar hızı- C_p değişim tablosu

Model	E33	E44	E48	E53	E70	E82E2	E82E2	E82E3	E101	E126
Power KW	330	900	800	800	2,300	2,000	2,300	3,000	3,000	7,500
Wind (m/s)	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.	Power Coeff.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0.19	0.1	0.12	0.12	0.12	0.076	0
3	0.35	0.16	0.17	0.39	0.27	0.29	0.29	0.29	0.279	0.263
4	0.4	0.34	0.35	0.44	0.36	0.4	0.4	0.4	0.376	0.352
5	0.45	0.43	0.43	0.46	0.42	0.43	0.43	0.43	0.421	0.423
6	0.47	0.48	0.46	0.48	0.46	0.46	0.46	0.46	0.452	0.453
7	0.5	0.49	0.47	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.469	0.47
8	0.5	0.5	0.48	0.49	0.5	0.49	0.49	0.49	0.478	0.478
9	0.5	0.5	0.5	0.49	0.5	0.5	0.5	0.5	0.478	0.477
10	0.47	0.5	0.5	0.48	0.5	0.49	0.49	0.49	0.477	0.483
11	0.41	0.48	0.45	0.42	0.49	0.42	0.44	0.44	0.439	0.47
12	0.35	0.44	0.39	0.34	0.45	0.35	0.38	0.39	0.358	0.429
13	0.28	0.39	0.32	0.27	0.39	0.29	0.32	0.35	0.283	0.381
14	0.23	0.33	0.27	0.22	0.34	0.23	0.26	0.3	0.227	0.329
15	0.18	0.28	0.22	0.18	0.28	0.19	0.22	0.26	0.184	0.281
16	0.15	0.24	0.18	0.15	0.23	0.15	0.18	0.22	0.152	0.236
17	0.13	0.2	0.15	0.12	0.19	0.13	0.15	0.19	0.127	0.199
18	0.11	0.17	0.13	0.1	0.16	0.11	0.12	0.16	0.107	0.168
19	0.09	0.14	0.11	0.09	0.14	0.09	0.11	0.14	0.091	0.142
20	0.08	0.12	0.09	0.08	0.12	0.08	0.09	0.12	0.078	0.122
21	0.07	0.11	0.08	0.06	0.1	0.07	0.08	0.1	0.067	0.105
22	0.06	0.09	0.07	0.06	0.09	0.06	0.07	0.09	0.058	0.092
23	0.05	0.08	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06	0.08	0.051	0.08
24	0.05	0.07	0.05	0.04	0.07	0.05	0.05	0.07	0.045	0.071
25	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.063

Matlab yardımıyla yukarıdaki tabloda bulunan en küçük güçteki rüzgar türbininin değerleri kullanılarak $C_p=f(V)$ yaklaşık denklemi çıkartılmıştır. Bu durumda denklem

aşağıdaki gibi olmuştur.

$$C_p(v) = 0.0001v^4 - 0.002v^3 + 0.0019v^2 + 0.1495v - 0.2116 \quad (6.3)$$

Bu denklem sayesinde bizim seçtiğimiz firmanın, seçtiğimiz tipteki rüzgar türbininin güç katsayısı herhangi bir rüzgar hızında hesaplanabilmektedir. Farklı güçlerdeki türbin seçeneklerinde farklılık gösteren bu değer bize hesaplarda yaklaşık olarak iyi bir sonuç verebilmektedir. Ancak çok küçük güçteki rüzgar türbinlerinde C_p değeri daha düşük olmaktadır. Büyük güçteki rüzgar türbinleri gücü yakalamada daha başarılıdır. Yapılan bu çalışmada talep edilen enerji büyüklüğü göz önüne alınarak ve bir öngörü yapılarak bu değerdeki bir türbinin karakteristiğini kullanmak uygun görülmüştür. C_p değerinin rüzgar hızına göre değişken değil de sabit bir değer alınması rüzgar türbininin nominal çalışmadaki rüzgar hızları dışındaki hızlarda güç çıkışı hesaplarında büyük hatalara sebep olmaktadır.

6.1.4 Rüzgar Gücü Dönüşümü

Rüzgardan enerji elde ederken bir çok parametre etkili olmaktadır. En önemli ve zorunlu koşul rüzgar hızının büyüklüğüdür. Rüzgar gücü rüzgar hızının küpüyle orantılı bir şekilde arttığından rüzgar hızının kule yüksekliğine göre düzenlenmesi büyük önem taşır. Türbin kanatlarının rüzgarı yakalama verimi C_p , türbin mekanik verimi η_{Mek} ve generatör elektriksel verimi η_{Elk} bir rüzgar türbininin toplam verimini etkileyen parametrelerdir. Rüzgar gücü için tüm parametrelerin ve değişkenlerin eklenmesiyle genel denklem elde edilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \eta_{Mek} \eta_{Elk} \quad (6.4)$$

6.1.4.1 Etkin Rüzgar Gücü Kapasitesi

Meteoroloji istasyonundan 5 dakikada bir alınan rüzgar hızı ve sıcaklık verileri aşağıdaki denklem kullanılarak matlab'de her biri için hesaplanmıştır. Böylelikle birim alana düşen faydalı rüzgar gücü bulunmuştur.

$$Et. R. G. K = \frac{1}{2} \times \frac{e^{-1.18575 \times 10^{-4} \times H \times MA \times 10^{-3}}}{R \times T} \times v^3 \times (0.0001v^4 - 0.002v^3 + 0.0019v^2 + 0.1495v - 0.2116) \times \eta_{Elk} \times \eta_{Mek} \quad (6.5)$$

Burada;

v : Rüzgar hızı [m/s]

H: Rüzgar Türbininin bulunduğu rakım

MA: 28.97 [g/mol]

R: $8.2056 \cdot 10^{-5} [m^3 \cdot \frac{atm}{K} \cdot mol]$

T : Sıcaklık [(Kelvin)]

A: Rotor Alanı (Süpürme Alanı) [m^2]

Rüzgar türbini güç çıkışı aşağıda üretilen denklem yardımıyla bulunur;

$$P_R = Etkin Rüzgar Gücü Kapasitesi(n) \times A \quad (6.6)$$

Burada n 5 dakika aralıklarla alınan veri numarasını ifade etmektedir.

Etkin rüzgar gücü kapasitesi rotor alanı dışında kalan ifadelerin çarpımıdır. Bu değer markası ve tipi seçilmiş bir türbinin verimlerinin de dahil olduğu ve direkt faydalı enerjiye dönüşebilecek bir değerdir. Birimi W/m^2 dir. Bu elde edilen noktada tek bilinmeyen süpürme alanıdır. Bu değer de yapılacak olan optimizasyon sonucunda asıl amaç olan türbin gücünü bulmamızı sağlayacaktır.

6.1.5 Rüzgar Enerjisi Dönüşümü

Birim alana karşılık gelen rüzgar enerjisi rüzgar gücünün devam ettiği süre ile çarpılması sonucunda elde edilir. Her bir rüzgar hızı verisi için 5 dakikalık süre içinde birim alan için üretilen enerji aşağıdaki eşitlikte bulunur.;

$$E_R(n) = Etkin Rüzgar Gücü Kapasitesi(n) \times t_R \quad (6.7)$$

Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgar verileri 5 dakikalık verilerdir. Her bir veri için enerji ifadesi matlab'de matrisel formda hesaplanır. Bir yıl için yaklaşık 110000 veridir ve her bir veri için bu işlem yapılır.

6.2 Güneşlenme(Işınım) Verilerinin Düzenlenmesi

Güneşlenme (ışınım) verilerinin düzenlenmesinde kullanılacak ifadeler ve formüller konunun daha iyi anlaşılması için açıklanma gereği duyulmuştur.

6.2.1 Güneş Işığı Geliş Açılarının Tanımlamaları ve Formülleri

Güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Bu açılar hakkında bilgi edinilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir.

6.2.2 Tanımlamalar

Güneş ışınımının geliş açılarını ifade ederken bir çok açı türünden yararlanılmaktadır.

6.2.2.1 Yükseklik açısı (α)

Güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır.

6.2.2.2 Güneş azimut açısı (β)

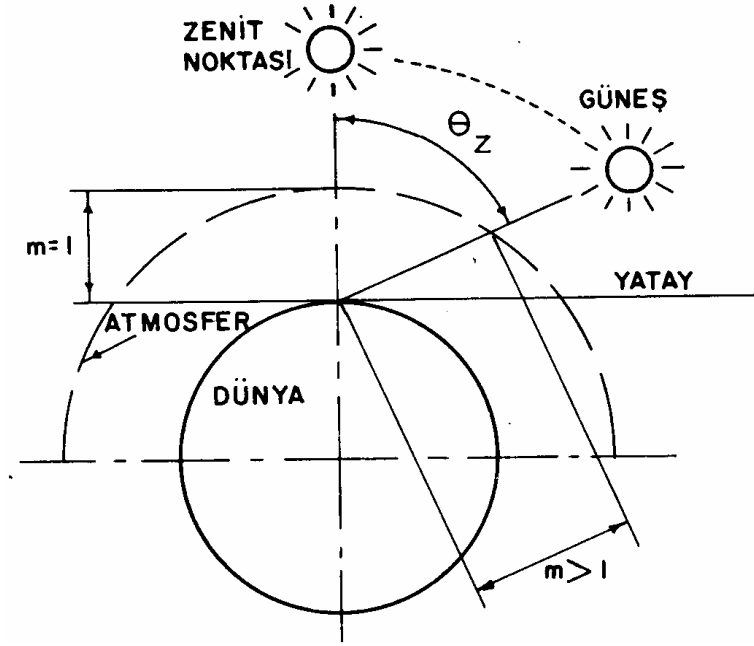
Güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. Örneğin saat 12.00 de 180° dir.

6.2.2.3 Yüzey azimut açısı (γ)

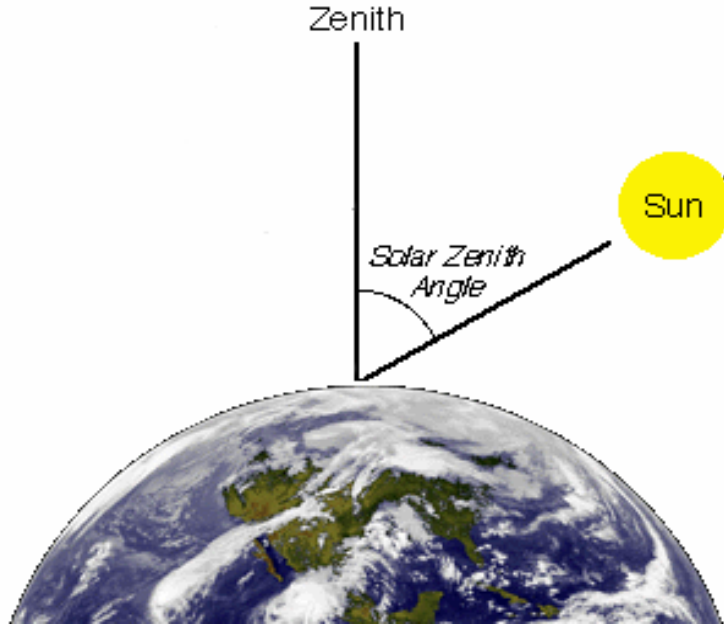
Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. 180° ile -180° arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde ise eksi değer alır.

6.2.2.4 Deklinasyon açısı (δ)

Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi yaptığı açıdır. Kuzey yarım küre için artı değerlidir. Deklinasyon açısı $-23,45^\circ$ (21 Aralık kış gündönümünde) ile $+23,45^\circ$ (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur. 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere;



Şekil 6.5 Güneş geliş açısı 3



Şekil 6.6 Güneş geliş açısı 4

6.2.2.5 Geliş açısı (θ)

Eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır.

6.2.2.6 Hava kütlesi (m)

Işın radyasyonun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır.

6.2.2.7 Zenit açısı (θ_z)

Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açıdır.

$$m = 1 / \cos \theta_z \quad (6.9)$$

6.2.2.8 Enlem açısı (Φ)

Ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Enlem kuzey yarım küre için artı değerli olup -90° ile 90° arasında değişir.

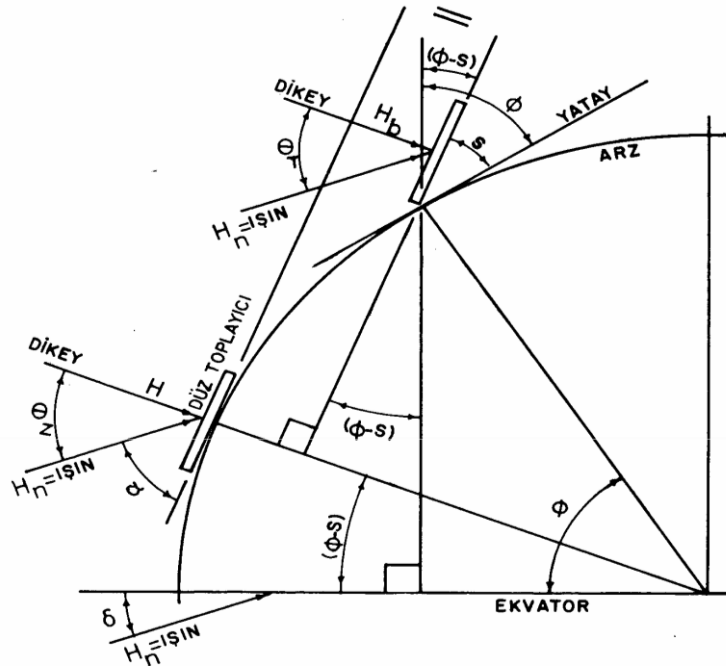
6.2.2.9 Saat açısı (w)

Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden evvel açı artı ve öğleden sonra eksi değer alır. Örneğin saat 10.00 için açı $+ 30^\circ$ ve saat 15.00 için $- 45^\circ$ olur.

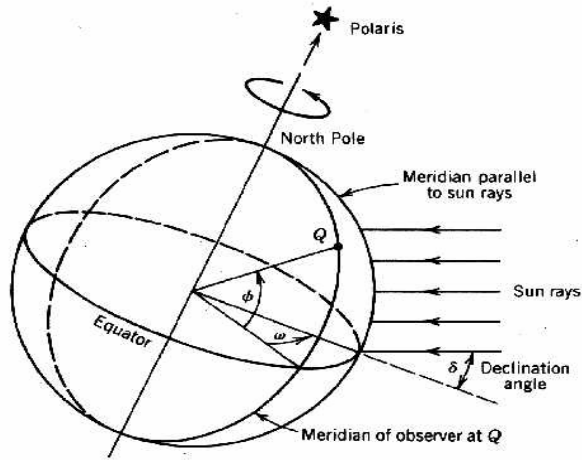
6.2.2.10 Eğim açısı (S)

Yatay yüzey ile eğik yüzey arasında kalan açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır.

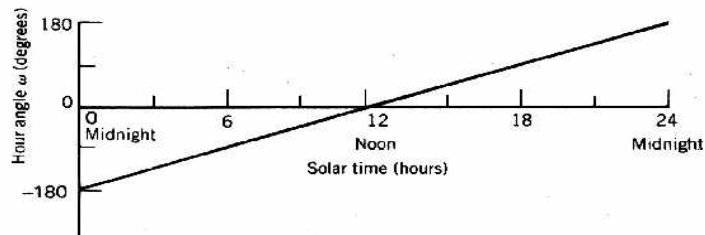
6.2.2.11 Açıların İlişkisi



Şekil 6.7 Güneş geliş açısı 5

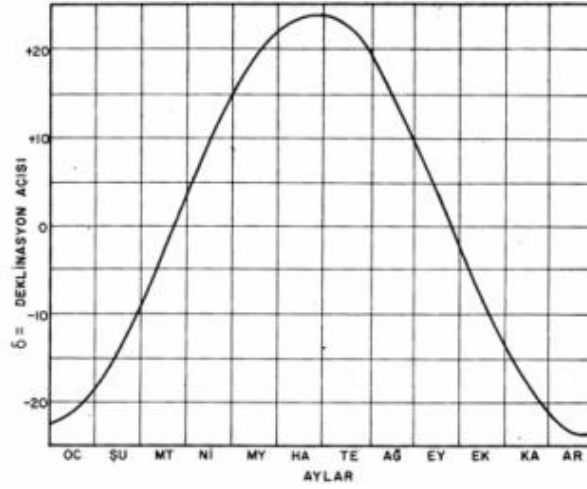


Variation of the hour angle



Şekil 6.8 Güneş geliş açısı 6

6.2.2.12 Deklinasyon Açısı



Şekil 6.9 Deklinasyon grafiği

6.2.2.13 Genel Açılı İfadesi

Geliş açısı (θ) için geliştirilen genel ifade;

$$\cos\theta = \sin\delta \times \sin\Phi \times \cos S - \sin\delta \times \cos\Phi \times \sin S \times \cos\gamma + \cos\delta \times \cos\Phi \times \cos S \times \cos w + \cos\delta \times \sin\Phi \times \sin S \times \cos\gamma \times \cos w + \cos\delta \times \sin S \times \sin\gamma \times \sin w \quad (6.10)$$

6.2.2.14 Bazı Açılı İfadeleri

Yatay yüzey için verilen denklem aşağıdaki gibidir:

$$\cos\theta_z = \sin\Phi \times \sin\delta + \cos\delta \times \cos\Phi \times \cos w \quad (6.11)$$

Güneye bakan eğik yüzey için verilen eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$\cos\theta_T = \sin\delta \times \sin\Phi \times \cos S - \sin\delta \times \cos\Phi \times \sin S + \cos\delta \times \cos\Phi \times \cos S \times \cos w + \cos\delta \times \sin\Phi \times \sin S \times \cos w \quad (6.12)$$

Güneye bakan dik yüzey için denklem aşağıda verilmiştir:

$$\cos\theta = -\sin\delta \times \cos\Phi + \cos\delta \times \sin\Phi \times \cos w \quad (6.13)$$

6.2.3 PV Panelin Eğik Yüzeyine Gelen Işınım Şiddeti

Pyranometre solar radyasyon ölçüm cihazları yatay yüzeye gelen toplam radyasyonu ölçerler. Fakat PV paneller belli bir açı ile yerleştirildiklerinden gerçekte bu eğik yüzeye gelecek olan ışınım farklıdır. Kuzey yarımküre için konuşursak yatay yüzeye haziran ayında maksimum ışınım gelir. Eğer paneller 30 derece gibi bir eğime ayarlanırsa bu eğik yüzeye gelen ışınım ölçülen değerden daha az olur. Aralık ayında yatay yüzeye gelen ışınım minimumdur. Eğik yüzeye gelen ışınım bu durumda ölçülen değerden daha fazla olur. Işınım ölçüm verilerinin direkt olarak hesaplarda kullanılması durumunda yanlış sonuçlara sebebiyet verir. Dolayısıyla 1 yıllık verilerin hepsi o günkü planlanan eğimli yüzeye göre hesaplanır ve o şekilde değerlendirmeye alınır. Panellerin optimum açıları aylara ve sezona göre farklılık gösterir. Sezona göre optimum açılar bölgenin enlemi cinsinden aşağıdaki gibidir:

$$-\beta = L + 20 \quad \text{Kış sezonu boyunca}$$

$$-\beta = L \quad \text{İlkbahar ve sonbaha sezonu boyunca}$$

$$-\beta = L - 10 \quad \text{Yaz sezonu boyunca}$$

Yatay yüzeydeki solar radyasyon değerini eğik düzlemdeki değere dönüştürmek için bazı matematik modeller geliştirilmiştir. Eğik yüzeye gelen solar radyasyon G_T ve yatay yüzeyde ölçülen solar radyasyon G_H olmak üzere bu model aşağıdaki gibidir:

$$G_T = G_b \times \cos(i) + G_d \times \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + G_H \times \rho_r \times \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (6.14)$$

Burada ρ_r yansımaya katsayısı, G_b ise PV panel üzerinde toplanan beam radyasyon olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Eğer } 0.3 \leq K_H \leq 0.85 \text{ ise; } G_b = 1800 \times K_H - 520$$

Bunun dışındaki bir durumda ise;

$$G_b = 0 \text{ olur.}$$

Buradaki K_H değeri aşağıdaki formülle bulunur:

$$K_H = (G_H/G_{H0}) \quad (6.15)$$

Buradaki G_{H0} ise aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$G_{H0} = 1353 \times [1 + 0.034 \times \cos\left(N \times \frac{360}{365}\right)] \times \sin(\alpha) \quad (6.16)$$

Yükseklik açısı α aşağıdaki yol izlenerek bulunur:

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\delta_s) \times \sin(L) + \cos(\delta_s) \times \cos(L) \times \cos(H_s)] \quad (6.17)$$

Buradaki δ_s deklinasyon açısı ve H_s saat açısıdır. Deklinasyon formülü daha önce verilmiş olup saat açısı aşağıdaki gibidir:

$$H_s = 15 \times (t_s - 12) \quad (6.18)$$

t_s değeri ulusal saat dilimindeki solar saattir.

İlk eşitlikteki i değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$i = \cos^{-1}[\cos(a_s - a_w) \times \cos(\alpha) \times \sin(\beta) + \cos(\beta) \times \sin(\alpha)] \quad (6.19)$$

Buradaki a_s azimut açısı olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$a_s = \sin^{-1}\left[-1 \times \frac{\sin(H_s) \times \cos(\delta_s)}{\cos(\alpha)}\right] \quad (6.20)$$

İlk eşitlikteki yayılan radyasyon G_d değerinin ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$G_d = G_H - G_b \times \sin(\alpha) \quad (6.21)$$

Yukarıda bahsedilen formüller kullanılarak bir yıl boyunca alınan veriler, enlem $L=30$, panel tilt açısı $\beta=30$ ve yansıma katsayısı $\rho_r=0.1$ alınarak matlab'de yeniden düzenlenmiştir[11]. Bu işlemler sonucunda başlangıç verileri ve düzenlenmiş veriler arasındaki fark aşağıdaki tabloda örneklenmiştir:

Çizelge 6.3 Yaz Aylarına Ait Örnek Işınım Şiddeti Verileri

Veri (W/m^2)	Düzenlenmiş Veri (W/m^2)
892	826
911	844
901	834
891	825
886	821
900	833
813	753
894	828
771	715
210.3	196
621.2	576
720.8	668
428.3	399
973	901
767.7	711
853	790
471.4	438
451	420
948	878
871	807

Çizelge 6.4 Sonbahar Aylarına Ait Düzenlenmiş Örnek Işınım Şiddeti Verileri

Orjinal Veri (W/m^2)	Düzenlenmiş Veri (W/m^2)
825	995
823	995
824	994
822	991
816	983
816	983
810	975
807	970
803	965
799.5	960
793.7	952
789.5	946
787.2	943
783.5	938
778.8	932
770.2	920
763.8	911
756.2	879
748.6	879
740.2	879

Yukarıdaki tablolarda yaz aylarında alınan veri örnekleri ile bunların düzenlenmiş hali arasındaki fark ve sonbahar aylarında alınan veri örnekleri ile düzenlenmiş hali arasındaki fark gözükmemektedir. Sonbahar aylarına ait verilerin düzenlenmesi sonucunda panel yüzeyine düşecek radyasyonun arttığı görülmektedir. Yaz aylarında ise bu durum tam tersi olmakta ve panel yüzeyine gelecek olan ışınlama azalmaktadır. Bu da orijinal verilerin kullanılması halinde optimizasyon sonuçlarının hatalı çıkacağını göstermektedir. Bu şekilde doğruluk oranı oldukça artmaktadır.

6.2.4 Sıcaklık Etkisi

PV hücrelerin çıkış gücünde önemli etkenlerden biri sıcaklıktır. Nominal çalışma sıcaklığının üstüne çıktıkça PV modüllerin gerilimi düşmektedir. Böylelikle panellerin çıkış gücünde azalma olmaktadır. Nominal çalışma sıcaklığının altına inildiğinde ise çıkış gücü artmaya başlamaktadır. Sıcaklığa bağlı çıkış gücü aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$P = P_0 \times \{1 + [(\alpha - \beta) \times \Delta T]\} \quad (6.22)$$

Sıcaklığa bağlı verim ifadesi düzenlenirse;

$$\eta_{sıcaklık} = \frac{P}{P_0} = \{1 + [(\alpha - \beta) \times \Delta T]\} \quad (6.23)$$

Burada;

P_0 : Panel Nominal Gücü

α : Akım sıcaklık katsayısı

β : Gerilim sıcaklık katsayısı

ΔT : Nominal çalışma sıcaklığı ile çalışma sıcaklığı farkı

Hücre içerisinde oluşan sıcaklık güneş radyasyonuna ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Bu ifadeye ait denklem aşağıdaki gibidir:

$$T_{hücre} = T_{ortam} + \left(\frac{T_{nom}-20}{800} \right) \times G \quad (6.24)$$

Burada;

T_{ortam} : Ortam Sıcaklığı

T_{nom} : Nominal Çalışma Sıcaklığı

G : Işınım Radyasyon Değeri

6.2.5 Etkin Işınım Gücü Kapasitesi

Meteoroloji istasyonundan alınan 5 dakikalık sıcaklık verileri ve düzenlenmiş radyasyon verileri matlab'de her bir veri için denklemlerde yerine konularak sıcaklıktan kaynaklanan verim değişimi bulunur ve güneşlenme şiddetinden ışınım gücü kapasitesinin bulunmasına kullanılır.

$$Etkin Işınım Gücü Kapasitesi(n) = G_{Düzenlenmiş} \times \eta_{sıcaklık} \times \eta_{PV} \quad (6.24)$$

Burada η_{PV} güneş panelinin ışınım şiddetinin güç çıkış verimidir. Bu çalışmada bu değer 0.16 olarak alınmıştır. $1000 W/m^2$ değerindeki ışınım gücü bu verim için $160 W/m^2$ değerinde çıkış gücü verir. Bu durumda güneş panelinin faydalı güç çıkışı aşağıdaki gibi yazılır;

$$P_G = Etkin Işınım Gücü Kapasitesi(n) \times A \quad (6.25)$$

6.2.6 Işınım Şiddeti Güneş Enerjisi Dönüşümü

Etkin ışınım şiddeti W/m^2 olarak ifade edilmektedir. Bu ifadenin zamanla çarpımı bize metrekare başına düşen enerjiyi verecektir. Meteoroloji istasyonundan alınan veriler 5 dakikalık olduğundan her bir veri 1/12 saat ile çarpılarak 5 dakikalık enerjiler bulunur.

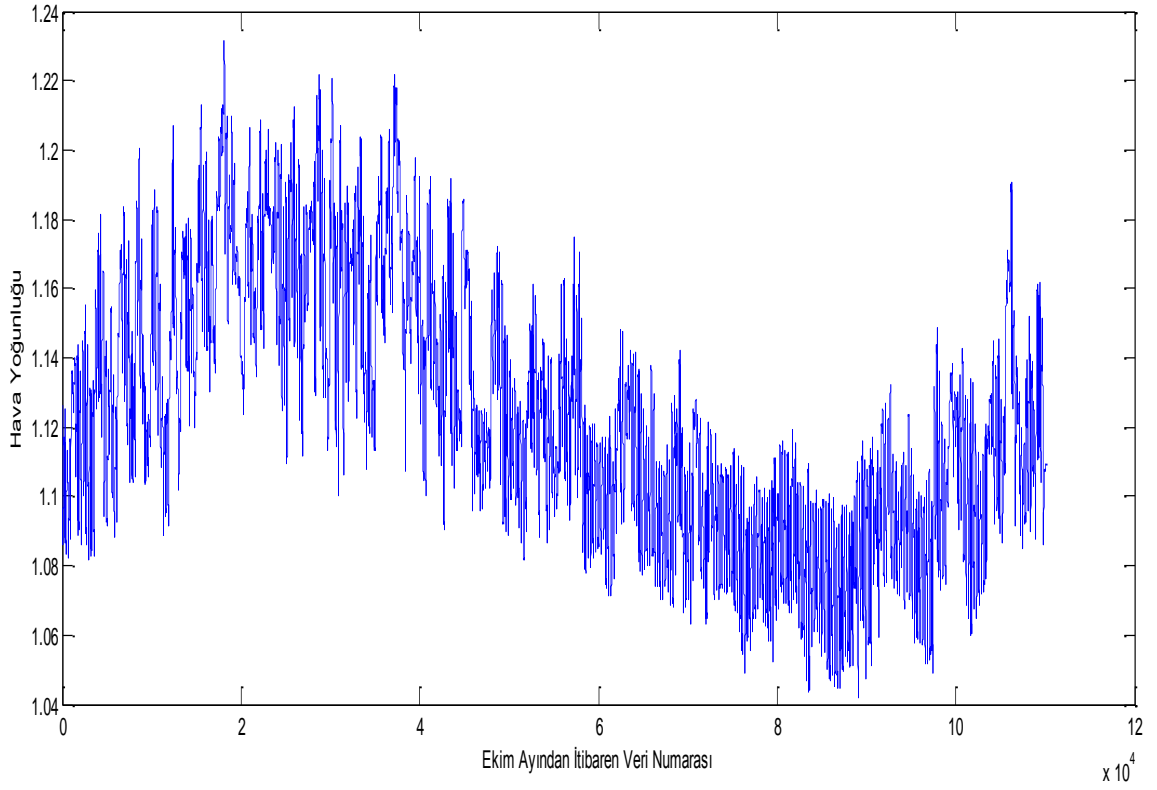
$$E_G(n) = Etkin Işınım Gücü Kapasitesi(n) \times t_G \quad (6.26)$$

Tüm veriler için yapılan bu hesaplar günlük ve aylık toplanarak optimizasyonda kullanılacak değerler bulunur.

BÖLÜM 7

DÜZENLENMİŞ VERİLER İLE BÖLGENİN GÜNEŞ ENERJİSİ VE RÜZGAR ENERJİSİ KAPASİTESİ

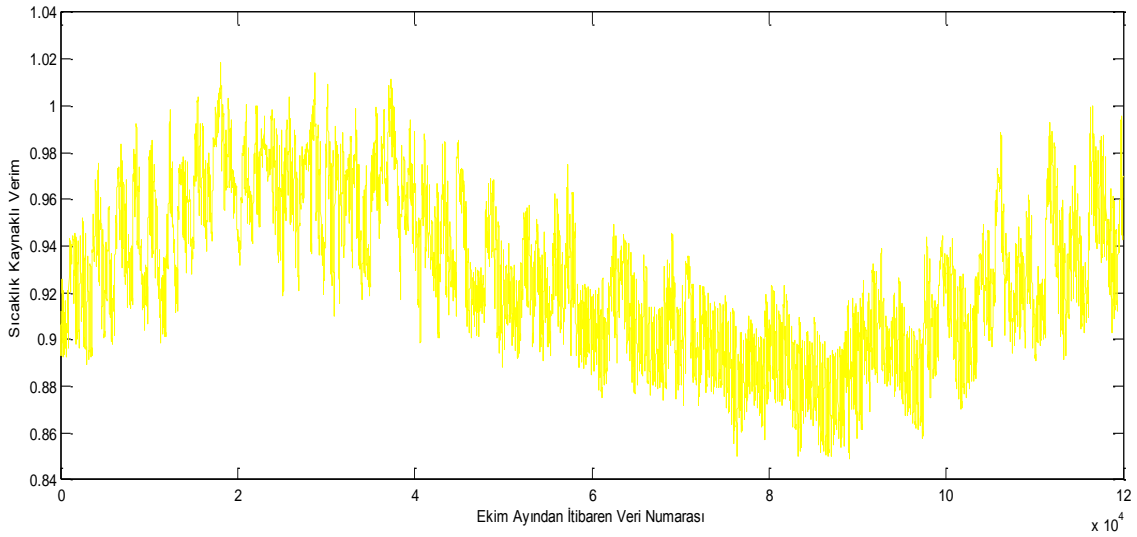
Meteoroloji istasyonundan alınan güneşlenme ve rüzgar verileri düzenlenerek bölgenin rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi kapasitesi bulunmuştur. 5 dakikada bir alınan ışınlama şiddeti, rüzgar hızı ve sıcaklık verilerinin her biri matlab’de gerekli eşitlikler kullanılarak enerji dönüşümünü sağlayacak duruma getirilmiştir. Alınan rüzgar hızı verileri mil/saniye cinsinden olduğundan önce bu veriler m/s cinsine dönüştürülmüştür. Bölgenin arazi ve yerleşim yapısı göz önünde bulundurularak, kullanılması yaklaşık olarak tahmin edilebilen rüzgar türbin kule yüksekliğine göre bu rüzgar hızı verileri düzeltilmiştir. Düzeltilen rüzgar hızı verileri etkin rüzgar gücü kapasitesi ile ifade edilen eşitlikte yerine konularak bulunmuştur. Bu denklemde yer alan ve bölgenin sıcaklığına ve rakımına göre değişim gösteren hava yoğunluğu ifadesi her bir rüzgar verisinin alındığı andaki sıcaklık verisi kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu şekilde her rüzgar hızında farklı hava yoğunluğu değeri ile işlem yapılmış ve anlık güç değerini bulmadaki hata azaltılmıştır. Bir yıl için hava yoğunluğunun değişimi aşağıdaki gibi verilmiştir:



Şekil 7.1 Hava yoğunluğunun ekim ayından itibaren bir yıllık değişimi

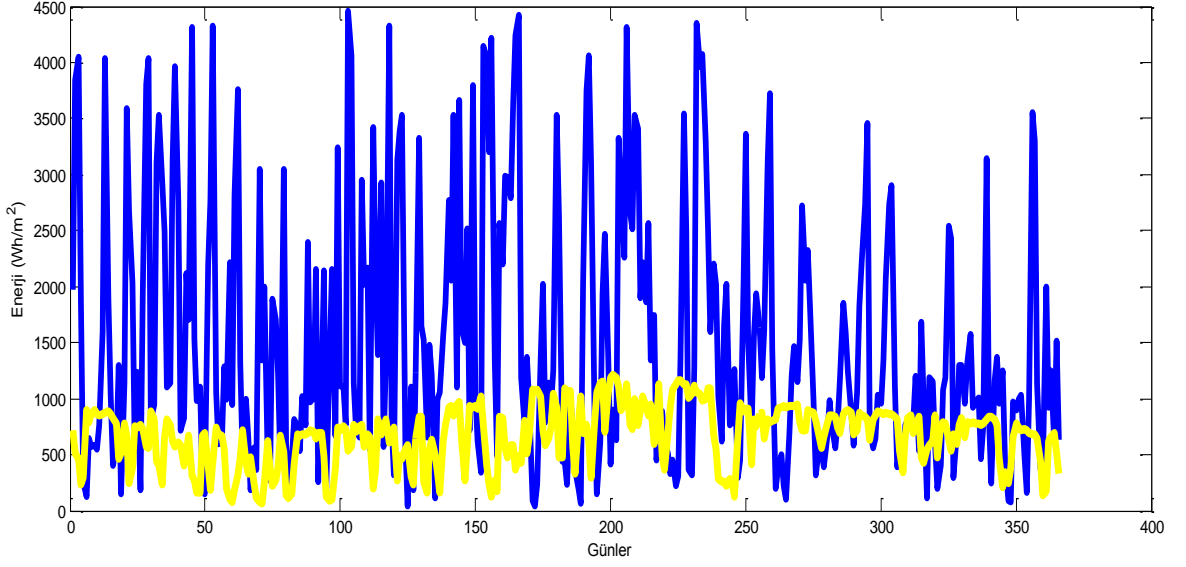
Meteoroloji istasyonu verileri ekim ayından başlayarak 1 yıl boyunca aldığından dolayı grafik ekim ayından itibaren 1 yıllık periyodu göstermektedir. Grafik incelendiğinde kış aylarında hava yoğunluğu değeri en yüksek olmaktadır. Kış aylarında en yüksek değer 1.23 kg/m^3 olmaktadır. Yaz aylarında en düşük olan bu değer 1.04 kg/m^3 olmaktadır. Bu durumdan anlaşılacağı üzere aynı rüzgar hızı değerinde farklı güçlerde üretim yapılacaktır. Yaz aylarıyla kış ayları kıyaslandığında aynı rüzgar hızında % 20'ye varan güç farkları olmaktadır. Eğer hava yoğunluğu sabit bir değer alınıp işlem yapılırsa yıllık toplam enerji de fazla olmasa bile ayrı ayrı mevsimlere bakıldığında oldukça farklı sonuçlar oluşmaktadır. Hatta hava yoğunluğu gün içinde bile farklı değerler alabildiğinden aynı rüzgar hızında farklı güçler oluşabilmektedir. Etkin rüzgar gücü kapasitesi bulunurken her bir rüzgar hızının güç dönüşümünde türbin güç yakalama becerisi de hesaba katılmıştır. Böylelikle her bir rüzgar hızı için C_p değeri hesaplanmış ve faydalı enerjiye dönüşebilecek kısmı bulunmuştur. Etkin güneş enerjisi kapasitesi hesaplanırken eğik yüzey alanına göre yeniden düzenlenmiş ışınım şiddeti kullanılmıştır. Ortalama bir monokristal türde panelin verimi üzerinden hesaplanarak

bu ışınım şiddetinin ne kadarlık bir güce dönüşeceği bulunmuştur. Ayrıca sıcaklıktan kaynaklanan verim değişimleri, her bir ışınım verisinin alındığı andaki sıcaklık değerinin etkisi hesaba katılarak bulunmuştur. Böylelikle aynı radyasyon değerine rağmen ortam sıcaklıkları farklı olduğundan üretilecek güç değeri de farklı olmaktadır. Panellerin nominal çalışma sıcaklığının üstüne çıktığı anlarda güç verimi düşmekte, altına indiği anlarda artış göstermektedir. Buna ek olarak radyasyon değerinin artması üretimin artmasına rağmen havanın sıcak olduğu zamanlarda modülün daha fazla ısınmasına sebep vermekte ve verimde düşüş yaşatmaktadır. Buna göre sıcaklıktan kaynaklı verim değişim yıllık aşağıdaki gibi gösterilmiştir:



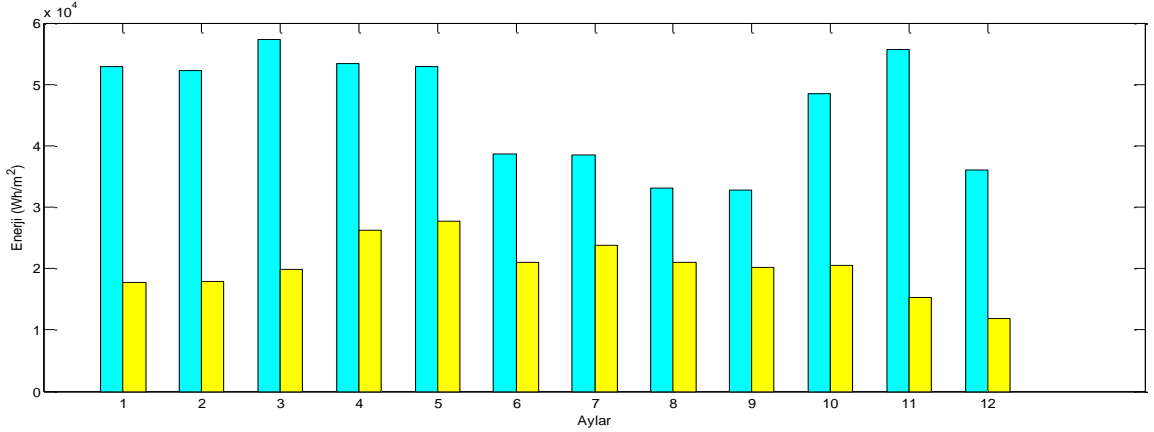
Şekil 7.2 Panellerde sıcaklığa bağlı verimin ekim ayından itibaren bir yıllık değişimi

Grafikte gösterildiği gibi yaz aylarında verim 0.85'e kadar düşmekte kış aylarında ise ortalama 0.98 hatta bazı anlarda 1.02'ye ulaşmaktadır. Buradan kış aylarında panellerin daha verimli çalıştığı ancak yaz aylarda verimin oldukça düştüğü gözlenmektedir. Daha sonra bu verimlerde hesaba katılarak ve 1/12 saat ile her biri çarpılarak 5 dakika içerisindeki faydalanılabilir enerji kapasitesi bulunmuş olur. Günlük toplanan rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi kapasitesi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir:



Şekil 7.3 Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi yıllık değişimi

Metrekare başına düşen etkin güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gösterilmektedir. Birim alana düşen bu enerjiler optimizasyon sonucunda her bir üretim kaynağından ne kadar alan kullanılacağını bulmamızı sağlayan verilerdir. Kullanılacak olan alan miktarıyla hangi kaynaktan ne kadar faydalanacağı belirlenecektir. Aşağıda bu enerji kaynaklarının aylık değişimleri gösterilmiştir:



Şekil 7.4 Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi aylık görünümü

Yukarıdaki grafiğe bakıldığında bölgenin etkin rüzgar enerjisi kapasitesinin genel olarak iyi bir seviyede olduğu görülmektedir. Karşılaştırılacak olursa aralık, ocak, mart, nisan, mayıs aylarında rüzgar enerjisinin yüksek seviyede iken, haziran, temmuz, ağustos, eylül ve aralık aylarında daha düşük olduğu görülmektedir. Etkin güneş enerjisi

kapasitesi kasım, aralık, ocak, şubat, mart aylarında düşük seviyede iken nisan, mayıs ve temmuz ayında en yüksek seviyededir. Hibrit enerji üretimi açısından bakıldığında rüzgar enerjisinin düşük olduğu günlerde ve aylarda güneş enerjisinin yüksek olması yada güneş enerjisinin düşük olduğu günlerde ve aylarda rüzgar enerjisinin yüksek olması istenilen bir durumdur. Çünkü böyle bir durumda ihtiyaç duyulan enerji en az bir kaynakla sağlanmış olur. Bu şekilde bakıldığında en olumsuz şartların gözlem yapıldığı o yıl için aralık ayında oluştuğu görülmektedir. Fakat doğa olayları bu her zaman aynı şekilde ilerlemeyeceği için bu şartlar gelecek yıllarda başka aylarda daha iyi yada daha kötü olabilir.

PV, RÜZGAR TÜRBİNİ ve BATARYA OPTİMİZASYONU

Şebekeden bağımsız olarak çalışacak hibrit bir sistemde rüzgar enerjisinden ve güneş enerjisinden ne kadar faydalanılacağı bölgelerin iklim özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Enerji talebini karşılayabilmek ve enerji kesintisini en aza indirebilmek için kurulacak olan sistemdeki PV boyutu, rüzgar türbin boyutu ve batarya boyutu dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır. PV, rüzgar türbini ve batarya boyutlandırılması en az enerji kesintisi ve en az maliyet oluşturacak biçimde hesaplanması gerekmektedir [12].

Hibrit sistemin tasarımını yaparken ilk ve zorunlu koşul enerji talebinin karşılanmasıdır. Bunun için ilk olarak her bir günün enerji talebinin rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi ile karşılanması gerekmektedir. Bunun tam olarak sağlanamadığı günlerde eksik kalan enerjinin bataryalardan sağlanması gereklidir. Rüzgar enerjisinin ve güneş enerjisinin günlük enerji talebini karşılaması ve fazla enerjinin de bataryalara aktarılması gerekmektedir. Bu şekilde düşünülerek 1 yıllık süreçte 365 günün bu koşulları sağlanması gereklidir. Böylelikle her bir gün için eşitsizlik denklemleri yazılarak 365 adet eşitsizlik yazılmıştır. Buradaki mantık şudur ki rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve bataryadaki enerji günlük enerji ihtiyacından büyük olmalıdır. Aşağıda gösterilen eşitsizliklerde n gün numarası olmak üzere $E_R(n)$ her bir günün metrekare başına düşen rüzgar enerjisidir. $E_G(n)$ ise her bir günün metrekare başına düşen güneş (ışınım) enerjisidir. E_B , bataryanın depolama kapasitesidir ve birimi Wh dir. A_R rüzgar türbini rotor alanı olup A_G , güneş paneli yüzey alanıdır. Bir yıldaki her bir gün için aşağıdaki eşitsizlik sistemi yazılmıştır;

$$\begin{aligned}
E_R(1) \times A_R + E_G(1) \times A_G + E_B &\geq E_{Günlük} \\
E_R(2) \times A_R + E_G(2) \times A_G + E_B &\geq E_{Günlük} \\
E_R(3) \times A_R + E_G(3) \times A_G + E_B &\geq E_{Günlük} \\
E_R(4) \times A_R + E_G(4) \times A_G + E_B &\geq E_{Günlük} \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
E_R(365) \times A_R + E_G(365) \times A_G + E_B &\geq E_{Günlük} \quad (8.1)
\end{aligned}$$

Tüm bu sınır eşitsizlikleri optimizasyon için yeterli değildir. Bunun sebebi üretim olmadan sadece batarya kapasitesi yüksek alınarak bu eşitsizliğin sağlanmasıdır. Bu da hiçbir üretim olmadan eşitsizliğin sağlanması demektir. Sadece bunun gibi değil buna benzeyen gerçekçi olmayan sonuçlara sebebiyet vermektedir. Bunu engellemek için sadece üretim kaynaklarının bulunduğu eşitsizlik denklemleri yazılmıştır. Burada her bir ayda elde edilen güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi miktarının bir aylık enerji talebini karşılaması gerektiği düşünülmüştür. Böylelikle üretilen enerjinin bir yıl boyunca aylık ve günlük olarak enerji talebinin karşılayıp karşılamadığının kontrolü yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
E_R(1) \times A_R + E_G(1) \times A_G &\geq E_{Aylık} \\
E_R(2) \times A_R + E_G(2) \times A_G &\geq E_{Aylık} \\
E_R(3) \times A_R + E_G(3) \times A_G &\geq E_{Aylık} \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
\cdot &\quad \cdot \\
E_R(12) \times A_R + E_G(12) \times A_G &\geq E_{Aylık} \quad (8.2)
\end{aligned}$$

Tüm sınır şartları sağlayan rüzgar türbini rotor alanı, güneş panel alanı ve batarya kapasitesinin en az maliyetle yapılması koşuluyla en optimum çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için aşağıdaki maliyet fonksiyonu yazılmıştır:

$$f_{min}(A_R, A_G, E_B) = M_R \times A_R + M_G \times A_G + M_B \times E_B \quad (8.3)$$

Burada M_R birim rotor alanına düşen yaklaşık maliyeti, M_G birim panel alanına karşılık gelen yaklaşık maliyeti M_B ise her bir Wh enerji kapasitesine karşılık gelen yaklaşık maliyeti simgelemektedir[13],[14],[15],[16],[17],[18],[19]. Tüm sınır şartlarının sağlandığı ve en az maliyetle kurulabilecek olan sistemin optimum çözümü matlab'de lineer programlama (linprog) yardımıyla bulunmuştur ve sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 8.1 Optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları				
Günlük Enerji Talebi (KWH)	Rüzgar Türbini Rotor Alanı (m^2)	Güneş Paneli Yüzey Alanı (m^2)	Batarya Enerji Kapasitesi (KWH)	Toplam Yaklaşık Maliyet
500	330	250	414	495620

Türbin, PV ve batarya boyutları enerji talebinin değiştirilme oranıyla aynı oranda değiştikleri görülmektedir. Ancak enerji talebi büyüdükçe seçilmiş olan rüzgar türbin markası ve özelliklerinde çok az da olsa değişiklikler olduğundan asıl planlanan enerji talebi olan 500 kwh'den uzaklaşıldıkça sonuçlarda ufak da olsa hatalar oluşabilmektedir. Bunun sebebi rüzgar türbinlerinin boyutlarının ve markalarının verimliliklere etki etmesidir. Bir yıl boyunca her bir gün için enerji talebinin tabiatın kaynaklarıyla karşılanacak olması her yıl bu talebe aynı şekilde cevap verebileceğinin garantisini vermez. Yapılacak üretim ileriki yıllarda talepten az da olabilir, talepten çok fazla da olabilir. Bir enterkonnekte şebekede bile bir yıl içerisinde oldukça kesinti olmaktadır. Bu nedenle enerji talebinin kritik günlerde tamamen karşılanması şart değildir. Optimizasyon sonuçlarından anlaşılacağı üzere gerekli olan batarya kapasitesi oldukça fazladır. Bu da oldukça yüksek ve gereksiz bir maliyete sebep olmaktadır. Çünkü enerjinin hiç kesilmemesi gibi bir durum beslenen yerin normal konut ihtiyacı

düşüş göstermiştir. Güneş panel alanında ise biraz artma gözlenmiştir. Rüzgar türbin rotor alanı çok az miktarda bir düşüğe uğramıştır. Batarya kapasitesinin bu denli azalması maliyetin oldukça azalmasını sağlamıştır. Böylelikle akıllı şebeke mantığındaki bir hibrit sistemde optimizasyon sonucu aşağıdaki gibi olmuştur:

Çizelge 8.2 Talebin düzenlenmesi ile yapılan yeni optimizasyon sonuçları

Talebin Düzenlenmesi ile Yeni Optimizasyon Sonuçları				
Günlük Enerji Talebi (KWH)	Rüzgar Türbini Rotor Alanı (m^2)	Güneş Paneli Yüzey Alanı (m^2)	Batarya Enerji Kapasitesi (KWH)	Toplam Yaklaşık Maliyet
500	320	280	147	353820

Bu şekilde yapılmış bir tasarım doğanın getireceği şartlara göre değişiklik göstereceğinden her yıl aynı sonuçları vermeyeceği aşikardır. Güvenilirlik ve mali açıdan bölgenin isteklerine göre akü kapasitesi daha yüksek seçilebilir. Optimizasyon sonucunda ortaya çıkan değer minimum olduğundan güvenilirlik ve mali açıdan bölgenin isteklerine göre akü kapasitesi daha yüksek seçilebilir.

Optimizasyon sonucunda bulunan türbin rotor alanı ve güneş panel alanı kullanılarak türbin gücü ve PV gücü kolaylıkla bulunabilir. Rüzgar türbin güç çıkışı aşağıdaki denkleme yerine konularak bulunur.

$$P_{Rüzgar\ Türbini} = \frac{1}{2} \times \rho \times A_R \times v_{Nominal}^3 \times C_{P\ Nominal} \times \eta_{Elk-Mek} \quad (8.5)$$

Burada;

ρ : $1.225\ kg/m^3$ (Genelde sabit olarak kullanılan hava yoğunluğu)

$C_{P\ Nominal}$: 0.45 (Rüzgar türbininin nominal çalışmadaki güç katsayısı)

$v_{Nominal}$: Nominal çalışmadaki rüzgar hızı

$$P_{Rüzgar\ Türbini} = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 320 \times 12^3 \times 0.45 \times 0.9$$

$$P_{Rüzgar\ Türbini} = 137168\ W$$

Rüzgar türbinin yaklaşık gücü 137 KW bulunmuştur. Ancak bu kadar dar bir aralıkta bu güçte türbin bulmak güçtür. Bu yüzden bu türbine yakın bir güçte türbin seçilebilir. Örneğin 150 kw gücünde bir rüzgar türbini seçilebilir.

PV gücü ise aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$P_{pv} = G_{nominal} \times \eta_{pv} \times A_G \quad (8.6)$$

Burada;

$G_{nominal}$: PV nominal ışınım değeri ($1000 \text{ W}/m^2$)

η_{pv} : PV nominal çalışma güç çıkışı verimi (0.16)

A_G : PV yüzey alanı [m^2]

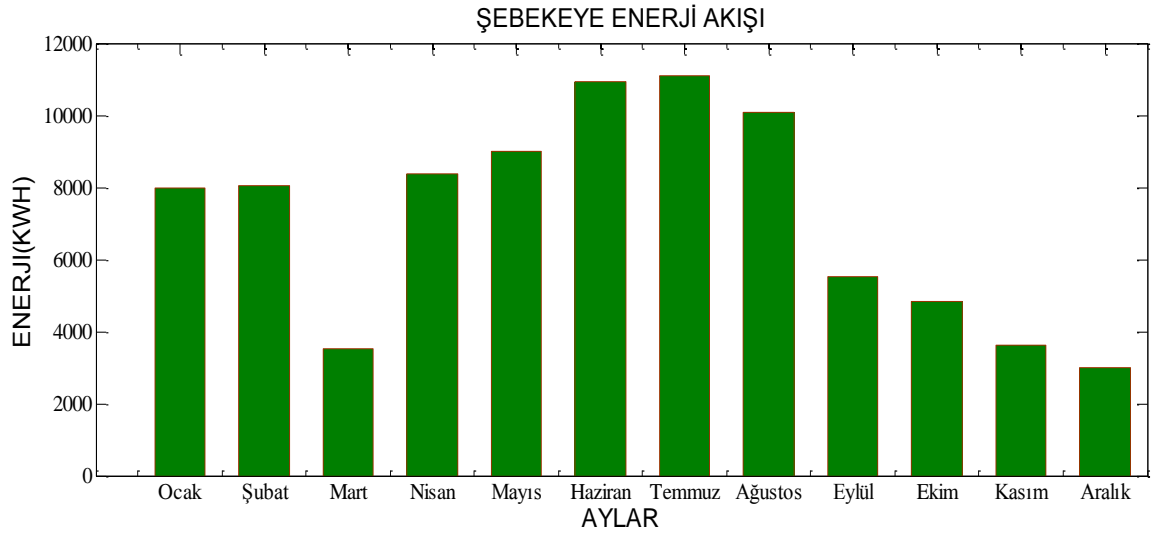
$$P_{pv} = 1000 \times 0.16 \times 280$$

$$P_{pv} = 44800 \text{ W}$$

Güneş paneli toplam gücü yaklaşık 45 kw olarak bulunmuştur.

HİBRİT ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMİNİN ŞEBEKEYE BAĞLANMASI HALİNDE ŞEBEKEYE ENERJİ AKIŞI

Tasarımı yapılan hibrit enerjili üretim sistemi şebekeye bağlanması durumunda talebin üzerindeki üretimlerde şebekeye enerji akışı meydana gelir. Şebekeye aktarılan enerji üretilen enerji miktarı her gün farklı olduğundan enerji akışı da farklı olur. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi üretiminin toplamından talep edilen enerji çıkarıldığında günlük olarak şebekeye verilen enerji bulunur. Bu değerler her bir ay için toplanırsa aylık enerji akışı bulunur. Tüm işlemler yapıldığında aşağıdaki gibi grafik oluşmuştur:

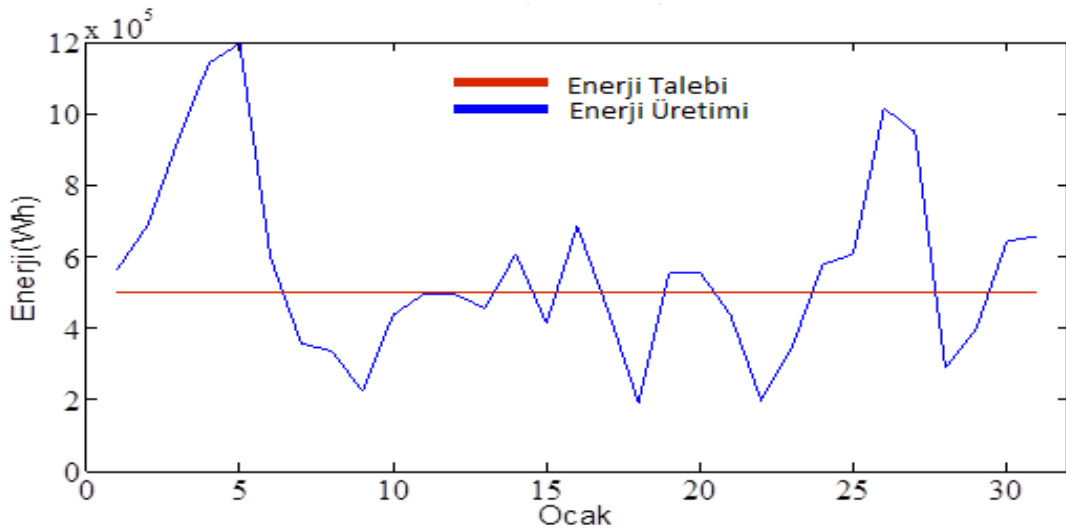


Şekil 9.1 Şebekeye enerji akışı

Yukarıdaki grafik incelendiğinde şebekeye enerji akışının en fazla yaz aylarında olduğu görülmektedir. En az enerji akışının olduğu ayların ise sonbahar ayları olduğu dikkat çekmektedir. Yaz aylarında ihtiyacın neredeyse 2 katına yakın üretim yapıldığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi rüzgar hızının ve güneşlenmenin bazı günlerde oldukça

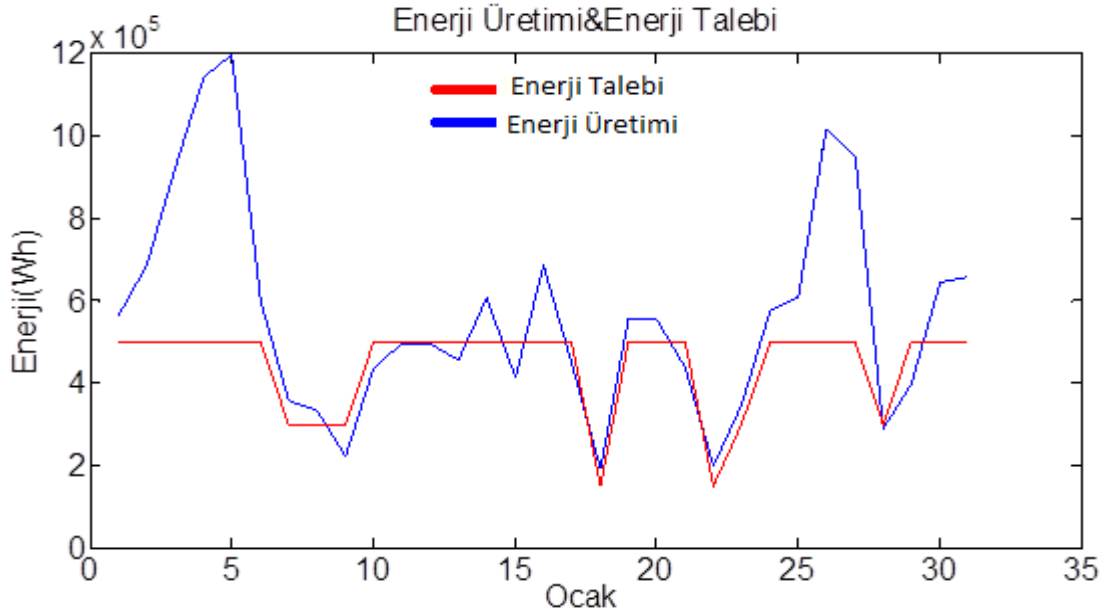
düşük olması ve sistemin bunu karşılaması için türbin ve panel boyutlarının büyük seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Rüzgar hızının ve güneşlenme şiddetinin bazı günlerde normalden fazla olması da üretimin çok fazla olmasına sebep olmaktadır.

Şebekeden bağımsız olarak çalışacak olan hibrit enerji üretimi sisteminin bir yıllık periyotta enerji talebini karşılayabilecek şekilde tasarımı gerçekleştirildi. Yapılan tasarımda enerji talebinin kritik günler için yeniden düzenlenmesi maliyetin oldukça azalmasını sağlamıştır. İlk optimizasyonla ikinci optimizasyon arasında oluşan farklar incelendiğinde akü kapasitesinin oldukça düşmesinin yanı sıra rüzgar türbin rotor alanının çok az miktarda düşmesi ve panel yüzey alanının biraz yükselmesi güneş enerjisinin hibrit bir sistemde daha düzenleyici bir rol oynadığı fikrini vermektedir. Tabii ki bölgeye göre bu durumun değişebileceği göz ardı edilmemelidir. "Akıllı şebekedeki Demand Response" mantığı uygulanmadan önce yapılan optimizasyon sonucunda talep edilen enerji ile üretilen toplam enerji arasındaki ilişki aşağıda görülmektedir:



Şekil 10.1 Enerji üretimi ile enerji talebi arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafik incelendiğinde üretilen enerjinin çoğu gün için talep edilen enerjinin gerisinde kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte aralarındaki enerji farkı oldukça fazla olmaktadır ve dolayısıyla bu farkı kapatacak olan akü kapasitesi oldukça fazla olmak zorundadır. Oysaki talebin düzenlenmesiyle yapılan ikinci optimizasyon sonucunda üretim ve talep ilişkisi aşağıdaki gibi olmaktadır:



Şekil 10.2 Enerji üretimi ile enerji talebi arasındaki ilişki 2

Yukarıdaki grafiğe bakıldığında üretilen enerjinin enerji talebini oldukça iyi bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Fakat yine bazı günlerde enerji talebinin altına düştüğü anlaşılmaktadır. Burada ise devreye akü grubu girmekte ve bu farkı kapatmaktadır. Ancak bu seferki fark çok daha az olduğundan gerekli akü kapasitesi de oldukça düşük olmaktadır. Ayrıca iki optimizasyon sonucunda ortaya çıkan maliyetler kıyaslandığında son optimizasyon sonucunda maliyet %27 oranında azalmıştır. Optimizasyondan önce her bir rüzgar verisi ile aynı zamana karşılık gelen hava yoğunluğunun değişen anlık sıcaklık verisine göre hesaplanmasıyla rüzgar türbinin güç çıkışındaki net kazanç biraz daha belirgin olmuştur. Aşağıdaki tabloya bakıldığında hava yoğunluğu ve sıcaklığın dikkate alınmadığında ve dikkate alındığında yapılan optimizasyon sonuçları görülebilir.

Çizelge 10.1 Hava yoğunluğu ve sıcaklığın sisteme etkisi

Hava Yoğunluğu ve Sıcaklığın Sisteme Etkisi					
Hava Yoğunluğu ve Sıcaklık	E_G [kWh]	A_W/P_T [m ²]/[kW]	A_S/P_{PV} [m ²]/[kW]	E_B [kWh]	f_{min} [\$]
Dikkate alınmadı	500	310/150	210/37.5	415	484320
Dikkate alındı	500	330/160	250/45	414	495620

Daha sonra türbin gücüne, kanat yapısına ve markasına göre farklılık gösteren C_p değeri seçilen herhangi bir markaya göre rüzgar hızına bağlı denklemi türetilmiştir. Bu denklem her bir rüzgar hızı verisinin güç dönüşümünde dikkate alınmış ve doğruluk oranı oldukça artmıştır. Güneş panellerinin sıcaklığa bağlı verim düşümü her bir ışınım şiddeti güç dönüşümü yapılırken hesaba katılmış ve PV çıkış gücü %15'lere varan hatanın önüne geçilmiştir. Teksas bölgesi için yapılan bu çalışmada güneş enerjisinin şebekeden bağımsız bir hibrit enerjili üretim sisteminde daha dengeleyici bir enerji kaynağı olarak göze çarpmıştır. Bu sonuca ikinci optimizasyon sonucunda panel boyutun artması ve rüzgar türbin boyutunun bir miktar azalmasından varılmıştır. Ancak bu sonucun farklı bölgeler için farklılık gösterebileceği göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Hayli S., (2001). "Rüzgar Enerjisinin Önemi, Dünya'da ve Türkiye'de Durumu", Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(1): 1-26.
- [2] Elibüyük U., Üçgül İ.,(2014). "Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Sistemleri", Süleyman Demirel Üniversitesi, 2(3): 1-14.
- [3] Rüzgar Türbininin Kullanımı ve Gelişimi, http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html, 20 Nisan 2014.
- [4] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi(2012). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi , Yayın No:11, Ankara.
- [5] Olcay Kincay, Güneş ve Rüzgar Enerjisi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013.
- [6] Meteoroloji Verileri, The University of North Texas, Discovery Park Weather Station, 8 Mart 2014 .
- [7] Muğdeşem Tanrıöven, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ders Notu, Yıldız Technical University, 2012.
- [8] Josué Njock Libii J.N.,(2013). "Comparing the calculated coefficients of performance of a class of wind turbines that produce power between 330 kW and 7,500 kW ", World Transactions on Engineering and Technology Education 11(1): 36-40.
- [9] Salah M.A.,(2008). Simulation of a Hybrid Power System Consisting of Wind Turbine, PV, Storage Battery and Diesel Generator with Compensation Network: Design, Optimization and Economical Evaluation, An-Najah National University Faculty of Graduate Studies.
- [10] Mohamed A. ve Khatib T.,(2013). "Optimal Sizing of a PV/Wind/Diesel Hybrid Energy System for Malaysia", ICIT, 8-12 Aralık 2013, Cape Town.

- [11] Y. S. Zhao, J. Zhan vd. Y. Zhang vd. D. P. Wang vd. B. G. Zou,(2009). "The Optimal Capacity Configuration Of An Independent Wind/PV Hybrid Power Supply System Based On Improved Pso Algorithm ", APSCOM, 1-7, 2009.
- [12] Borowy BS ve Salameh ZM., (1996). Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system, IEEE Trans Energy Conver 1996; 11(2): 367–7.
- [13] Keyhani, A., (2013). Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Akıllı Şebeke Tasarımı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası yayını, 1, İstanbul.
- [14] PV Fiyatları ve Özellikleri, <http://www.wholesalesolar.com/solar-panels.html>, 14 Nisan 2014.
- [15] Rüzgar Türbin Fiyatları ve Özellikleri, <http://www.conserve-energy-future.com/WindEnergyCost.php>, 14 Nisan 2014.
- [16] Rüzgar Türbin Fiyatları ve Özellikleri, <http://www.hummerwindgenerator.cn/>, 13 Nisan 2014.
- [17] Batarya Fiyatları ve Özellikleri, <http://www.offgridbatteries.com.au/>, 13 Nisan 2014.
- [18] Arifoğlu, U., (2007). Matlab ve Simulink Mühendislik Uygulamalar, Alfa Yayıncılık, 1, İstanbul .

METEOROLOJİ İSTASYONU VERİ ÖRNEĞİ

TIMESTAMP	AirTC	SlrW_Avg	WS_mph_Avg
TS	Deg C	W/m2	miles/hour
	Smp	Avg	Avg
04.10.2011 13:20	28.74	825	7.718
04.10.2011 13:25	28.86	823	6.745
04.10.2011 13:30	28.6	824	9.34
04.10.2011 13:35	28.55	822	7.846
04.10.2011 13:40	28.13	816	7.589
04.10.2011 13:45	28.26	816	7.661
04.10.2011 13:50	27.97	810	8.68
04.10.2011 13:55	28.59	807	6.084
04.10.2011 14:00	29.16	803	8.43
04.10.2011 14:05	28.36	799.5	7.55
04.10.2011 14:10	28.12	793.7	8.18
04.10.2011 14:15	28.73	789.5	7.108
04.10.2011 14:20	29.22	787.2	7.762
04.10.2011 14:25	29.29	783.5	6.65
04.10.2011 14:30	29.38	778.8	8.36
04.10.2011 14:35	29.14	770.2	5.051
04.10.2011 14:40	29.32	763.8	5.722
04.10.2011 14:45	28.81	756.2	7.751
04.10.2011 14:50	29.18	748.6	8.8
04.10.2011 14:55	29.67	740.2	6.454
04.10.2011 15:00	28.52	729.8	5.319
04.10.2011 15:05	29.71	720.4	7.415
04.10.2011 15:10	29.38	711.5	9.04
04.10.2011 15:15	29.3	700.7	8.69
04.10.2011 15:20	29.06	687.9	7.432

TIMESTAMP	AirTC	SlrW_Avg	WS_mph_Avg
TS	Deg C	W/m2	miles/hour
	Smp	Avg	Avg
04.10.2011 15:35	28.84	654.2	6.527
04.10.2011 15:40	29.15	641.3	6.141
04.10.2011 15:45	29.13	630.4	8.37
04.10.2011 15:50	29.43	617.2	6.957
04.10.2011 15:55	29.33	602.2	5.99
04.10.2011 16:00	28.54	589.7	9.64
04.10.2011 16:05	28.65	572.6	7.611
04.10.2011 16:10	28.69	558	7.762
04.10.2011 16:15	28.75	545.5	9.44
04.10.2011 16:20	29.02	530.6	7.538
04.10.2011 16:25	28.92	518	7.527
04.10.2011 16:30	29.18	503.2	6.292
04.10.2011 16:35	29.67	489.9	8.11
04.10.2011 16:40	29.36	474	8.03
04.10.2011 16:45	29.12	458.2	5.878
04.10.2011 16:50	28.95	441.6	7.572
04.10.2011 16:55	28.82	424	7.801
04.10.2011 17:00	29.16	408.6	7.125
04.10.2011 17:05	29.02	393.2	7.594
04.10.2011 17:10	29.23	376.2	7.209
04.10.2011 17:15	29.06	356.2	6.856
04.10.2011 17:20	28.65	340.1	8.33
04.10.2011 17:25	28.96	324.6	6.337
04.10.2011 17:30	29.3	306.5	6.035
04.10.2011 17:35	28.87	288.4	7.197
04.10.2011 17:40	28.35	270.7	8.13
04.10.2011 17:45	28.37	253.9	8.48
04.10.2011 17:50	28.4	236.9	7.432
04.10.2011 17:55	28.59	219.1	6.191
04.10.2011 18:00	27.98	200.7	9.39
04.10.2011 18:05	28.14	184.1	7.035
04.10.2011 18:10	27.93	167.8	7.645
04.10.2011 18:15	27.8	151.3	8.39
04.10.2011 18:20	27.85	135.7	6.566
04.10.2011 18:25	27.77	120.7	5.319
04.10.2011 18:30	27.55	105.5	5.638
04.10.2011 18:35	27.47	88	7.371
04.10.2011 18:40	27.2	68.66	5.671
04.10.2011 18:45	27.11	52.15	5.459

TIMESTAMP	AirTC	SlrW_Avg	WS_mph_Avg
TS	Deg C	W/m2	miles/hour
	Smp	Avg	Avg
04.10.2011 19:00	25.93	12.34	2.63
04.10.2011 19:05	25.88	9.17	3.229
04.10.2011 19:10	25.67	5.991	3.117
04.10.2011 19:15	25.6	3.522	3.273
04.10.2011 19:20	25.06	1.771	2.066
04.10.2011 19:25	24.66	0.778	1.734
04.10.2011 19:30	24.44	0.315	0.787
04.10.2011 19:35	24.45	0.007	1.639
04.10.2011 19:40	24.15	0.007	1.77
04.10.2011 19:45	24.22	0.04	2.357
04.10.2011 19:50	24.15	0.027	2.748
04.10.2011 19:55	24.01	0.027	2.82
04.10.2011 20:00	23.77	0.094	2.362
04.10.2011 20:05	23.67	0.188	2.457
04.10.2011 20:10	23.64	0.181	2.871
04.10.2011 20:15	23.58	0.168	3.279
04.10.2011 20:20	23.7	0.195	3.407
04.10.2011 20:25	23.58	0.181	3.145
04.10.2011 20:30	23.62	0.148	3.055
04.10.2011 20:35	23.55	0.127	3.486
04.10.2011 20:40	23.32	0.114	3.279
04.10.2011 20:45	22.86	0.047	2.977
04.10.2011 20:50	22.84	0.067	3.122
04.10.2011 20:55	22.83	0.107	3.279
04.10.2011 21:00	22.57	0.168	2.558
04.10.2011 21:05	22.17	0.181	2.066
04.10.2011 21:10	22.13	0.181	1.82
04.10.2011 21:15	21.95	0.134	2.066
04.10.2011 21:20	21.95	0.054	2.418
04.10.2011 21:25	22.08	0.007	2.608
04.10.2011 21:30	21.83	0	2.474
04.10.2011 21:35	21.68	0	2.172
04.10.2011 21:40	21.69	0	2.301
04.10.2011 21:45	21.78	0	2.843
04.10.2011 21:50	21.98	0	2.977
04.10.2011 21:55	22	0	2.949
04.10.2011 22:00	22.27	0	3.542
04.10.2011 22:05	22.49	0	3.122

TIMESTAMP	AirTC	SlrW_Avg	WS_mph_Avg
TS	Deg C	W/m2	miles/hour
	Smp	Avg	Avg
04.10.2011 22:25	22.42	0	3.592
04.10.2011 22:30	22.51	0	3.95
04.10.2011 22:35	22.68	0	3.938
04.10.2011 22:40	22.71	0	3.877
04.10.2011 22:45	22.74	0	4.017
04.10.2011 22:50	22.68	0	3.435
04.10.2011 22:55	22.27	0	2.569
04.10.2011 23:00	21.8	0	2.58
04.10.2011 23:05	21.56	0	2.642
04.10.2011 23:10	20.54	0	3.352
04.10.2011 23:15	20.51	0.007	2.949
04.10.2011 23:20	20.51	0	2.569
04.10.2011 23:25	20.16	0	3.637
04.10.2011 23:30	19.95	0	2.804
04.10.2011 23:35	19.45	0	2.127
04.10.2011 23:40	19.13	0	2.15
04.10.2011 23:45	19.28	0	1.781
04.10.2011 23:50	19.23	0	1.217
04.10.2011 23:55	18.88	0	0.824
05.10.2011 00:00	18.95	0	0.814
05.10.2011 00:05	19.02	0.007	0.528
05.10.2011 00:10	19.08	0.02	1.107
05.10.2011 00:15	19.15	0.007	0.476
05.10.2011 00:20	19.1	0.013	0.552
05.10.2011 00:25	18.68	0.067	1.426
05.10.2011 00:30	18.75	0.067	1.848
05.10.2011 00:35	18.88	0.107	1.73
05.10.2011 00:40	18.81	0.121	0.831
05.10.2011 00:45	18.59	0.114	0.868
05.10.2011 00:50	18.59	0.127	1.134
05.10.2011 00:55	18.68	0.148	1.126
05.10.2011 01:00	18.54	0.181	1.633
05.10.2011 01:05	18.83	0.174	2.161
05.10.2011 01:10	18.68	0.148	2.032
05.10.2011 01:15	18.37	0.161	1.609
05.10.2011 01:20	18.17	0.087	0.156
05.10.2011 01:25	18.29	0.101	1.555
05.10.2011 01:30	17.83	0.154	1.792
05.10.2011 01:35	17.98	0.195	1.993

TIMESTAMP	AirTC	SlrW_Avg	WS_mph_Avg
TS	Deg C	W/m2	miles/hour
	Smp	Avg	Avg
05.10.2011 01:50	17.32	0.161	2.351
05.10.2011 01:55	16.95	0.195	3.094
05.10.2011 02:00	17.41	0.148	3.447
05.10.2011 02:05	17.86	0.148	2.96
05.10.2011 02:10	18.12	0.154	3.055
05.10.2011 02:15	18.49	0.107	2.664
05.10.2011 02:20	18.58	0.154	2.317
05.10.2011 02:25	18.69	0.121	2.597
05.10.2011 02:30	18.88	0.087	3.061
05.10.2011 02:35	19.05	0.114	3.089
05.10.2011 02:40	19	0.127	2.703
05.10.2011 02:45	18.81	0.168	2.278
05.10.2011 02:50	18.61	0.168	2.183
05.10.2011 02:55	18.47	0.161	2.071
05.10.2011 03:00	18.54	0.134	2.558
05.10.2011 03:05	18.58	0.134	3.134
05.10.2011 03:10	18.68	0.121	3.201
05.10.2011 03:15	18.75	0.134	3.642
05.10.2011 03:20	19.05	0.141	3.843
05.10.2011 03:25	19.17	0.141	3.989
05.10.2011 03:30	19.19	0.127	3.944
05.10.2011 03:35	18.98	0.154	3.514
05.10.2011 03:40	18.64	0.154	3.05
05.10.2011 03:45	18.41	0.168	2.317
05.10.2011 03:50	18.14	0.174	1.73
05.10.2011 03:55	18.1	0.161	1.999
05.10.2011 04:00	18.24	0.168	2.703
05.10.2011 04:05	18.17	0.188	4.173
05.10.2011 04:10	18.1	0.161	2.519
05.10.2011 04:15	18.53	0.148	3.184
05.10.2011 04:20	18.46	0.141	3.76
05.10.2011 04:25	18.44	0.134	3.592
05.10.2011 04:30	18.47	0.127	3.43
05.10.2011 04:35	18.41	0.161	3.385
05.10.2011 04:40	18.29	0.121	2.111
05.10.2011 04:45	18.15	0.094	1.7
05.10.2011 04:50	18.02	0.06	1.16
05.10.2011 04:55	17.86	0.101	1.133
05.10.2011 05:00	17.71	0.141	0.495

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Güneş GÜR SOY
Doğum Tarihi ve Yer : 07.02.1990, DİVRİĞİ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gunes-gursoy@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen	Selçuk Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Gürsoy Güneş Enerji Sistemleri	Sahibi
2012	Tekfen Holding	Stajyer
2011	Ahiköy HES	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1.Gürsoy G. ve Baysal M.,(2014). "Improved Optimal Sizing of Hybrid PV/Wind/Battery Energy Systems", İCRERA , 19-22 Ekim 2014, Milwaukee

ÖDÜLLERİ

1. İCRERA 2014 Best Paper Award

