



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR MESKENİN ELEKTRİK İHTİYACININ RÜZGAR TÜRBİNİ VE
GÜNEŞ PANELLERİNDEN OLUŞAN HİBRİT SİSTEM İLE
SAĞLANMASI**

**Hazırlayan
Abdullah Kürşat AKTAR**

**Danışman
Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**BİR MESKENİN ELEKTRİK İHTİYACININ RÜZGAR
TÜRBİNİ VE GÜNEŞ PANELLERİNDEN OLUŞAN HİBRİT
SİSTEM İLE SAĞLANMASI**

**Hazırlayan
Abdullah Kürşat AKTAR**

**Danışman
Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN**

Yüksek Lisans Tezi

**OCAK 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Abdullah Kürşat AKTAR



YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Bir Meskenin Elektrik İhtiyacının Rüzgar Türbini ve Güneş Panellerinden Oluşan Hibrit Sistem ile Sağlanması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Abdullah Kürşat AKTAR



Danışman

Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN



Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI



Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN danışmanlığında **Abdullah Kürşat AKTAR** tarafından hazırlanan “**Bir Meskenin Elektrik İhtiyacının Rüzgar Türbini ve Güneş Panellerinden Oluşan Hibrit Sistem İle Sağlanması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

06.02.2017

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN

Üye : Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Levent URTEKİN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 10/02/2017 tarih ve 2017/02-24 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen, tezimin sonuçlandırılmasında bilgi birikimleri ile yol gösterici rol oynayan ve bana her an danışmanlık yapan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ'e ve Sayın Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN'e teşekkür ederim.

İhtiyaç duyduğum zamanlarda özellikle manevi desteğini esirgemeyen, sonuca ulaşmam konusunda beni cesaretlendiren ve yardım eden değerli eşim Firdevs AKTAR'a sonsuz teşekkürü borç bilirim. Ayrıca hayatımda yol gösterici olarak maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Teknik çalışmalar sırasında sürekli yanımda bulunan iş arkadaşlarıma, özellikle Ferhat GÖKOĞLU ile Alpaslan KAPLAN'a teşekkür ederim. İleride başarılı bir Elektrik – Elektronik mühendisi olacağına inandığım değerli arkadaşım Bahri Eren UZUNER'e teşekkür ederim.

Abdullah Kürşat AKTAR

Kayseri, Ocak 2017

BİR MESKENİN ELEKTRİK İHTİYACININ RÜZGAR TÜRBİNİ VE GÜNEŞ PANELLERİNDEN OLUŞAN HİBRİT SİSTEM İLE SAĞLANMASI

Abdullah Kürşat AKTAR
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2017
Danışman: Doç. Dr. Sezai Alper TEKİN

ÖZET

Dünyadaki fosil yakıtların tükenebilir olması, özellikle petrol ve doğalgazın belirli ülkelerin kontrolü altında olması, dünyanın içinde bulunduğu siyasi krizler, her ülkenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi öz imkanlarıyla karşılama gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada; rüzgar türbini ve güneş panelinden oluşan bir hibrit sistem ele alınmıştır. Evsel ihtiyacı karşılama hususunda tez çalışmasının yapılabilirliği değerlendirilmiştir. Sistemde yer alan rüzgar türbini, eksenel akıllı sabit mıknatıslı ve çift rotorlu olacak şekilde inşa edilmiştir. Yapılan testler sırasında ölçülen değerlerin hesaplanan değerlere yakın olduğu görülmüştür. Güneş paneli olarak polikristal tipte bir panel seçilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler kullanılarak rüzgar türbini ve güneş panelinin bir senelik periyotta yapacağı üretim hesaplanmıştır. Bu çalışma Kayseri sınırları içerisinde kırsal ve şehir olarak değerlendirilebilecek iki farklı bölge için yapılmıştır. Bu değerler ışığında maliyet ve geri ödeme süresi hesaplandığında evsel kullanım için tasarlanan bir hibrit sistemin kırsal alanda kullanılmasının daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Şehirdeki elektriksel altyapının hazır olması ve yapılaşmanın rüzgar akışını olumsuz etkilemesi, kırsal alanın altyapıya uzak olması ve rüzgar akışını bozacak yapay engellerin olmaması dikkate alındığında, tespit edilen sonucun beklentilerle uyduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda güneşten ve rüzgardan elde edilen enerjinin zamana göre değişken olduğu görülmüştür. Rüzgar ve güneş potansiyellerinin birbirini tamamlayacak şekilde sistem oluşturmanın enerji ihtiyacını karşılamada daha verimli olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Türbini, Güneş Paneli, Eksenel Akıllı Sabit Mıknatıslı Jeneratör, Hibrit Sistem, Bölgesel Karşılaştırma

SUPPLYING ELECTRICITY DEMAND OF A HOUSE WITH HYBRID SYSTEM WHICH CONSISTS WIND TURBINE AND SOLAR PANELS

Abdullah Kürşat AKTAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January 2017

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sezai Alper TEKİN

ABSTRACT

Consumability of fossil fuels in the world, especially oil and natural gas being under the control of certain countries, political crises in the world are shown the necessity of meeting the energy needs of each country by own potential.

In this study; a hybrid system consisting of a wind turbine and a solar panel is discoursed. The feasibility of the thesis in terms of meeting domestic needs has been assessed. The wind turbine in the system was built as axial flux permanent magnet and double rotor. It was observed that the measured values in the tests were close to the calculated values. A polycrystalline class panel was selected as a solar panel.

Using the data obtained from the General Directorate of Meteorology, the production of the wind turbine and the production of the solar panel for one year is calculated. This study was carried out for two different regions within the borders of Kayseri that could be considered as rural and urban. It has been found that it is more advantageous to use a hybrid system designed for domestic use in the rural area when the cost and reimbursement period are calculated in the light of these values. Considering that the electrical infrastructure in the city is ready to use and buildings have a negative effect on the wind flow, the rural area is far away from the infrastructure and there are no artificial obstacles to disturb the wind flow, it is seen that the result determined is compatible with expectations. After the calculations are made, it is seen that the energy obtained from the sun and wind is variable depending on time. It is determined that building a system with wind and solar potentials complement each other is more efficient to supply energy needs.

Keywords: Wind Turbine, Solar Panel, Axial Flux Permanent Magnet Generator, Hybrid System, Regional Comparison

İÇİNDEKİLER

BİR MESKENİN ELEKTRİK İHTİYACININ RÜZGAR TÜRBİNİ VE GÜNEŞ PANELLERİNDEN OLUŞAN HİBRİT SİSTEM İLE SAĞLANMASI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	II
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	III
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
KISALTMA VE SİMGELER	XI
TABLolar LİSTESİ.....	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Rüzgâr ve Rüzgâr Enerjisi.....	3
1.1.1. Rüzgârın Sınıflandırılması ve Çeşitleri.....	3
1.1.2. Ülkemizi Etkileyen Hava Kütleleri.....	4
1.1.3. Geçmişten Günümüze Rüzgâr Enerjisi.....	6
1.1.4. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	7
1.1.4.1. Avantajlar.....	7
1.1.4.2. Dezavantajlar.....	8
1.1.5. Dünya’da Rüzgâr Enerjisi.....	8
1.1.6. Avrupa’da Rüzgâr Enerjisi.....	11
1.1.7. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi.....	16
1.2. Güneş ve Güneş Enerjisi.....	22

1.2.1. Geçmişten Günümüze Güneş Enerjisi.....	23
1.2.2. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	23
1.2.3. Dünya’da ve Avrupa’da Güneş Enerjisi.....	24
1.2.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	32
1.3. Hibrit Enerji Sistemleri.....	39
1.4. Literatür Taraması.....	40

2. BÖLÜM

HİBRİT SİSTEM ELEMANLARI VE TASARIMI

2.1. Giriş.....	48
2.2. Hibrit Sistem ve Parçaları.....	49
2.2.1. Rüzgâr Türbini.....	49
2.2.1.1 Türbin Temeli.....	49
2.2.1.2. Kule.....	51
2.2.1.3. Kanatlar.....	52
2.2.1.4. Nasil.....	53
2.2.1.5. Gövde (Hub).....	55
2.2.1.6. Kontrol Sistemi.....	55
2.2.1.7. Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbinleri.....	56
2.2.1.8 Gücüne Göre Rüzgâr Türbinleri.....	57
2.2.1.9. Türbin Yerleşimi.....	58
2.2.2. Güneş Paneli.....	59
2.2.2.1. Güneş Hücresinin Yarıiletken Yapısı.....	61
2.2.2.2. N Tipi ve P Tipi Yarıiletken.....	61
2.2.2.3. P – N Jonksiyonu.....	62
2.2.2.4. Güneş Pili Çeşitleri.....	62
2.2.2.4.1. Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri.....	63
2.2.2.4.2. Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri.....	63
2.2.2.4.3. İnce Film Güneş Pilleri.....	63
2.2.2.4.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	64
2.2.2.4.5. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri.....	64
2.2.2.4.6. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri.....	65
2.2.2.4.7. Güneş Pillerinin Seçimi.....	65

2.2.3. Rüzgâr Türbini / Güneş Paneli Akü Şarj Sistemi.....	66
2.2.4. Akü.....	67
2.2.5. İnverter.....	68

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Bir Meskenin Elektrik İhtiyacının Tahmini Hesaplanması.....	70
3.2. Rüzgâr Türbinin Gerçekleştirilmesi.....	72
3.3 Güneş Paneli.....	96
3.3.1. Güneş Panelinin Enerji Üretimi.....	97
3.3.1.1 Örnek Üretim Hesaplaması.....	102
3.4. Rüzgâr Türbini / Güneş Paneli Akü Şarj Sistemi.....	106
3.5. Akü.....	109

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Hibrit Sistem Değerlendirmesi.....	110
---	-----

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar.....	116
5.2 Öneriler.....	117
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ.....	122

KISALTMA VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
GWEC	Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi	
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü	
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi	
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü	
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi	
GES	Güneş Elektrik Santrali	
OSB	Organize Sanayi Bölgesi	
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi	
AC	Alternatif Akım	
DC	Doğru Akım	
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı	
Ge	Germanyum	
Si	Silisyum	
$P_{Rüzgâr}$	Rüzgarın Gücü	W
B_{g_max}	Manyetik akı yoğunluğunun en yüksek değeri	T
R_{Bobin}	Bobin direnci	Ω
e	Bobinde indüklenen gerilim	V
f	Frekans	Hz
I_T	Eğimli yüzeye gelen saatlik ışıınım değeri	MJ/m^2
I_0	Uzaydan gelen saatlik radyasyon	MJ/m^2
H_0	Uzaydan gelen günlük radyasyon	MJ/m^2
P_i	Panelin Ürettiği Güç	Wh
A_c	Panelin Alanı	m^2
$\eta_{mp,ref}$	Maksimum güç verimi	
η_i	Modül Verimi	

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Atmosferik Hareketlerin Zaman ve Alan Ölçeği.....	4
Tablo 1.2. Kurulu Gücün Ülkelere Dağılımı.....	9
Tablo 1.3. Yeni Kapasite Artışı ve Toplam Kapasite Sıralamasında İlk 10 Ülke.....	30
Tablo 1.4. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	33
Tablo 1.5. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı.....	33
Tablo 1.6. Geçici Kabulü Yapılmış Lisanssız Güneş Enerjisi Santralleri.....	36
Tablo 1.7. Güneş Enerjisinden Elektrik Üreten Organize Sanayi Bölgeleri.....	38
Tablo 1.8 Sistem Önerilerinin Karşılaştırılması.....	46
Tablo 2.1. Rüzgar Türbinlerinin Gücüne Göre Sınıflandırılması.....	57
Tablo 3.1. Bir Meskenin Sahip Olduğu Cihazlar ve Tüketim Değerleri.....	70
Tablo 3.2. Farklı Teknoloji ve Malzeme ile Üretilmiş Panellerin Karşılaştırması.....	96
Tablo 3.3. Günlük Ortalama Radyasyon Miktarı (MJ/m ²).....	101
Tablo 4.1. Develi İlçesine Göre Hibrit Sistemin Üretim Değerleri.....	114
Tablo 4.2. Yahyalı İlçesine Göre Hibrit Sistemin Üretim Değerleri.....	114
Tablo 4.3. Örnek Bir Sistemin Maliyeti.....	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ülkemizi Etkileyen Hava Kütleleri.....	5
Şekil 1.2. Rüzgar Yönleri ve İsimleri.....	5
Şekil 1.3. Bir Çeşit Rüzgar Değirmeni.....	6
Şekil 1.4. 1997-2014 Yılları Arasında Dünyadaki Rüzgar Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi.....	9
Şekil 1.5. Bölgelere Göre Yıllık Kurulu Güç Artışı.....	10
Şekil 1.6. Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ükelere Göre Dağılımı (MW).....	12
Şekil 1.7. Avrupa’da 2014 Yılında Eklenen Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı.....	13
Şekil 1.8. 2000-2014 Yılları Arasında Yeni Kurulu Gücün Kaynaklara Dağılımı.....	14
Şekil 1.9. Avrupa’da Yıllık Rüzgar Enerjisi Yeni Kapasite Artışı (GW).....	15
Şekil 1.10. 2000-2014 Yılları Arasında Avrupa’daki Rüzgâr Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi (GW).....	15
Şekil 1.11. Türkiye Rüzgar Atlası.....	16
Şekil 1.12. Türkiye’deki Rüzgâr Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi.....	18
Şekil 1.13 Kurulu Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Dağılımı – Temmuz 2015...	18
Şekil 1.14. Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Güç Miktarı – Temmuz 2015.....	19
Şekil 1.15. İnşa Halindeki Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı Temmuz 2015.....	19
Şekil 1.16. Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Santralleri İnşa Halindeki Güç Miktarı – Temmuz 2015.....	20
Şekil 1.17. Lisanslı Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı – Temmuz 2015.....	20
Şekil 1.18. Türkiye’nin Elektrik Kurulu Gücü – 2016 Yılı Sonu.....	21
Şekil 1.19. 2004 – 2014 Yılları Arasında Dünya’daki Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi.....	29
Şekil 1.20. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminden Dünya’daki İlk 10 Ülke.....	31
Şekil 1.21. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	34
Şekil 1.22. Lisanssız GES’lerin Kurulu Güç Bakımında Bölgelere Göre Dağılımı (kW)	37
Şekil 1.23. Lisanssız GES’lerin Sayı Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı.....	37
Şekil 2.1. Rüzgar ve Güneş Enerjisini İçeren Bir Sistem.....	48

Şekil 2.2. Türbin Temeli İçin Açılan Çukur.....	49
Şekil 2.3. Temel İçin Yüzeyin Hazırlanması.....	50
Şekil 2.4. Türbinin Üzerine Oturacağı Ankraj ve Temel.....	50
Şekil 2.5. Temelin Kafes Şeklinde Örülmesi.....	50
Şekil 2.6. Beton Dökümü Yapılmış ve Rüzgar Türbini Dikilmeye Hazır Temel.....	51
Şekil 2.7. Kulenin Nakliyesi.....	52
Şekil 2.8. Kulenin Montajı.....	52
Şekil 2.9. Rüzgar Türbini Kanadının Montajı.....	53
Şekil 2.10. Vestas V100 Modeline Ait Nasel.....	54
Şekil 2.11. Nasel Montajı.....	54
Şekil 2.12. Vestas V100 Modeline Ait Gövde.....	55
Şekil 2.13. Vestas V100 Modeline Ait Kontrol Sistemi.....	56
Şekil 2.14. Düşey Eksenli Rüzgar Türbini.....	56
Şekil 2.15. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini.....	57
Şekil 2.16. Küçük Ölçekli Rüzgâr Türbini.....	58
Şekil 2.17. Mikro Konuşlandırma.....	59
Şekil 2.18. Güneş Hücresinin İç Yapısı.....	60
Şekil 2.19. Güneş Hücrelerinin Birleşmesi İle Oluşan Modül ve Dizi.....	60
Şekil 2.20. Farklı Tipteki Güneş Pillerinin Türkiye’deki Ortalama Üretim Değerleri.....	65
Şekil 2.21. Rüzgâr Türbini ve Güneş Paneli Bağlanabilen Akü Şarj Kontrol Cihazı.....	67
Şekil 2.22. Bakım Gerektirmeyen Kuru Tip Akü.....	68
Şekil 2.23. 500W Gücünde 12V DC / 220V AC İnverter.....	69
Şekil 3.1. 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Kullanımını Gösteren Fatura.....	71
Şekil 3.2. Bobin Sarımı İçin Yapılan Sarma Aparatı.....	72
Şekil 3.3. Bobinler.....	73
Şekil 3.4. Stator Kalıbına Yerleştirilmiş Bobinler.....	73
Şekil 3.5. Kuruyan Statorun Kalıptan Çıkarılmadan Önceki Görünümü.....	74
Şekil 3.6. Mukavemeti Artırmak Amaçlı Kullanılan Cam Elyaf.....	74
Şekil 3.7. Kalıptan Çıkarılan Stator.....	75
Şekil 3.8. Rotor Yapımında Kullanılan Mıknatıslar.....	75
Şekil 3.9. Rotor Diskleri İçin Kullanılan Malzeme.....	76
Şekil 3.10. Mıknatıs Yapıştırmaya Hazır Rotor Diski.....	76
Şekil 3.11. Kullanıma Hazır Rotor Diski.....	77

Şekil 3.12. Sisteme Ait Rotor Diskleri.....	77
Şekil 3.13. Mıknatısların Bobinler Üzerindeki Hareketi.....	78
Şekil 3.14. Stator ve Rotorun Monte Edilmesi Esnasında.....	79
Şekil 3.15. Stator ve Rotorun Monte Edilmiş Hali.....	79
Şekil 3.16. Jeneratör Test Düzeneği.....	80
Şekil 3.17. Direğin Sabit ve Hareketli Kısımını Ayıran Rulmanlı Sistem.....	81
Şekil 3.18. Akımın Aktarım Mekanizması.....	81
Şekil 3.19. Sistemde Kullanılan Kanatlar.....	82
Şekil 3.20. Dikime Hazır Hale Getirilmiş Direk.....	82
Şekil 3.21. Dikimi Tamamlanmış Direk.....	83
Şekil 3.22. Rüzgar Türbininin Tamamlanmış Hali.....	83
Şekil 3.23. Rüzgar Türbini ile Enerji Üretimi – 1.....	84
Şekil 3.24. Rüzgar Türbini ile Enerji Üretimi – 2.....	84
Şekil 3.25. (a) Rüzgâr Türbininin İki Boyutlu Kesit Modeli (b) Manyetik Akı Yolu.....	87
Şekil 3.26. Rüzgâr Türbini Eşdeğer Devre Modeli.....	87
Şekil 3.27. Yıldız Bağlantı.....	89
Şekil 3.28. Yıldız Bağlantılı Rüzgâr Türbinin Hesaplanan ve Ölçülen Gerilim Grafiği.....	90
Şekil 3.29. Faz – Nötr Arası İçin Ölçülen ve Hesaplanan Değerler.....	90
Şekil 3.30. 2 Ampul Seri Bağlı İken Jeneratör Güç Grafiği.....	91
Şekil 3.31. 2 Ampul Paralel Bağlı İken Jeneratör Güç Grafiği.....	91
Şekil 3.32. Deney Düzenğinde Ampullerin Bağlanması.....	92
Şekil 3.33. Tek Fazdan Çekilebilecek Maksimum Güç.....	92
Şekil 3.34. Üç Fazdan Çekilebilecek Maksimum Güç.....	93
Şekil 3.35. Maksimum Güç ve Farklı Bağlantı Şekillerinin Karşılaştırması.....	93
Şekil 3.36. Gücün Rüzgâr Hızına Bağlı Olarak Değişimi.....	94
Şekil 3.37. MGM'den Alınan Rüzgar Verileri.....	95
Şekil 3.38. Kayseri İline Ait Güneş Potansiyeli.....	97
Şekil 3.39. Güneş ile İlgili Açılar.....	98
Şekil 3.40. Azimut Açısı.....	99
Şekil 3.41. Köprü Diyot.....	106
Şekil 3.42. Köprü Diyodun Çalışması.....	107
Şekil 3.43 Gerçekleştirilen Akü Şarj Kontrol Devresi.....	107

Şekil 3.44 Uygulama Amaçlı Yapılan Akü Şarj Kontrol Devresi.....	108
Şekil 3.45. Hibrit Sistemde Kullanılan Akü.....	109
Şekil 4.1. Kayseri İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası.....	111
Şekil 4.2. Yahyalı ve Develi İlçeleri Radyasyon Değerleri.....	111
Şekil 4.3. Rüzgar Türbini Develi Verilerine Göre Üretimi.....	112
Şekil 4.4. Rüzgar Türbini Yahyalı Verilerine Göre Üretimi.....	112
Şekil 4.5. Güneş Paneli Verilere Göre Üretimi.....	113

GİRİŞ

Günümüzde Türkiye içerisinde enerji gereksinimi nüfusa ve sanayileşmeye bağlı olarak günden güne artmaktadır. Artan ihtiyacın karşılanması hususunda ülkemizin temel kaynaklarının yanı sıra ithal kaynaklar büyük yer tutmaktadır. Bu durum ülkemizin ekonomisinden sürekli olarak para çıkışına neden olmaktadır. 2016 yılı sonu itibari ile ithal kaynaklarla üretim yapan santrallerin kurulu gücü toplam kurulu gücümüzün yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Özellikle 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun çıkartılması ile ülke içi kaynakların elektrik üretimindeki payının artırılması planlanmıştır. Bu çerçevede verilen destekler, teşvikler günümüzde etkisini göstermeye başlamıştır ve ilerleyen yıllarda dışa bağımlılığın azalmasında etkili olmaya devam edecektir. Ayrıca 1 MW'a kadar lisanssız elektrik üretebilme konusunda getirilen serbestlik son kullanıcıların elektrik ihtiyaçlarını kendi sistemleri ile karşılayabilme imkânı tanımaktadır.

Rüzgar ve güneş enerjisi alanında yüzyıldan fazla süredir üzerinde çalışmalar yürütülmesine karşın verimin düşük olması uzun süre istenen ilgiyi görmesini engellemiştir. Yeni teknolojilerin de gelişmesiyle birlikte verim artmaya başlamıştır. Ayrıca dünyadaki fosil yakıtların tükenebilir olması, özellikle petrol ve doğalgazın belirli ülkelerin kontrolü altında olması, dünyanın içinde bulunduğu siyasi krizler, her ülkenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi öz imkanlarıyla karşılama gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Ülkemizde güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli de azımsanmayacak kadar önemlidir. Güneş ve rüzgar enerjisinin çevreye zararsız olması, sürekli ve dışa bağımlılığının olmaması bu potansiyelin kullanımı konusunda cesaretlendirmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın altyapısını oluşturması ile son kullanıcıların kendi elektriklerini üretebilmelerinin ve üretim fazlalarını şebekeye verebilmelerinin önü açılmıştır. Bu durum da büyük güçlü santrallerin yanı sıra küçük çaplı rüzgâr türbinleri

ve güneş panellerinin yaygınlaşmasında etkili olacaktır. Sonuç olarak şahıs bazında hibrit sistemlerin yaygınlaşması enterkonnekte sistemin yükünü hafifletecektir.

Yapılacak olan bu çalışmada rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini aktifleştirerek, milli gelire katkıda bulunmak en büyük amaçlarımızdan biri olmuştur. Çalışma sonucunda ortaya çıkan sistem, elektrik şebekesinden uzak bölgelerde yaşayan insanlar için alternatif çözüm sunmaktadır. Yakıt ihtiyacının olmaması da çok büyük bir avantaj olarak görülebilir. Ayrıca projenin rüzgâr ve güneşi aynı anda içermesi değişken rüzgâr durumlarında ve/veya güneşlenme sürelerinin ve açılarının değişkenliği karşısında daha verimli bir şekilde elektrik ihtiyacının karşılanmasını sağlayacaktır.

Çalışmada 4 kişilik bir ailenin yaşadığı evin elektrik ihtiyacının tamamı veya tamamına yakınının karşılanması hedeflenmiştir. Gereksinim duyulan enerji miktarı ile sistemin enerji üretim miktarının birbirini karşılaması amaçlanmıştır. Bu sistemin ihtiyacı olan ek donanımlar dikkate alınarak günümüz elektrik fiyatları üzerinden maliyet hesabı ve geri dönüşüm süresi hesaplanmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dünyanın artan nüfusu, teknolojik gelişmeler, ülkelerin bağımsızlık savaşları enerjiye olan ihtiyacın gün geçtikçe daha da artmasına sebebiyet vermektedir. Yenilenebilir enerji sınıfında bulunan rüzgâr ve güneş enerjisi alanındaki çalışmalar, her geçen gün bu enerjileri daha verimli kullanmak adına artarak devam etmektedir. Enerji elde etmek için seçilen yolun sürekli olmasının yanı sıra temiz bir enerji olması günümüzde önem arz etmektedir. Artan ihtiyaç doğrultusunda petrol, kömür gibi havayı kirletici yakıtların kullanılması uzun vadede dünyamız üzerinde geri döndürülmesi mümkün olmayan tahribatlar oluşturacaktır. Örneğin; hava kirliliği canlıların hayat kalitesinin düşmesine, hatta daha ileri seviyelerde akciğer kanseri gibi çeşitli hastalıkların doğal sonuçlar olarak ortaya çıkmasına sebebiyet verecektir. Aynı zamanda suların bilinçsizce kullanımı ve kirlenmesi, gelecekte temiz su kaynaklarına ulaşmakta sorun yaşamamıza ve ülkeler arasında su savaşlarının çıkmasına sebep olacaktır.

1.1. Rüzgâr ve Rüzgâr Enerjisi

Günümüzde bilindiği üzere rüzgârın kaynağı güneştir. Rüzgar, yeryüzünün eşit bir şekilde ısınmaması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketidir. Enlem, kara, deniz, yükseklik ve mevsimler yeryüzünün farklı oranlarda ısınmasına sebebiyet vermektedir.

1.1.1. Rüzgârın Sınıflandırılması ve Çeşitleri

Atmosferde meydana gelen hareket; alan ve zaman ölçeklerine göre değişmekte ve 4 farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunların en büyüğü genel sirkülasyondur. Zaman boyutu olarak haftalardan yıllara kadar uzanabilmekte, alan boyutu ise 1000 – 40000 km arasında değişmektedir. Ticaret rüzgârları ve jet akımları genel sirkülasyona örnektir. Meteorolojide sinoptik ölçek olarak bilinen rüzgârlar günler ile haftalar arasında

değişmekte, alan boyutu ise 100 – 5000 km arasında değişen ölçektedir. Alçak ve yüksek basınç sistemleri, tayfunlar bu sınıfa girmektedir. Mezo ölçekte görülen ve dakikalar ile günler arasında zaman ölçeğine sahip sistemler 1 – 100 km arasında etki etmektedir. Kara ve deniz meltemleri bu sınıfa ait rüzgârlardır. En küçük ölçek olan mikro ölçek hareketler ise, 1 km'nin altında bir alanda etkili olup, etki süresi saniyeler ile dakikalar arasında değişmektedir. Türbülans zamansal olarak mikro ölçekli bir harekettir.

Adı	Zaman Ölçeği	Uzunluk (km)	Örnek
Genel Sirkülasyon	Hafta – Yıl	1000 – 40000	Ticaret rüzgârları
Sinoptik Ölçek	Gün – Hafta	100 – 5000	Basınç sistemleri
Mezo Ölçek	Dakika – Gün	1 – 100	Meltem
Mikro Ölçek	Saniye – Dakika	< 1	Türbülans

Tablo 1.1. Atmosferik Hareketlerin Zaman ve Alan Ölçeği [1]

1.1.2. Ülkemizi Etkileyen Hava Kütleleri

Ülkemiz Dünya üzerindeki konumu gereği yakın çevresinde bulunan hava kütlelerinin etkisi altındadır. Bu etkiden dolayı ülkemizin hava ve iklim şartları değişim göstermektedir. Bu hava kütlelerinin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

1- Sibiryâ üzerinden gelen cP hava kütlesi karasal karakterli soğuk ve kurudur. Kış aylarında sis ve ayaza neden olur, bazen Karadeniz'i geçerken nem kazanarak orografik yağışlar yapabilir.

2- Atlas Okyanusu'ndan gelen mP hava kütlesi, Avrupa ve Balkanlar üzerinden ülkemize ulaşır. Karadeniz sahilinde yağmur, iç kesimlerde kar bırakabilir. Akdeniz üzerinden geldiğinde ise daha fazla etkili olur ve her türlü yağışı bırakabilir.

3- mT hava kütlesi sıcak ve nemli karaktere sahip olduğundan ülkemizin batı bölgelerinde oldukça fazla yağışa sebebiyet verir.

4- cT hava kütlesi ise ülkemize Kuzey Afrika üzerinden gelir. Sıcak ve kuru özelliğe sahiptir. Kuzey sistemlerle karşılaştığı takdirde Akdeniz cephesini oluşturup yağış bırakabilir. Diğer taraftan Akdeniz'den geçerken yeterli ölçüde nem kazandığı takdirde yağış meydana getirmesi muhtemeldir. Bazen karşılaştığımız çamur yağışları da bu hava kütlelerinin etkisi sonucudur [1].



Şekil 1.1. Ülkemizi Etkileyen Hava Kütleleri [2]

Bahsedilen hava kütlelerinin ülkemizi etkilemesi sonucu oluşan yerel rüzgârlar estiği konuma göre isim verilerek tanımlama yapılmıştır.



Şekil 1.2. Rüzgar Yönleri ve İsimleri

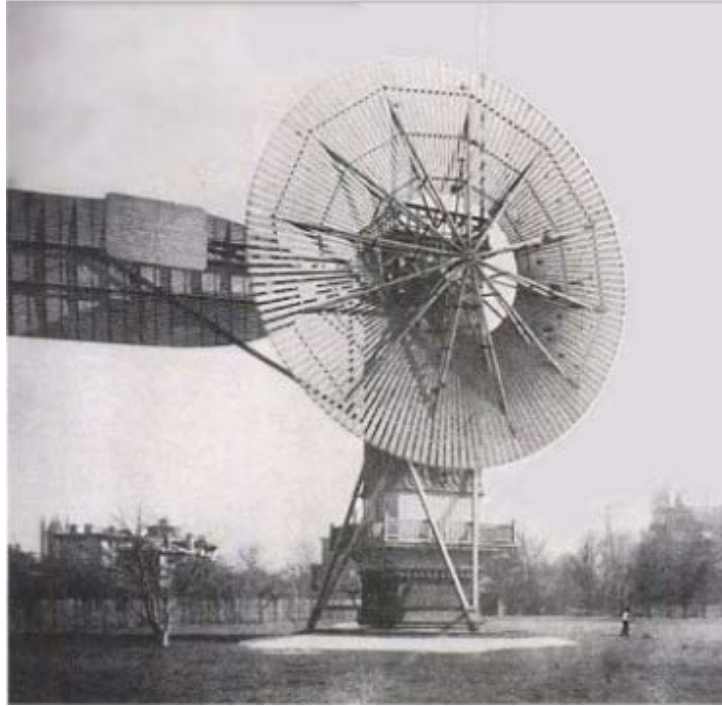
1.1.3. Geçmişten Günümüze Rüzgâr Enerjisi

Geçmiş dönemde yaşayan insanlar rüzgârın nereden geldiğini bilmedikleri halde ihtiyaçlarını giderme doğrultusunda rüzgârdan faydalanmışlardır. Tahıl öğütme, yelkenli gemileri yürütme, sulama gibi görece daha basit faaliyetlerle başlayıp günümüzde elektrik üretimine kadar ulaşmıştır [1].

İlk olarak Asya Medeniyetlerinden, Çin, Tibet, Afganistan ve İran'da kullanıldığı bilinmektedir. M.Ö. 500 – 900 yılları arasında Persler tarafından düşey eksenli ilk rüzgâr türbini inşa edilmiştir ve buğday öğütmek ve su pompalamak için kullanılmıştır. Büyük İskender tarafından yazıya geçirilmesi sayesinde M.Ö. 200-300 yılları arasındaki rüzgâr türbinlerine ait bilgilere ulaşılabilmektedir [3].

İlerleyen yüzyıllarda Haçlı Savaşları sırasında rüzgârın Asya ülkelerindeki kullanım şeklini gören Avrupalılar, savaş dönüşünde mevcut teknolojinin kendi topraklarına aktarılmasını sağlamışlardır. Bunun sonucu olarak Almanya, Hollanda, İngiltere ve Akdeniz'de birçok adada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].

İlerleyen süreçte Hollandalı denizciler ve göçmenler vasıta ile Amerika kıtası da rüzgâr değirmenleri ile tanışmıştır [4].



Şekil 1.3. Bir Çeşit Rüzgar Değirmeni

18. yüzyılda sanayi devriminin gerçekleşmesi ile birlikte buhar makinaları insanların hayatında önemli derecede yer almaya başlamıştır. Kömür, petrol, gaz gibi tükenebilen enerji kaynakları istenilen anda ihtiyaç duyulan miktarda enerjiyi sürekli bir şekilde sağlayabildikleri için rüzgâr enerjisinin kullanımını geri plana itmiştir [1].

İnsan gücüne dayalı yapılan birçok işin makinalar vasıtasıyla yapılmaya başlanması ülkeler arasındaki güç savaşlarını da farklı bir noktaya çekmiştir. Geçen zaman sürecinde genel olarak ticaret yollarının ele geçirilmesi üzerine olan savaşlar enerji kaynaklarını da elde tutmayı dâhil ederek değişim göstermeye başlamıştır. 1. Dünya Savaşı'nda Almanya ve Fransa sınırında bulunan ve bu iki ülke arasındaki savaşın önemli noktalarından olan Alsas – Loren kömür yataklarına sahip olmak üzerine yapılan kavgaya enerji savaşlarını doğrular niteliktedir.

İlerleyen yıllarda Dünya'nın artan nüfusu ve aynı şekilde artan teknolojik gelişmeler daha fazla enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Fosil yakıtların tükenebilir olması, bu yakıtları belirli ülkelerin elinde tutması ve kullanımının çevreye zararları insanları etkilemeye başladığı için yerel, yenilenebilir ve temiz enerjiye yönelimi doğal olarak zorunlu hale getirmiştir. Örneğin, 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi Avrupa ülkelerinin rüzgâr enerjisine yatırımlarını artırmıştır.

Aslında Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli yeryüzündeki ülkelerin enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır. Günlük rüzgâr enerjisi girdisinin %1'i ile dünyada ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak mümkündür. Günümüzde kurulu rüzgâr enerjisi gücü bu ihtiyacı karşılayacak seviyede olmasa da artmaya devam etmektedir. Hammadde girdisinin ve işletme giderlerinin düşük olması rüzgâr enerjisinin kullanımını cazip kılmaktadır [1].

1.1.4. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Rüzgâr enerjisi kullanımının sağladığı faydalar olduğu gibi bazı olumsuzlukları da beraberinde getirebilmektedir.

1.1.4.1. Avantajlar

Rüzgâr enerjisinin sağladığı avantajları şöyle sıralayabiliriz:

- Yenilenebilir yani tükenmez enerji kaynağıdır.
- Hammadde temini bedava olduğu için enerji üretim maliyetleri çok düşüktür.

- Rüzgâr enerji dönüşümüne doğrudan girebildiği için kullanımı kolaydır. Temizdir ve karbon salınımı olmadığı için çevre dostudur.
- İşletme maliyetleri düşüktür.
- Kurulum yapılan alan diğer enerji santrallerine göre çok azdır. Bulunduğu bölgede daha önceden yapılmakta olan faaliyetlerin devam etmesine imkân tanır.
- Dışa bağımlılığı azaltır ve ülke ekonomisine katkıda bulunur.

1.1.4.2. Dezavantajlar

Rüzgâr enerjisinin dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

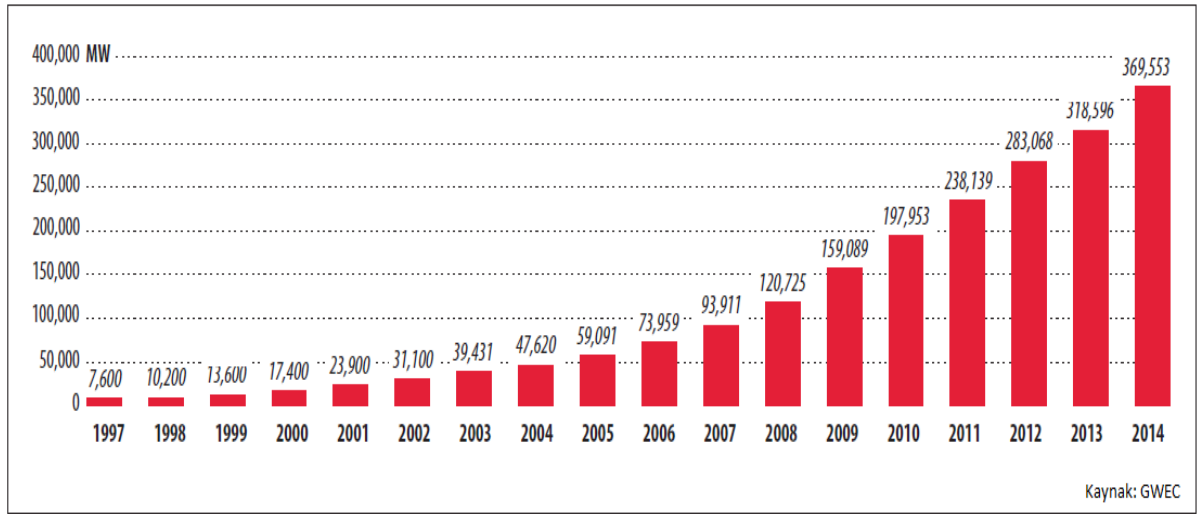
- Değişken olduğu için arz güvenliği yoktur. Bu yüzden bir ülkenin enerji temininde rüzgâr enerjisi en büyük payı alamamaktadır. Ancak enerji arzı güvenliğinde çeşitlilik sağlamak açısından kullanılmaktadır.
- Ülkemiz açısından, yerel türbin üreticisinin olmaması yurtdışı kaynaklı firmalara yüksek miktarda para çıkışı olmasına sebep olmaktadır.
- Çevresel olarak bakıldığında ise kuşların göç yolları üzerine kurulan santrallerin kuş ölümlerine sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

1.1.5. Dünya’da Rüzgâr Enerjisi

Elektrik enerjisi üretmek amacı ile kurulan ilk rüzgâr türbini 1890 yılında Amerika’da General Electric’in kurucularından olan Charles F. Brush tarafından yapılmıştır [4].

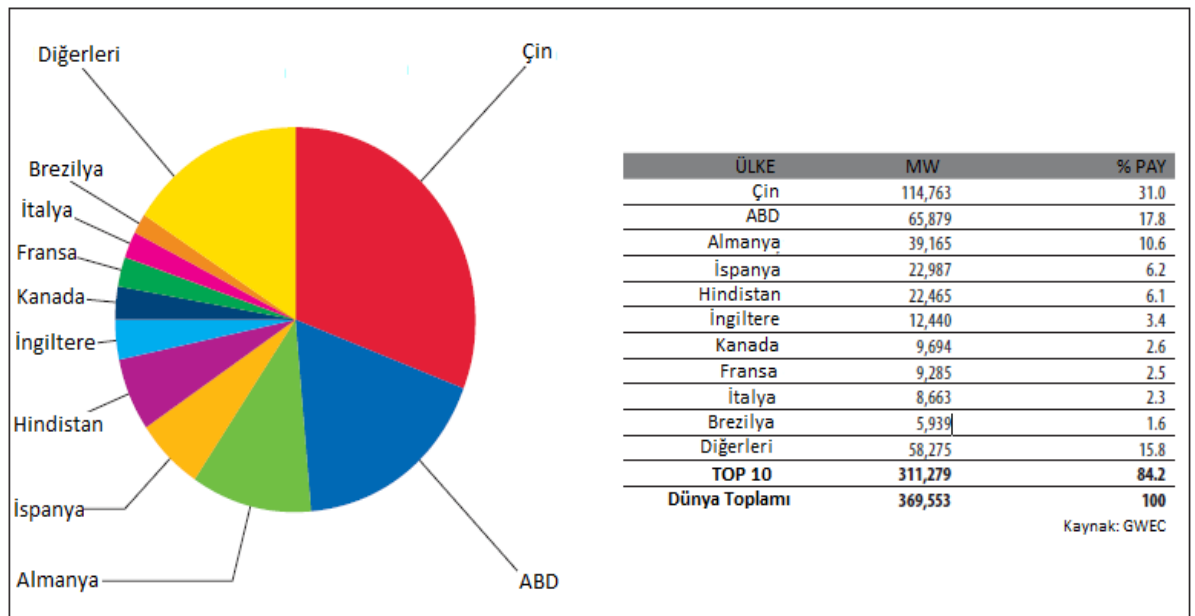
İlerleyen süreçte fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin sürekli ve istenilen miktarda olması rüzgâr türbini teknolojisinin ilerlemesini yavaşlatmıştır. Daha önce bahsettiğimiz üzere 1970’li yıllarda meydana gelen petrol krizi, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için birçok ülkeyi seferber etmiştir. 90’lı yıllardan itibaren kurulumun hızla artması günümüzdeki seviyeye ulaşmasını sağlamıştır. Günümüzde hala gelişmekte olan rüzgâr enerjisi teknolojileri dünya ülkelerine yayılımını sürdürmektedir.

Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi’nin (GWEC) 2014 yılı sonu raporunda belirttiği üzere 1997 yılında 7,600 MW olan toplam kurulu rüzgâr gücü 2014 yılı sonunda 369,553 MW’a ulaşmıştır [5]. 17 yıllık süreçte özellikle de son 10 yılda artışın hızlanması, enerjiye ihtiyacın hızla artması ve bu ihtiyacın giderilmesinde rüzgâr enerjisinin tercih edilmesi, ekolojik dengeleri de koruyacak çözümlerin ortaya konması gerekliliğinin dünyada yayılarak kabul görür seviyeye ulaştığını kanıtlamaktadır.



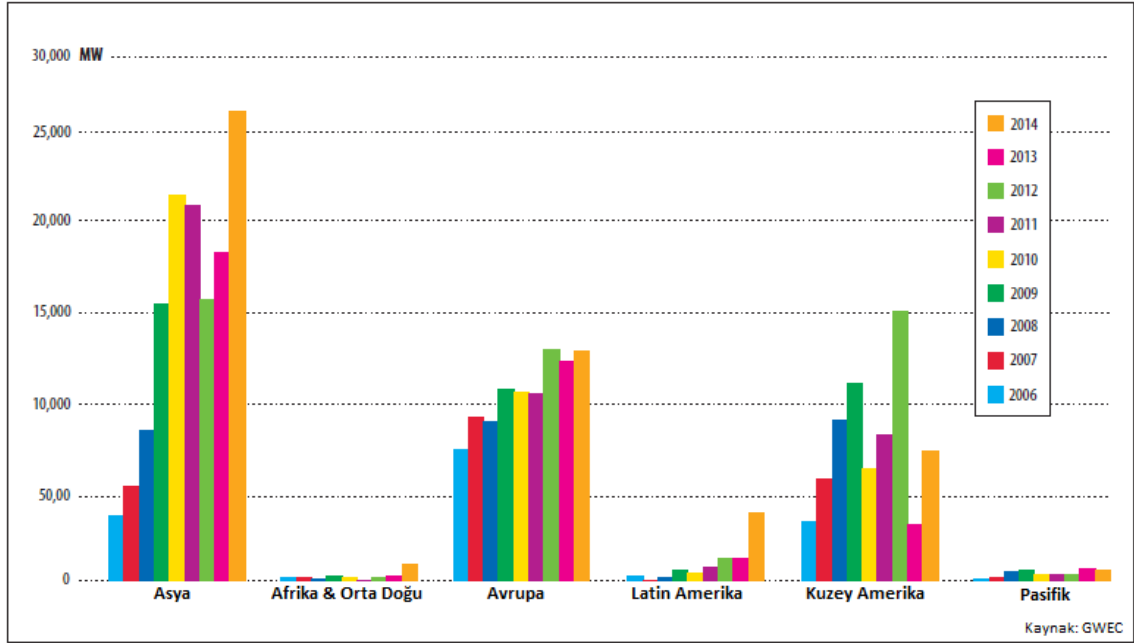
Şekil 1.4. 1997-2014 Yılları Arasında Dünyadaki Rüzgar Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi [5]

2014 yılı Aralık ayı itibari ile Çin 114,763 MW kurulu rüzgar gücü ile dünyadaki rüzgar kurulu gücünün % 31’lik kısmını teşkil etmektedir. Onu 65,879 MW ile ABD, 39,165 MW ile Almanya takip etmektedir. İlk 10 da olan diğer ülkeler İspanya, Hindistan, İngiltere, Kanada, Fransa, İtalya ve Brezilya’dır. Bu 10 ülkenin kurulu gücü 311,279 MW ile dünyada % 84,2’lik kısmı oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu 10 ülkenin Gelişmiş veya Gelişmekte olan ülkeler grubunda olduğunu ve dünya ekonomisinin büyük kısmını oluşturan ülkeler olduğunu görmekteyiz.



Tablo 1.2. Kurulu Gücün Ülkelere Dağılımı [5]

Şekil 1.5.'te 2006 – 2014 yılları arasında bölgelere göre yıllık kurulu güç artışları verilmiştir. Daha önceki tabloda görüldüğü üzere Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika kurulu gücün büyük oranını oluşturmakla beraber neredeyse aynı hızla büyümeye de devam etmektedir.



Şekil 1.5. Bölgelere Göre Yıllık Kurulu Güç Artışı [5]

2014 yılı yıllık bazda yeni rüzgâr enerjisi gücü bakımından rekor kırılan bir yıl olmuştur. İlk defa bir yılda 50 GW üzeri (51 GW'den fazla) yeni kapasite artışı sağlanmıştır. 35.6 GW kapasite artışı ile tamamlanan 2013 yılı ile arasında büyük fark oluşmuştur. Daha önceki rekor ise 2012 yılına ait olup 45 GW'lık yeni kapasite artışı sağlanmıştı.

2013 yılı sonunda Avrupa devam eden ekonomik gelişimin yavaşlaması ve Amerika'daki politik belirsizlikler nedeniyle rüzgâr enerjisi sektörü için 2014 yılının nasıl geçeceği tahmin edilemiyordu. Ancak beklentiler en fazla 47 GW iken, Çin'in sağladığı büyüme ile 2014 yılı rekor kırılan yıl olmuştur.

2009 yılından bu yana Çin, rüzgâr enerjisinde en büyük market olma özelliğini taşıyor. Asya ülkelerindeki kurulumlar Asya'yı en başta tutmaya devam ederken Avrupa 2. sırada Kuzey Amerika 3. sırada gelmektedir.

2014 yılında 2013 yılında da olduğu gibi Dünya'da rüzgâr enerjisi santrali kurulumları büyük oranda OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkeleri dışındaki

lkelerde gerçekleşmiştir. Bu durum 2010 ve 2011 yıllarında da aynı olmakla beraber yakın gelecekte aynı devam edecek gibi görünmektedir.

2014 yılı sonu itibariyle 1000 MW'den fazla rüzgâr kurulu gücüne sahip ülke sayısı 24'e ulaşmıştır. Bunların 16'sı Avrupa, 4' Asya – Pasifik (Çin, Hindistan, Japonya, Avustralya), 3' Kuzey Amerika'da (ABD, Meksika, Kanada), 1'i de Latin Amerika'da (Brezilya) bulunmaktadır.

Yine 2014 yılı sonu itibariyle 6 lke 10,000 MW'den fazla rüzgâr kurulu gücüne sahiptir. Bu lkeler; Çin (114,604 MW), ABD (65,879 MW), Almanya (39,165), İspanya (22,987 MW), Hindistan (22,465 MW) ve İngiltere (12,440 MW)'dir.

Çin'in 100,000 MW sınırını geçmesi yenilenebilir enerji alanında yeni bir kilometre taı olmuştur. Çin'in bu nderliği sayesinde 2014 yılı sonunda Asya en fazla kurulu güce sahip olma unvanını Avrupa'dan devralmıtır.

2020 hedeflerine ulaşmak konusunda Avrupa'nın gayreti, ABD ve Kanada'nın güçlü bir şekilde kurulumlara devam etmesi ve Çin'in yine büyük yatırımlarının olması, Afrika ve Latin Amerika pazarının büyümeye devam etmesi bu düşünceyi doğrular niteliktedir [5].

1.1.6. Avrupa'da Rüzgâr Enerjisi

Avrupa'da rüzgâr enerjisi teknolojilerinin gelişiminin ve yaygınlaşmasının, aynı zamanda Dünya'daki gelişimin, ABD ile birlikte öncülüğünü yaptığı söylenebilir. Almanya, İspanya, Danimarka gibi bazı Avrupa lkeleri bu gelişimde büyük rol oynamıştır.

Avrupa'da rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ilk olarak 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından gerçekleştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan 1956 yılına kadar Danimarka'da iki ve üç kanatlı birçok türbin inşa edilmiştir. Bu dönemde ön plana çıkan üç kanatlı türbin modelleri için Danimarka konsepti ismi kullanılmaya balanmıtır. Günümüzde kullanılan modern rüzgâr türbinlerinin temelini ise 1957 yılında tasarladığı 200 kW'lık asenkron jeneratörlü elektromekanik hareket ve yönelme kabiliyetine sahip türbin ile Poul La Cour'un ğrencisi Johannes Juul atmıştır [4].

2015 yılının ilk ayları itibariyle Avrupa’da rüzgar enerjisi kurulu gücü 128.8 GW dolaylarındadır. Bu gücün yaklaşık 120.6 GW’ı karadaki 8 GW’ı da deniz üzerindeki rüzgar santrallerinden oluşmaktadır [7].



Şekil 1.6. Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı (MW) [7]

Yıllık yeni eklenen kurulu güç miktarı 2000 yılında 3.2 GW iken 2014 yılına gelindiğinde 11.8 GW’a ulaşmıştır. Bu süreçte her yıl bir önceki yıla göre % 9.8’lik artış sağlandığı görülmüştür [7].

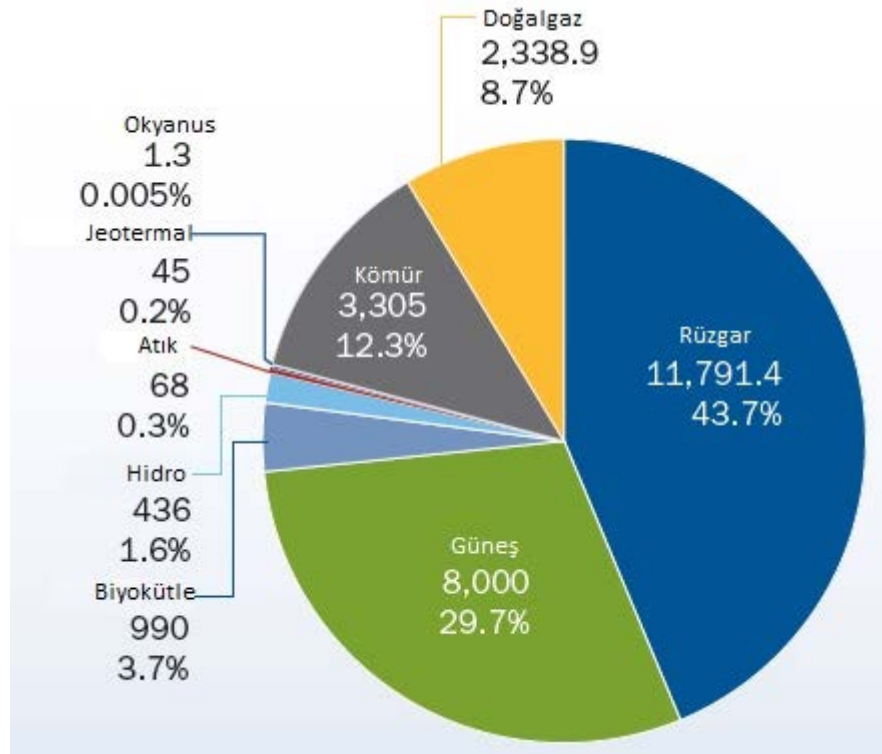
Avrupa Birliği ülkeleri arasında Almanya en büyük kurulu güce sahip ülke olarak başı çekerken onu İspanya, İngiltere ve Fransa takip etmektedir. 15 Avrupa Birliği üyesi ülke GW seviyesinde kurulu güce sahipken bunların 8 tanesi 4 GW üzeri kapasiteye sahiptir. 2014 yılındaki yeni kurulu gücün % 59.5’lik kısmını Almanya ve İngiltere’de kurulan santraller oluşturmuştur [7].

2000 yılında yıllık rüzgâr kurulu gücünde en fazla artışı sağlayan ilk 3 ülke olan Danimarka, Almanya ve İspanya % 85’lik kısmı temsil etmekteydi. 2014 yılı istatistiklerine bakıldığında aynı ülkelerin % 45.6’lık kısmı temsil ettikleri görülmektedir.

Avrupa’daki politik ve ekonomik belirsizliklerin 2014 yılında rüzgâr enerjisi sektörü üzerinde önemli etki oluşturduğu görülmüştür. Danimarka, İspanya, İtalya gibi büyük pazarlarda yeni kurulumlarda % 90.4, % 84.3, % 75.4 gibi ciddi düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir [7].

Ayrıca 2015 yılı başı kurulu rüzgâr gücü ile rüzgâr değerlerinin normal seyrettiği bir yılda 284 TWh elektrik üretimi gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu üretim Avrupa toplam enerji tüketiminin % 10.2’lik kısmını karşılayacaktır [7].

Yeni kurulan gücün içinde % 43.7 ile rüzgar enerjisinin en büyük kısmı oluşturması ülkelerin bu alana ne derece önem verdiğini ispatlamaktadır.

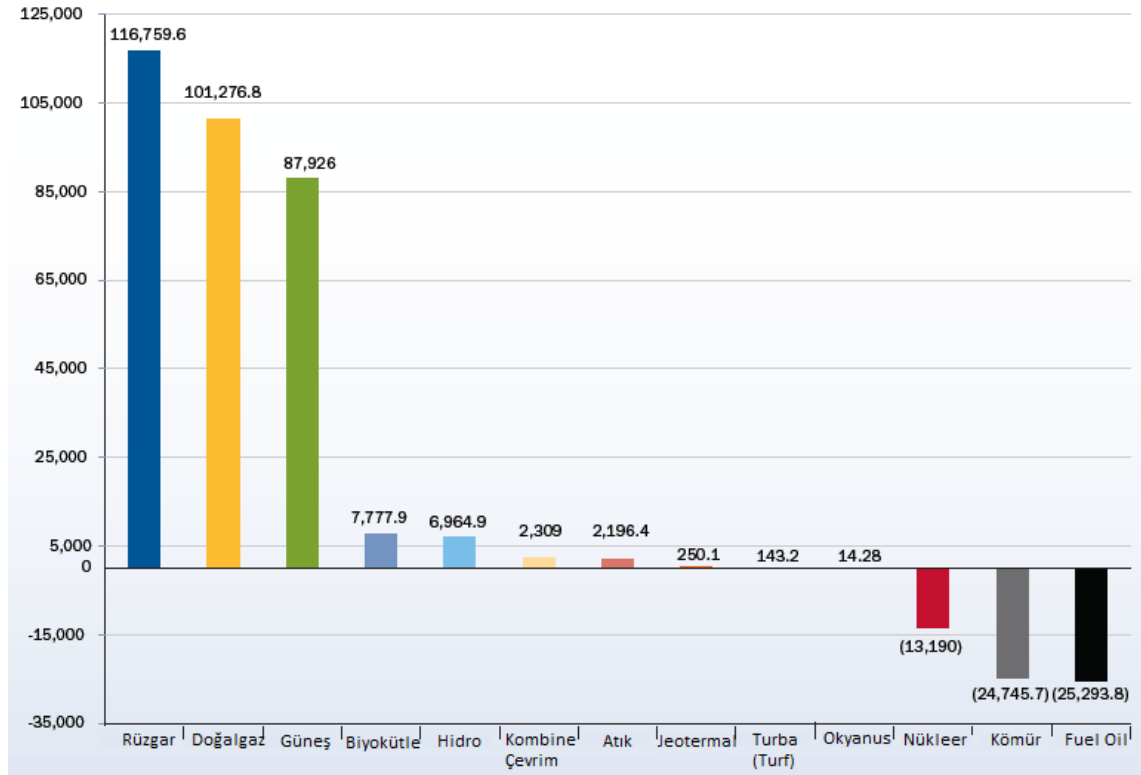


Şekil 1.7. Avrupa’da 2014 Yılında Eklenen Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı [7]

2000 yılında Avrupa’da yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık artışı 3.6 GW seviyelerinde iken günümüzde 24.7 ila 34.6 GW arasında değişen bir değer almaktadır.

Aynı şekilde senelik artışta yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 22.4'ten günümüzde % 79.1'e yükselmiştir [7].

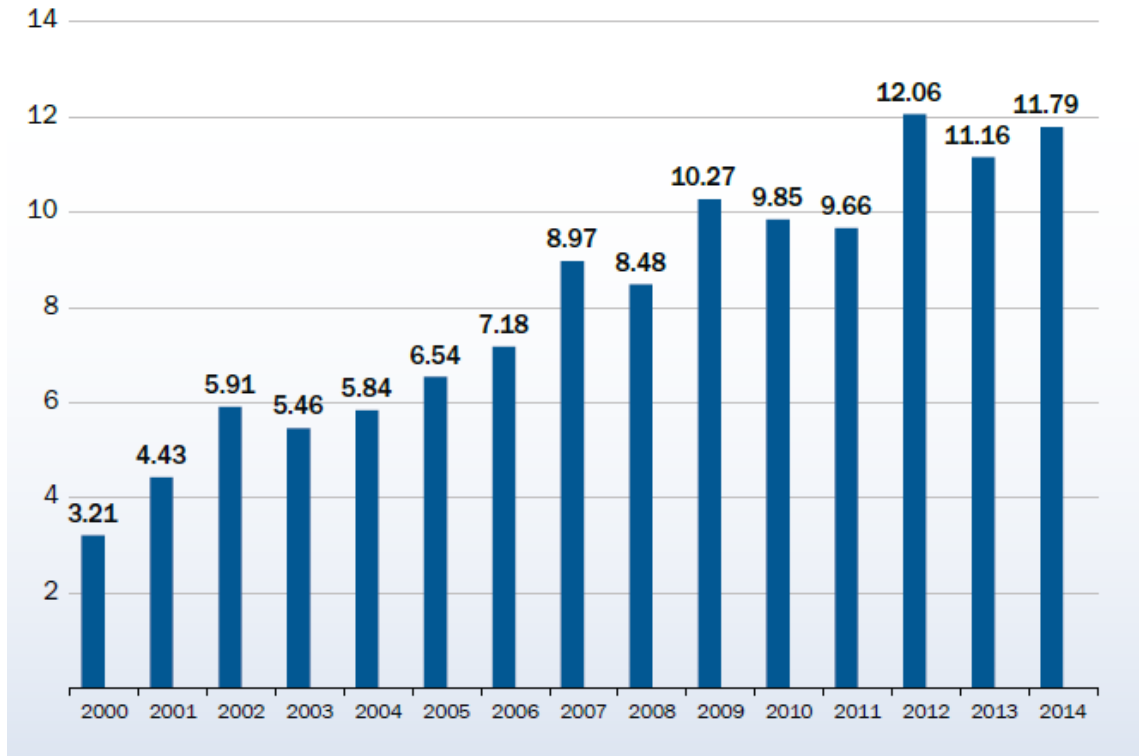
2000 yılından beri Avrupa'da toplamda 412.7 GW kapasite artışı meydana gelmiştir. Bunun % 29.4'ü rüzgardan, % 56.2'si yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuştur [7].



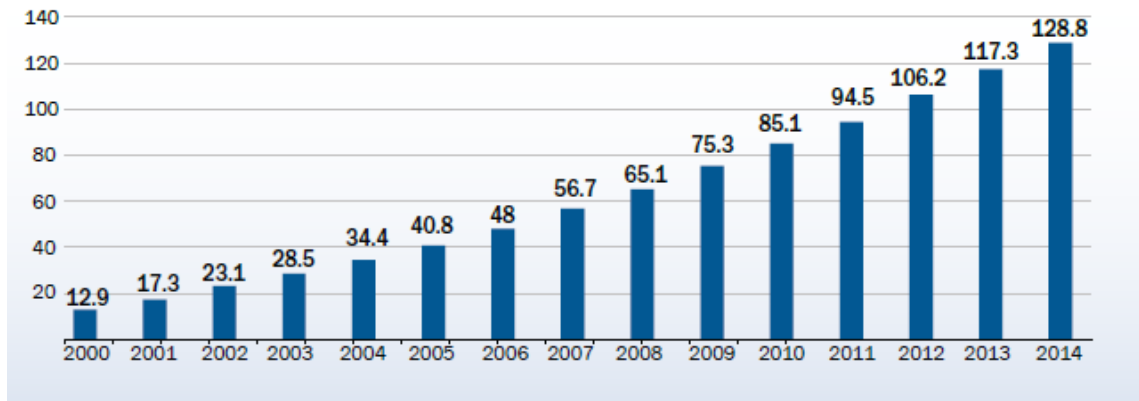
Şekil 1.8. 2000-2014 Yılları Arasında Yeni Kurulu Gücün Kaynaklara Dağılımı[7]

2000 – 2014 yılları arasında yıllık rüzgâr kurulu gücü artışının ekonomik krizlerin yaşandığı yıllar da dikkate alındığında devamlı olduğu görülmektedir.

Avrupa Birliği enerji sektörü her geçen yıl kömür ve fuel oil ile çalışan santrallerin kurulumundan uzaklaşmaktadır. Yeni kapasite artışından çok mevcut santrallerin kapatıldığı gözlenmektedir [7].



Şekil 1.9. Avrupa’da Yıllık Rüzgar Enerjisi Yeni Kapasite Artışı (GW) [7]



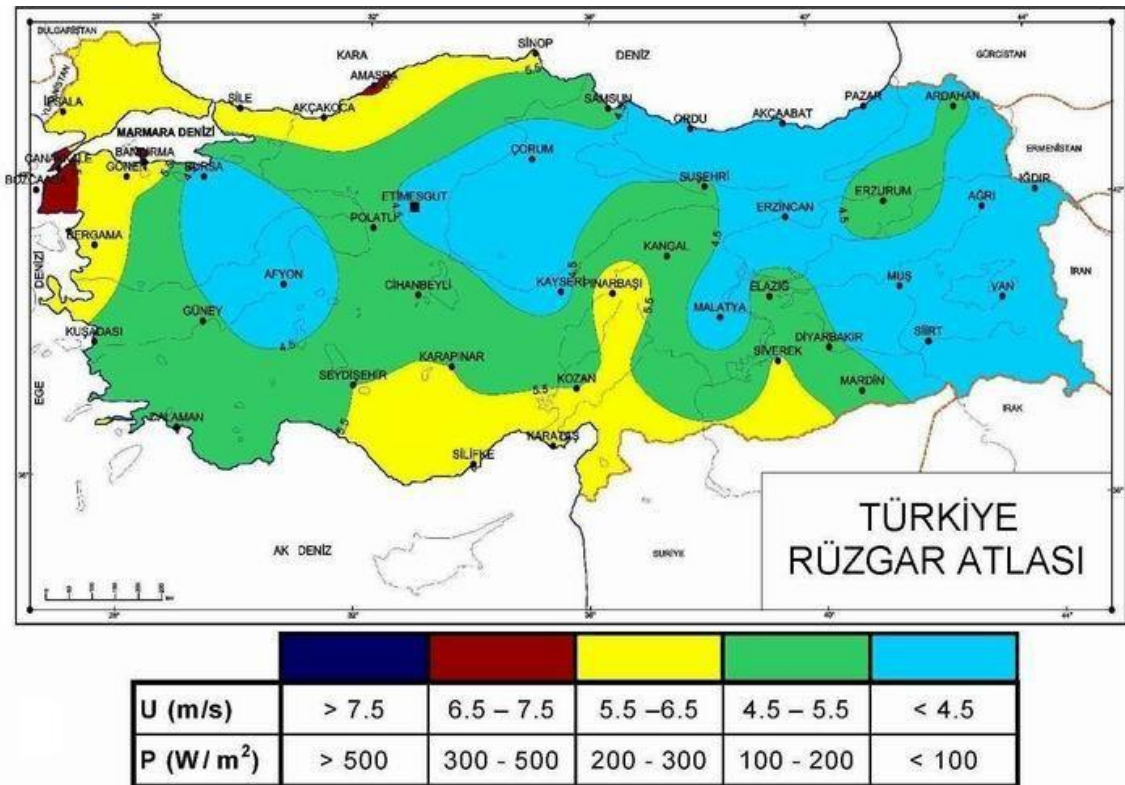
Şekil 1.10. 2000-2014 Yılları Arasında Avrupa’daki Rüzgâr Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi (GW) [7]

1.1.7. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye’de rüzgâr enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmasının Avrupa’dan yaklaşık 100 sene daha geç olduğu söylenebilir. Bu duruma savaştan çıkmış bir halkın yeniden kurduğu devleti ayağa kaldırmak için önceliklerinin başka alanlarda olması, ilerleyen yıllarda da ülkenin ekonomik ve siyasi yapısı sebep gösterilebilir.

Rüzgâr enerjisinin ilgi görmeye başlaması ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi (bugünkü adı ile Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) tarafından ülkemizin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek amaçlı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bölgesel olarak rüzgâr potansiyelini belirten, yatırımcılar için fizibilite çalışmalarında önemli bir kaynak olan Türkiye Rüzgâr Atlası ortaya çıkmıştır.

Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü’nün kayıtlarından alınan saatlik ham rüzgâr verilerinin istatistiksel analizleri, çalışma için özel hazırlanan bilgisayar programları ve WASP programı yardımı ile yapılmıştır. Türkiye Rüzgâr Atlasının hazırlanması için, mümkün olduğunca homojen dağılım gösteren 45 adet meteoroloji istasyonu kullanılmıştır [8].



* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

Şekil 1.11. Türkiye Rüzgar Atlası [8]

Uzun yıllar elektrik üretiminin devlet eliyle yapıldığı ülkemizde ilk rüzgar santrali 1998 yılında İzmir'in Çeşme Germiyan bölgesinde özel bir firma tarafından otoprodüktör statüsünde kurulmuştur. Bu santral 3 adet türbinden oluşup 1.74 MW kurulu gücündedir. Takip eden 2 yıl içerisinde 600 KW'lık türbinlerden oluşan, toplamda 7.2 MW kurulu gücünde Alaçatı RES ile yine 600 KW'lık türbinlerden oluşan, 10 MW kurulu gücünde Bozcaada RES Yap-İşlet-Devret modeli çalışmaya başlamıştır [3].

Yasal mevzuatlar açısından bir boşluğun olması, devlet tarafından destek, teşvik gibi yatırımcıları çekmek amaçlı uygulamaların olmaması nedeniyle ülkemizde rüzgâr enerjisi sektörü 2005 yılına kadar çok az gelişme göstermiştir. 10.05.2005 tarihinde kabul edilen “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımın önü açılmıştır.

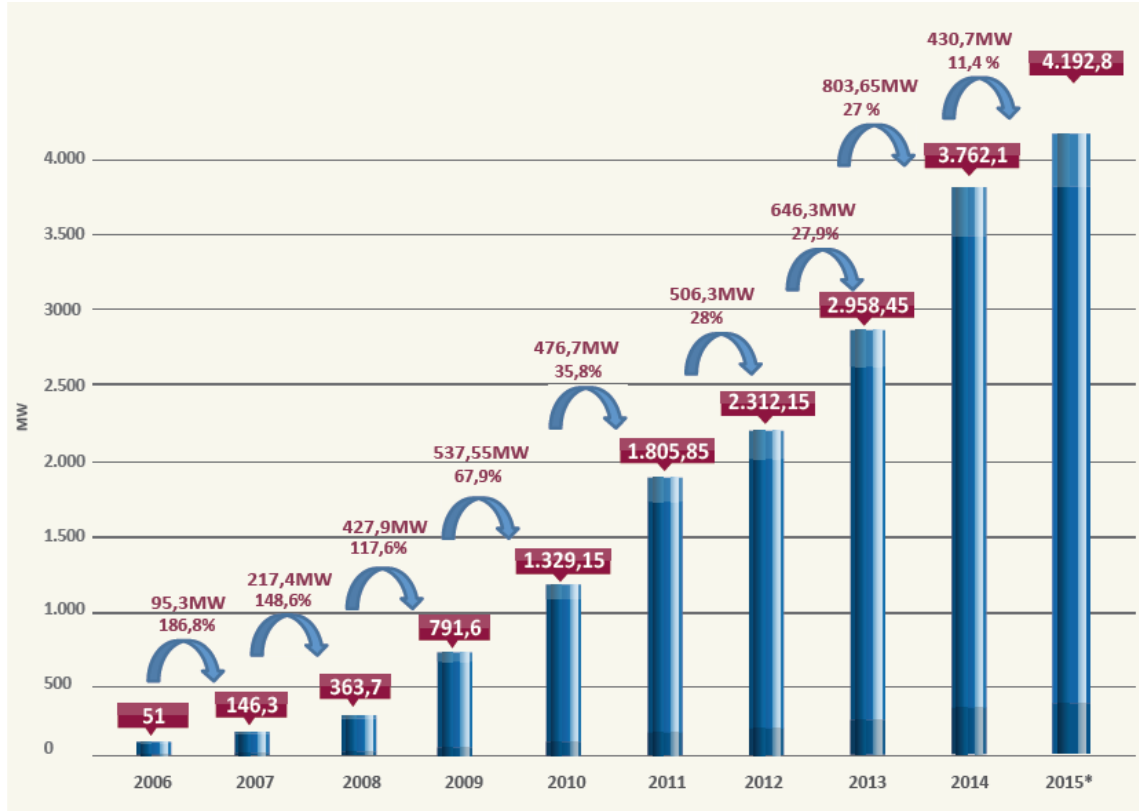
Kanunun 1. maddesinde de belirtildiği üzere “Bu kanunun amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.” olarak tanımlanmıştır [9].

Yine bu kanunun 6. maddesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin devlet tarafından hangi fiyat aralığında satın alınacağını belirtmesi bir alım garantisi olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde 4. bölümde devletin yatırımcılara santral sahasının temininde sağladığı kolaylıklar, bazı bedellerin indirimli uygulanması hatta bazılarının alınmaması gibi durumlar bu alandaki gelişimin desteklendiğini gösterir niteliktedir.

2005 yılı yenilenebilir enerji kaynakları özellikle de rüzgâr enerjisi için bir milat kabul edilebilir. Kabul edilen kanun sonrasında hızlı bir şekilde rüzgâr enerjisi sektörü gelişmiş, 2000 – 2005 yılları arasında neredeyse hiç artış göstermeyen ve 20 MW civarında olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2006 yılına gelindiğinde 51 MW olmuştur [10].

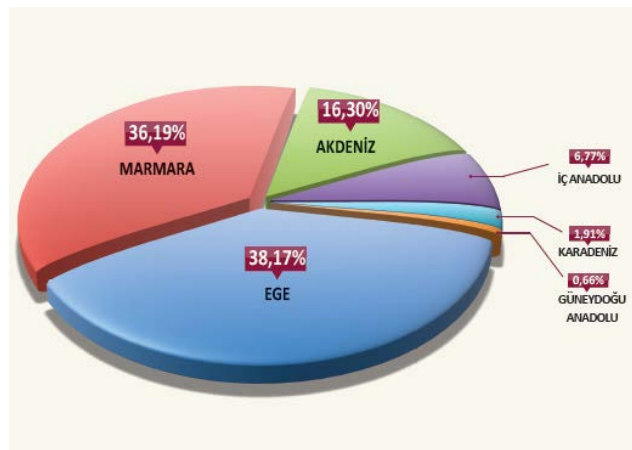
2007, 2008 ve 2009 yıllarının her birinde bir önceki yıla göre toplam kurulu güçte % 100'ün üzerinde kapasite artışı sağlanmıştır ve 2009 sonu itibari ile 791 MW kurulu güce ulaşılmıştır [10].

2010, 2011, 2012 ve 2013'te yıllık 500 – 600 MW arasında yeni kurulu güç artışı ile 2013 yılı sonunda toplam rüzgâr kurulu gücü 2958 MW'ye ulaşmıştır. Hızlı büyümesine devam eden rüzgâr enerjisi sektörü 2015 yılı Temmuz ayı itibari ile 4192 MW'lık kapasiteye ulaşmıştır [10].

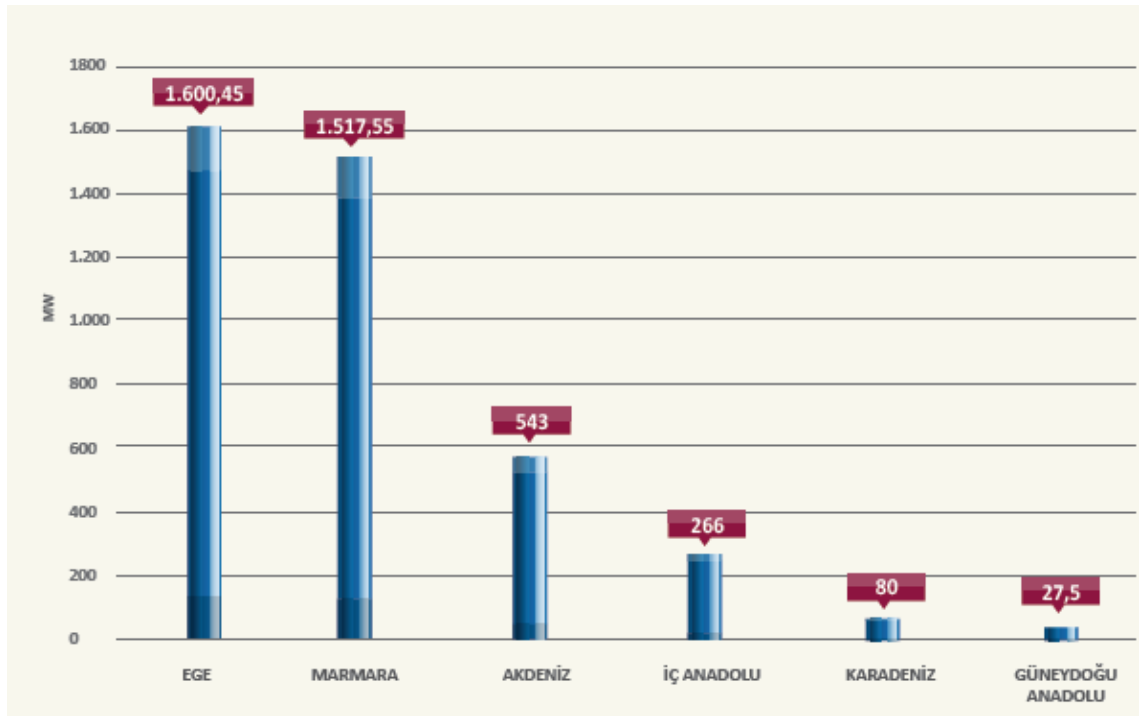


Şekil 1.12. Türkiye'deki Rüzgâr Enerjisi Toplam Kurulu Gücü Gelişimi [10]

İşletmede olan rüzgâr santrallerinin büyük bir kısmı Ege, Marmara ve Akdeniz bölgesinde bulunmaktadır.

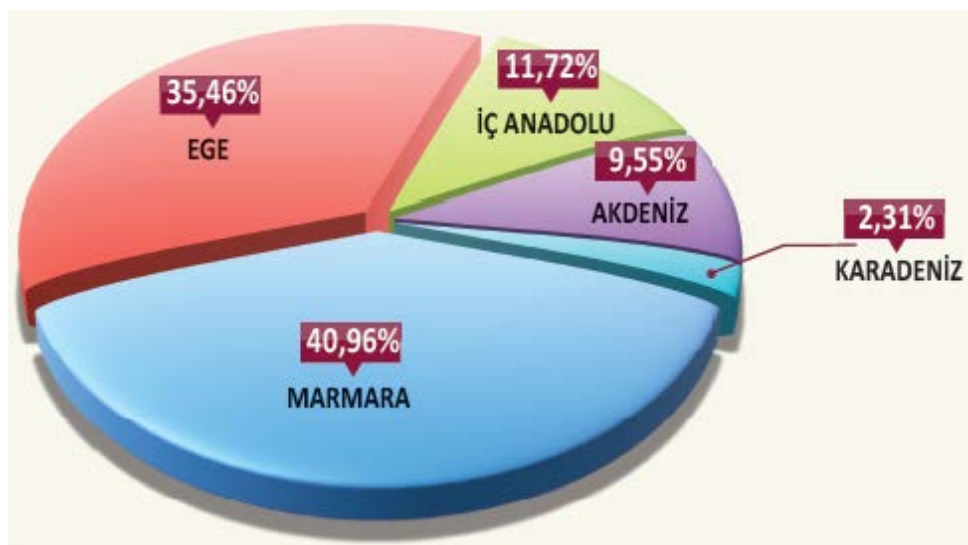


Şekil 1.13 Kurulu Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Dağılımı – Temmuz 2015 [10]

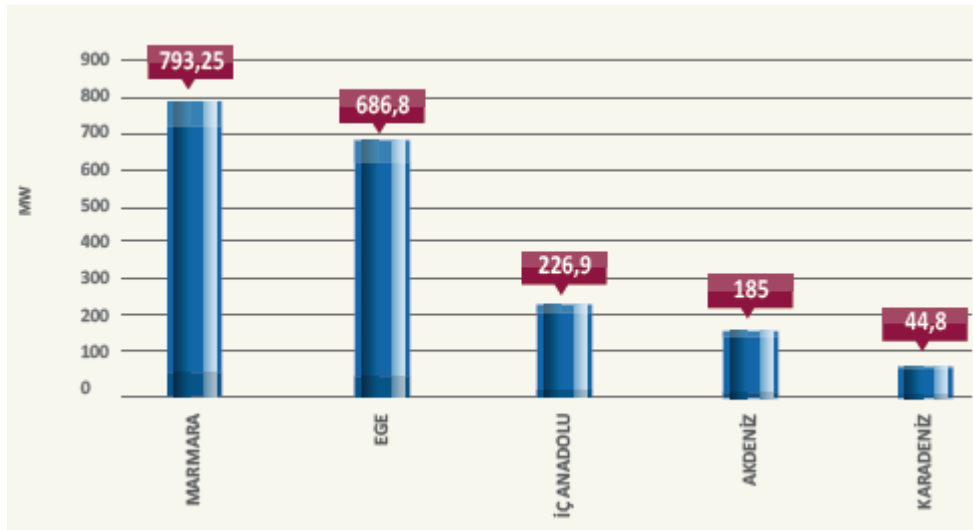


Şekil 1.14. Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Güç Miktarı – Temmuz 2015 [10]

2015 yılı Temmuz ayı itibarı ile ülkemizin çeşitli bölgelerinde toplamda 1,936.75 MW kurulu gücünde rüzgar enerji santrallerinin kurulumu devam etmektedir. Bu santrallerin inşa edildiği bölgelere bakıldığında yine Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde önemli miktarlarda yatırımların devam ettiğini, bunlara ek olarak İç Anadolu bölgesinin de rüzgâr enerjisinde ön plana çıkmaya başladığı görülmektedir.

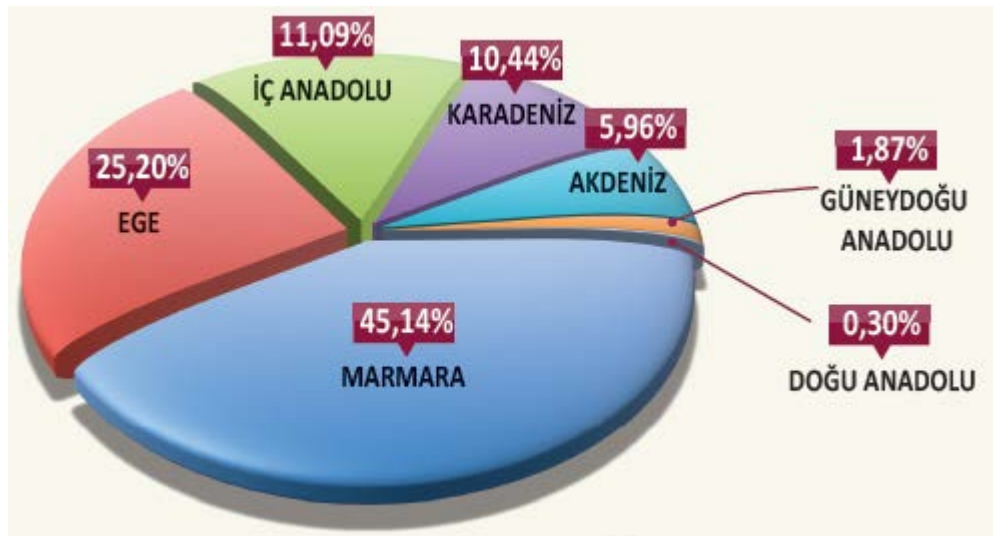


Şekil 1.15. İnşa Halindeki Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı – Temmuz 2015 [10]



Şekil 1.16. Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Santralleri İnşa Halindeki Güç Miktarı – Temmuz 2015 [10]

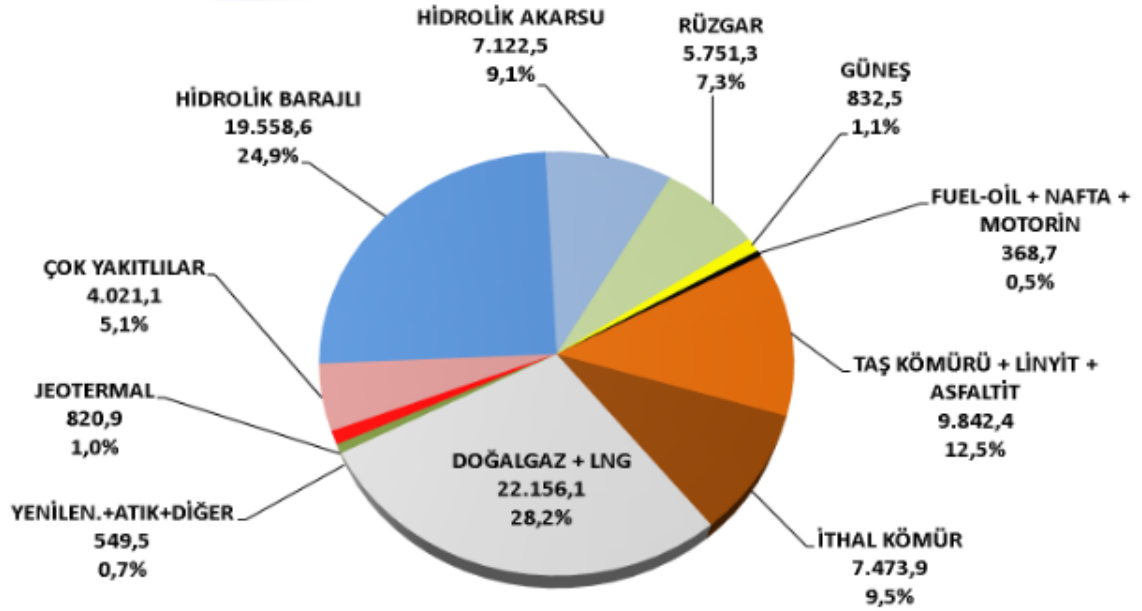
Lisanslı olup henüz inşa aşamasında olmayan rüzgâr santrallerinin kurulu gücü 3,371.6 MW'dir. Yoğun olarak Marmara, Ege bölgelerinde bulunmaktadır.



Şekil 1.17. Lisanslı Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı – Temmuz 2015 [10]

Türkiye'nin kurulu gücü Elektrik Mühendisleri Odası'nın yayınladığı verilere göre 2016 yılı sonu itibari ile 78,497 MW'dir. Bunun 5,751.3 MW'lık kısmını rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki payının % 7.3 civarında olduğu görülmektedir. 5,000 MW üzerinde inşa halinde ve lisanslı rüzgâr enerji

santrallerinin gelecekte kurulu güce ekleneceği düşünüldüğünde rüzgâr enerjisinin payının kısa süre içerisinde % 10'lara ulaşacağı görülmektedir.



Şekil 1.18. Türkiye'nin Elektrik Kurulu Gücü – 2016 Yılı Sonu [11]

Sonuç olarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanında geç de olsa yaptığı atak ile geçmiş zamanda yapılan hataları telafi etmek adına büyük yol aldığı söylenebilir. 2023 hedefleri doğrultusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca koyulan hedefin 20,000 MW kurulu rüzgar gücü olduğu düşünüldüğünde kat edilmesi gereken yolun uzun olduğu da görülmektedir. Türkiye'nin yüksek rüzgâr potansiyeline karşılık yerli teknolojinin geliştirilmesi, yerli istihdam ve maddi kaynakların içeride kalması açısından önemlidir.

1.2. Güneş ve Güneş Enerjisi

Güneş sisteminin merkezinde yer alan orta büyüklükteki yıldız Güneş denir. Güneş tek başına Güneş Sistemi kütleinin % 99.8'ini oluşturur. Geriye kalan kütle Güneş'in etrafında dönen gezegenler, asteroitler, göktaşları, kuyruklu yıldızlar ve kozmik tozlardan oluşur. Gün ışığı şeklinde Güneş'ten yayılan enerji, fotosentez yoluyla Dünya üzerindeki hayatın hemen hemen tamamının var olmasını sağlar. Ayrıca Dünya'daki hava durumu ve iklimlerin oluşumunda büyük rol oynar [12].

Samanyolu Gökadasında bilinen yaklaşık 200 milyar yıldızdan birisi olan Güneş'in kütlesi sıcak gazlardan oluşur ve çevresine ısı ve ışık şeklinde radyasyon yayar. Güneş'in çapı Dünya'nın çapının 109 katı (1.5 milyon km), hacminin 1.3 milyon katı ve kütleinin 333,000 katı kadardır. Yoğunluğu ise Dünya'nın yoğunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır. Güneş kendi eksenini etrafında saatte 70,000 km hızla döner ve bir tam turunu yaklaşık 25 günde tamamlar. Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C ve çekirdeğinin sıcaklığıysa 15.6 milyon °C'dir. Güneş'ten çıkan enerjinin 2.2 milyarda 1'i yeryüzüne ulaşır. Geriye kalan enerjisi uzayda kaybolur. Güneş'in üç günde yaymış olduğu enerji, Dünya'daki tüm petrol, ağaç, doğalgaz vb. yakıta eşdeğerdir. Güneş ışınları 8.44 dakikada yeryüzüne ulaşır. Güneş, Dünya'ya en yakın yıldızdır. Çekim kuvveti Dünya yer çekiminin 28 katıdır [12].

Güneş yüzeyi, kütleinin % 74'ünü ve hacminin % 92'sini oluşturan hidrojen, kütleinin % 24 – 25'ünü ve hacminin % 7'sini oluşturan helyum ile Fe, Ni, O, Si, S, Mg, C, Ne, Ca, ve Cr gibi diğer elementlerden oluşur [12].

Güneş enerjisi, Güneş'in yapısındaki hidrojenin füzyon tepkimeleri ile helyuma dönüşmesi sonucu ortaya çıkan ışıma enerjisidir. Güneş milyonlarca yıl daha bu tepkimeleri sürdürebilecek kapasitede olduğundan Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir. Güneş'ten gelen enerji, insanlığın yıllık ticari enerji gereksiniminden 16,000 kat daha fazladır. Dünya'daki toplam kurulu gücün 61,000 katı olduğu da söylenebilir [13,14].

Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışıma değeri yaklaşık olarak 1370 W/m²'dir. Bir bölgeyi etkileyen güneş enerjisi miktarı yeryüzünün şekli, dünya üzerindeki konumuna göre değişiklik göstermekte olup 0 – 1100 W/m² arasındadır. Güneş ışıınının tamamı yeryüzüne ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışıınının %20'si ise, atmosfer

ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının % 1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışınıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünyaya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür veya geri yansıtılır [13].

1.2.1. Geçmişten Günümüze Güneş Enerjisi

Dünya var oldukça var olan Güneş, eski çağlardan beri insanlığın en büyük enerji kaynağı olagelmıştır. İnsanoğlu da bu kaynağı anlayabildiği ölçüde kullanmıştır. Bilinen kaynaklara göre ilk defa M.Ö. 400 yıllarında Sokrat, evlerin güney yönüne daha fazla pencere koyarak güneş ışınlarının daha fazla miktarda içeri alınmasını belirtmiştir. Eski dönemde yapılan saraylara da bakıldığında güneş enerjisinden faydalanmak adına çok sayıda pencere koyulduğu görülmektedir. Yaklaşık M.Ö. 250 yılında Arşimet, Sirkuza şehrini kuşatan gemileri iç bükey aynalar kullanarak güneş ışınlarını odaklama yöntemiyle yakmayı başarmıştır. 1600'lü yıllara gelindiğinde Galileo'nun merceği bulmasıyla çalışmalar gelişme göstermiştir. İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mohuchok 1860 yılında parabolik aynalar yardımı ile güneş ışınlarını odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerine çeşitli deneyler yapmıştır [15].

Güneş enerjisi de rüzgâr enerjisi gibi 18. yüzyılda gerçekleşen sanayi devriminden olumsuz etkilenmiştir. 1900'lü yılların ilk yarısında fosil yakıtların tercih bakımından ilk sırada olması ve o yıllarda bu yakıtların Dünya üzerindeki zararlarının henüz tespit edilmemiş olması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yavaşlatmıştır. 1970'li yıllardaki petrol krizi güneş enerjisi teknolojileri üzerinde olumlu etki bırakmıştır. Yapılan çalışmalarla günümüzdeki seviyesine ulaşmıştır.

1.2.2. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Güneş enerjisinin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır.
- Çevreyi kirletici atıkları yoktur.

- Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu kolaydır. Enerji ihtiyacına uygun şekilde kolayca genişletilip daraltılabilir.
- Mekanik sistem barındırmadığı için uzun ömürlü, bakım ihtiyacı az ve işletmesi kolaydır.
- Elektrik şebekelerinin uzak olduğu kırsal bölgelerde uygun maliyetli hızlı çözüm sunar.
- Ayrıca çatılara kurulan sistemler ile evlerin ihtiyacı olan elektrik enerjisi temin edilebilir.
- Ulusal olması sebebiyle ülke ekonomisi için faydalıdır.

Dezavantajlarını ise şöyle sıralayabiliriz:

- Yılın her ayı, her günü ve her saati aynı miktarda güneşlenme süresine sahip olmadığı için sürekli bir üretim değerine sahip olamaz.
- Sistemin çevresinin kapalı ve gölgeli olduğu bölgelerde istenilen verim alınamaz.
- Güneş ışınlarının dik geldiği zamanlarda ısı yoğunluğunun fazla olması enerji üretiminin düşük olmasına neden olur.
- İlk kurulum maliyetleri yüksektir.

1.2.3. Dünya’da ve Avrupa’da Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinden çeşitli şekillerde faydalanmanın asırlarca sürmesine karşın elektrik üretimi için güneş enerjisi kullanımı 18. ve 19. yüzyıllardaki gelişmeler ile mümkün hale gelmiştir.

İskoç bilim adamı Robert Stirling 27 Eylül 1816’da icat ettiği bir makine için patent başvurusu yapmıştır. Bu makine ilerleyen tarihlerde Çanak/Stirling Sistemi adı verilen güneşin ısı enerjisini elektrik üretmek için yoğunlaştıran güneş ısı elektrik teknolojisinde kullanılmıştır [16].

1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemlene yoluyla ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz icat ederek fotovoltaiik etkiyi keşfetmiştir. Güneş ışığı cihaz tarafından soğurulduğunda, güneş enerjisi elektronları atomlardan koparıp malzeme içinde akmasına yol açar ve bu şekilde elektrik üretimi elde edilir. Işığın (fotonlar) elektriğe (gerilim) dönüştüğü bu sürece fotovoltaiik (veya fotoelektrik) etki adı verilmektedir. Becquerel’in bu dönüşüm süreci

güneş ışığının ancak % 1'ini elektriğe çevirebilmekteydi. Bir başka deyimle, bu dönüşüm sürecinin verimi sadece % 1'di [16].

Fotovoltaik etkinin ilk keşfinden sonra bilim adamları değişik malzemeler kullanarak fotovoltaik etkinin pratik bir kullanımını bulmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. 1873 yılında İngiliz bilim adamı Willoughby Smith selenyumun fotoiletken olduğunu keşfetmiştir. 1877 yılında yine İngiliz bilim adamları W.G. Adams ve R.E. Day katı selenyumdaki fotovoltaik etkiyi gözlemleyerek bu konuda bir makale yayımlamışlardır. 1884 yılında Amerikalı kâşif Charles Fritts selenyumu çok ince bir altın tabakasıyla kaplayarak dünyanın ilk çalışan güneş pilini yapmıştır. Selenyumun özellikleri yüzünden bu pilin verimi sadece % 1 civarında kalmıştır. Kullanılan malzemenin yüksek maliyetine karşılık verimindeki düşüklük bu pilin enerji üretiminde kullanımını engellemiştir. Ancak güneş pilleri konusunda araştırmalar sürmüş ve 1888, 1894 ve 1897 yıllarında Amerikan Patent Dairesi'nden güneş pilleri için çeşitli patentler alınmıştır [16].

Aynı yıllarda ısı güneş enerjisi konusundaki çalışmalar da devam etmiştir. Fransız bilim adamı Auguste Mouchout, endüstri devriminde kömürün kullanımı hususunda çağının çok ilerisinde yorumlarda bulunmuş ve kömürün sınırsız olmadığını söyleyerek alternatif enerji kaynakları konusunda çalışmalara başlamıştır. Ülkesinin kömüre bağımlılığı, endüstrinin ihtiyaç duyduğu kaynağı Avrupa'da bulmakta zorlanacağı, kömür bitince durumun ne olacağı gibi konuları öne çıkaran Mouchout, 1860 yılında yaptığı bir aygıt ile suyu güneş enerjisi ile kaynatarak elde ettiği buharla küçük bir buhar türbinini çalıştırmayı başarmıştır. Bu, dünyanın güneş enerjisiyle çalışan, bilinen ilk makinesidir. Mouchout 1861'de bu makinenin patentini aldıktan sonra çalışmalarını devam ettirmiş ve 1865 yılında, önceki icadını geliştirip çanak şeklinde bir reflektör kullanarak bir buhar türbinini çalıştırmıştır. 1872 yılında güneşi takip eden bir mekanizmayı da sisteme ekleyerek bir adım daha ileriye gitmiştir. Yaptığı önemli çalışmalarından ötürü ödüllendirilmesine rağmen hükümet icadın teknik olarak başarılı, fakat ekonomik olarak başarısız olduğuna karar vermiştir. Bu kararın ardında büyük ölçüde o zamanın yakıt ekonomisindeki değişim vardır. Kömür fiyatlarındaki düşüş Fransız ekonomisi üzerindeki baskıyı azaltmış ve bunun sonucu olarak da Mouchout'nun icadının gereksiz olduğu düşünülmüştür. O dönemde üzerindeki ilgiyi yitirmesine rağmen Mouchout'nun çalışmaları boşa gitmemiş, daha sonraki yıllarda yapılan çalışmaların, özellikle de 19.

yüzyılın sonlarına doğru John Ericsson tarafından keşfedilen parabolik oluk teknolojisinin, temelini oluşturmuştur [16].

Mouchout ile aynı yıllarda İngiliz William Adams da güneş enerjisi üzerine çalışmalar yapmıştır. 0,5 beygir gücü değerindeki Mouchout'nun makinesinden daha güçlü bir makine yapmak için daha büyük boyutlarda çanak şeklinde bir reflektör inşa etmenin imkânsız olduğunu düşünmüştür. Adams, problemleri; cilalanmış metal reflektörün kolayca paslanıp kararacak olması, inşasının çok pahalıya mal olması ve güneşi etkili bir şekilde izlemek için aşırı hantal olması olarak sıralamıştır. Bu sorunlara çözüm olarak düz aynaların yarım daire şeklinde toplandığı bir sistem önermiştir. Bu aynalar güneşin hareketini izlemek amacıyla bir grup olarak dönme hareketi yapacak ve böylece sabit bir kazana güneş ışınlarını yoğunlaştırılacaktır. Adams 1878 sonlarında bu planını uygulamaya geçirmiştir. 17x10 inç ölçüsündeki 72 düz aynayı Mouchout'nun orijinal tasarımına sadık kalarak bir kazanın çevresine yerleştirmiş ve odaklanma noktasında 649 °C sıcaklık elde ederek bu sistemle 2,5 beygir gücünde bir buhar türbinini çalıştırmayı başarmıştır. Adams'ın tasarımı günümüzün “Güneş Kulesi” kavramının temelini oluşturmaktadır. Sabit veya yarı çember bir hatta hareket eden düz veya hafif eğri aynalar ışığı ya yukarıya alıcı kuledeki bir kazana ya da aşağıya yer seviyesinde bir kazana yansıtmakta ve böylece bir ısı makinesini tahrik etmek için buhar üretmektedir [16].

Soğutma alanındaki önemli çalışmaları ile de bilinen Fransız mühendis Charles Tellier güneş üzerine yaptığı çalışmaları ile ilk yoğunlaştırmasız, yansıtmasız güneş makinesinin tasarımını gerçekleştirmiştir. Tellier 1885’de evinin çatısına bugün kullanılanlara benzer düz levha kolektörler yerleştirmiştir. Gündüz vakti güneşe maruz kaldığında bu sistem Tellier'in kuyusuna yerleştirdiği bir su pompasını saatte 1135 litre çekecek kapasitede çalıştırmaya yetecek güç üretmiştir. 1889’a gelindiğinde Tellier üst kısmını camla kaplayarak ve altını da yalıtarak kolektörlerin verimini arttırmayı başarmıştır. Tellier'den sonra güneş enerjisi ile ilgili önemli çalışmalar Avrupa’dan Amerika’ya kaymıştır [16].

İsveç doğumlu bir kâşif ve mühendis olan John Ericsson yaşamının büyük bölümünü daha sonra taşındığı Amerika Birleşik Devletleri’nde geçirmiştir. 1872 yılında Mouchout'nunkine benzer tasarımla konik/çanak reflektör kullanarak güneş ışınlarını bir Stirling motoruna yoğunlaştıran sistemi icat etmiştir. Ancak kendisinin alternatif enerji konusundaki gerçek icadı 1883’te parabolik oluğu keşfetmesidir [16].

Parabolik oluk uzunlamasına kesilmiş bir silindiri andırmaktadır. Tasarımındaki avantajı doğrusal olmasıdır. Çanak şeklindeki yoğunlaştırıcılardan farklı olarak parabolik oluk güneşi doğrusal olarak izleyebilmektedir. Yanlamasına dururken doğudan batıya bir çizgi üzerinde, yatay pozisyonda ise aşağı yukarı hareket edebilmektedir. Parabolik oluğun icadı çok büyük bir ilerleme olmuştur. Bu sayede 1912’de Meadi, Mısır’da 45 kW gücünde bir güneş makinesi inşa edilebilmiştir. Ancak Birinci Dünya Savaşı’nın çıkması ve düşen fosil yakıt fiyatları nedeniyle alternatif enerjiye olan ilginin azalması bu santralin kapanmasına yol açmıştır. Modernize edilmiş haliyle bu teknoloji günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır [16].

Güneş enerjisinin ticari uygulamaları ilk olarak ABD’de başlamıştır. Boston’lu Aubrey Eneas güneş makinesi deneylerine 1892’de başlamış ve 1900 yılında dünyanın ilk güneş enerjisi şirketini (The Solar Motor Co.) kurarak çalışmalarını 1905’e kadar sürdürmüştür. Bu süreçte geliştirdiği makineden 2 adet satmıştır. Fakat olumsuz hava şartlarına karşın dayanıksız kalan makinelere alıcılar kuşkuyla bakmış ve enerji şirketi daha uzun süre varlığını sürdürememiştir [16].

Fotovoltaik güneş enerjisi konusundaki çalışmalar da aynı zaman diliminde devam etmiştir. Özellikle Albert Einstein’ın 1905 yılında yayımlanan ve kendisine 1921 Nobel Fizik Ödülü’nü kazandıran Fotoelektrik Etki hakkındaki makalesi bu konudaki önemli kilometre taşlarından biridir. Fotovoltaik Güneş Enerjisi konusunda çalışmalar, deneyler ve patent alımları devam etmiş, 1946’da Russell Ohl’un çalışmasının ardından araştırmacılar Gerald Pearson, Calvin Fuller ve Daryl Chapin 1954’de ilk silikon güneş pilini yapmayı başarmışlardır. Bu ilk güneş pillerinin maliyetleri 286 USD/watt düzeyinde olmuş ve verimleri de % 4,5 – 6 civarına ulaşmıştır. Yüksek maliyetler nedeniyle bu ilk güneş pilleri daha çok uzay araştırmalarında kullanılmış ve maliyetlerin kabul edilebilir seviyelere düştüğü 1970’lere kadar deneysel çalışmalar dışında çok sınırlı uygulama alanları bulabilmiştir [16].

1920 ve 1930’lu yıllarda düz levha kolektörler kullanan güneş enerjili ısıtma sistemleri ABD’de özellikle California ve Florida gibi güneşli eyaletlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. 1860 ile 1914 yılları arasında geçen sürede güneş enerjisi alanında elliden fazla patent alınmasına rağmen güneş enerjisi pratik endüstriyel bir uygulama alanı bulamamış ve 1914 yılından sonra güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar elli yıllık bir duraklama yaşamıştır. Bunun ilk nedeni fosil yakıtların kullanımı ve taşınmasında

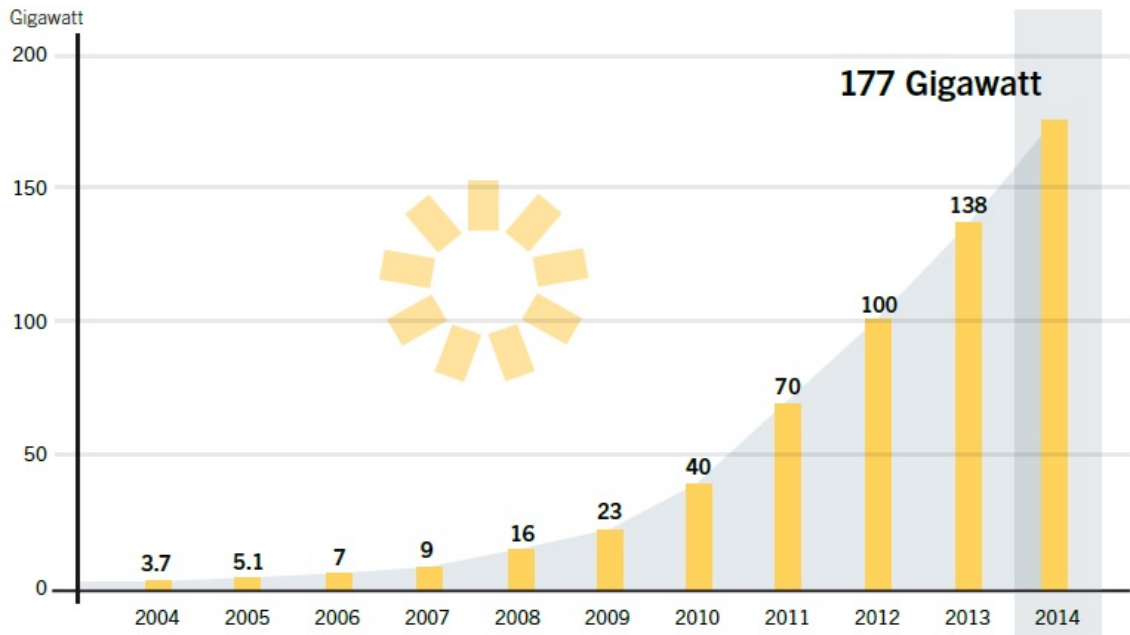
yaşanan devrimsel nitelikteki gelişmelerdir. Kömür ve petrol şirketleri çok geniş bir altyapı, dengeli ve kararlı pazarlar ve yüksek bir arz düzeyi sağlamada başarılı olmuşlardır. Bu süreçte, güneş enerjisi öncüleri, kamuoyunu güneş enerjisinin bilimsel merakın ötesinde bir değeri olduğuna ikna etme gibi bir zorlukla karşı karşıya kalmışlardır. Kolayca kanıtlanabilen elle tutulur sonuçlar olmadan, ileri görüşlü ve yenilikçi söylemler, ihtiyaçlarını en kolay ve kısa yoldan tatminine alışmış kamuoyu tarafından iyi algılanamamıştır. Var olan enerji teknolojilerini geliştirmek ve uyarlamak daha az riskli ve daha kontrollü olarak kabul edilmiş, daha mantıklı görünmüştür. Sonuç olarak, radikal ve yeni bir teknolojiyi uygulamaya geçirmek, ya topyekûn kendini adamayı, ya da var olan teknolojinin başarısız olmasını gerektirmektedir. 19. yüzyılın sonu 20. yüzyılın başındaki güneş enerjisi çalışmaları bu kriterleri karşılayamamıştır [16].

Daha önce de bahsettiğimiz üzere 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi ve çevresel duyarlılığın artması ve güneş enerjisi teknolojisinin gelişmesi ile maliyet ve verim açısından yatırım yapılabilir seviyelere gelmesi bu konu üzerine ilgiyi artırmıştır.

Bu gelişmelerin sonucunda, ilk endüstriyel tip enerji üretimi 1984 yılında Los Angeles’ta Luz Co. tarafından gerçekleştirilmiştir. Kurulan parabolik aynalı sistem ile 354 MW güç üretimi sağlanmıştır. 1990’lı yıllarda biri 10 MW’lık Kaliforniya’da, diğeri de 30 MW’lık Ürdün’de olmak üzere iki adet güneş kulesi sistemi kurulmuştur. Daha sonra, 2000’li yılların hemen başında güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ve yatırımlar artarak devam etmiştir. Özellikle fotovoltaiik sanayi üretimi büyük bir gelişme göstermiş [16].

2014 yılı sonuna gelindiğinde 177 GW kurulu güce ulaşılmıştır. Aynı zamanda 2014 yılı dünya genelindeki 40 GW’lık kapasite artışı ile bir yılda meydana gelen artış rekoru kırılmıştır. Ayrıca 2014 yılı sonuna gelindiğindeki dünya kurulu gücünün % 60’ı son 3 yılda sisteme eklenmiştir. Bu durum güneş enerjisi sektörünün ne denli hızlı büyüdüğünün ispatı niteliğindedir [17].

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde dünyadaki en büyük üç pazar Çin, Japonya ve ABD’den oluşmaktadır. Bunları Birleşik Krallık ve Almanya takip etmektedir. 2014 yılında beş ülke ulusal şebekelerinde birer GW’lık güneş enerjisi kapasite artışı sağlamışlardır. Böylece sistemlerinde en az 1 GW güneş enerjisi kurulu gücüne sahip ülke sayısı 20’ye yükselmiştir. Kişi başına düşen güneş paneli sayısında lider ülkeler sırasıyla Almanya, İtalya, Belçika, Yunanistan, Çek Cumhuriyeti ve Japonya’dır [17].



Şekil 1.19. 2004 – 2014 Yılları Arasında Dünya’da Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi [17]

Tablo 1.3’te güneş enerjisi santralleri kurulu gücü bakımından 2013 yılı sonu, 2014 yılındaki artış ve bu artış ile 2014 yılı sonunda ulaşılan değerler verilmiştir. Buna göre, 2014 yılındaki kurulu güç artışının yaklaşık % 60’ı Asya ülkelerindeki kurulumlar ile sağlanmıştır. Çin 10.6 GW yeni artış sağlayarak 17.4 GW’den 28 GW’ye ulaşmıştır. Çin’in yeni kapasite artışının % 80’lik kısmı büyük çaplı santrallerden, geri kalan kısmı küçük çaplı ve çatı üstü sistemlerden oluşmaktadır. Bununla birlikte Çin 2014 yılında güneş enerjisi kullanarak yaklaşık 25 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Japonya’nın güneş enerjisi pazarı 2014 yılında hız kesmeden büyümeye devam etmiştir. 9.7 GW yeni kapasite artışı ile toplam kurulu güç 23.3 GW’a ulaşmıştır [17].

Asya ülkeleri dışında meydana gelen 15 – 16 GW’lık kapasite artışının çoğu Kuzey Amerika ve Avrupa Birliği ülkelerinde olmuştur. Kuzey Amerika’da 6.7 GW’lık artış meydana gelmiştir. Bunun 0.5 GW’lık kısmı Kanada’da olmuştur ve Kanada toplamda 1.7 GW kurulu güce ulaşmıştır. 6.2 GW’lık kısım ise ABD’deki kurulumlardan oluşmaktadır. ABD 2014 yılı sonunda 18.3 GW’lık kurulu güce sahip olmuştur. ABD’de ilk defa aynı yıl içerisinde pazarı oluşturan üç büyük bölümde, kamu kuruluşları, ticari (özel) kuruluşlar ve konut sistemlerinin her birinde birer GW’lık artış sağlanmıştır [17].

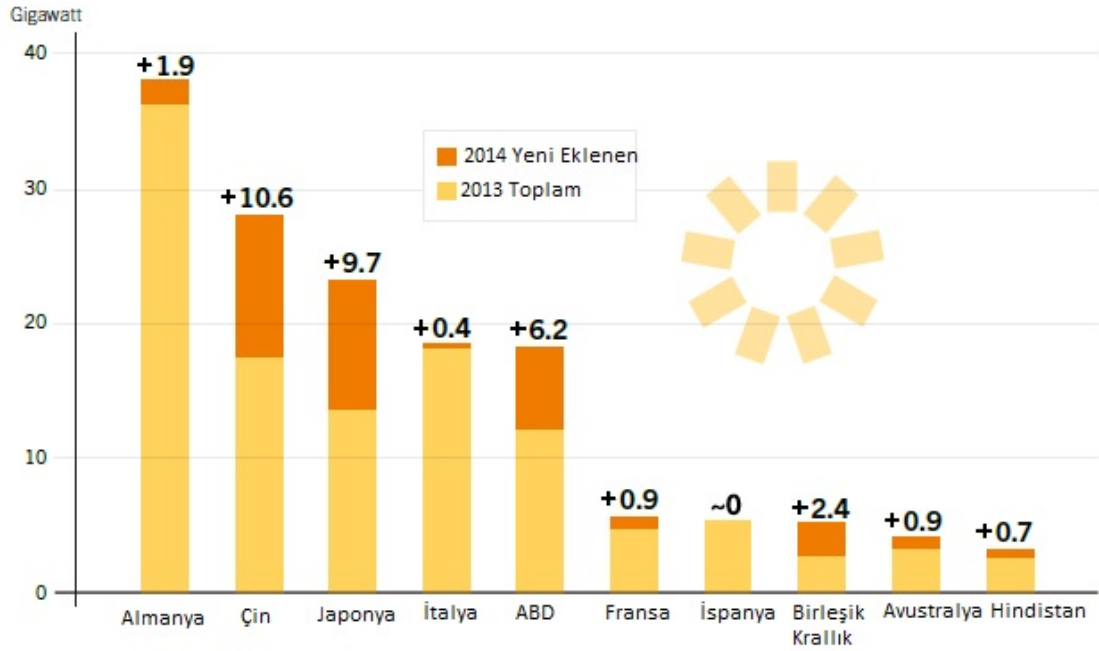
Avrupa Birliği 87 GW’lık kurulu güç ile dünyadaki en büyük bölgesel kapasiteye sahiptir. Bununla birlikte son 3 yılda Avrupa pazarında düşüş yaşanmaktadır. 2011 yılındaki 22

GW'lık büyük artışın ardından ilerleyen süreçte yaklaşık 6.3 GW'lık artış meydana gelmiştir. Birleşik Krallık ve Almanya Avrupa'nın önde gelen ülkeleri iken dünyada da 4. ve 5. sırada bulunmaktadır. Birleşik Krallık bir yılda meydana getirdiği 2.4 GW'lık artış ile 5.2 GW kurulu güce ulaşmıştır. 2014 yılında 125,000'den fazla konut sahibi çatı üstü sistem kurarak güneş enerjisinden elektrik ihtiyacını karşılamaya başlamıştır. Almanya ise Yenilenebilir Enerji Kanunu'nda belirttiği 2.5 GW yeni güç artışı hedefinin altında kalarak 1.9 GW'lık artış ile toplamda 38.2 GW kurulu güce ulaşmıştır. Sahip olduğu güneş enerjisi sistemleri ile 2014 yılında 33 TWh elektrik üretimi gerçekleştirmiştir [17].

Avustralya 2014 yılı yeni kapasite artışında dünyada 7. sırada yer almıştır. 0.9 GW'lık artış ile 4.1 GW seviyesine ulaşmıştır. Konut sahiplerinin yaklaşık % 14'ü çatı üstü sistemlere sahiptir. Güney Avustralya'da çatı üstü kullanımı % 24 civarında olup 15,000'den fazla firma kendi bünyesinde güneş enerjisi sistemi bulundurmaktadır [17].

	2013 YILI SONU TOPLAM (GW)	2014 YILI YENİ KAPASİTE (GW)	2014 YILI SONU TOPLAM (GW)
YENİ KAPASİTE ARTIŞINDA İLK 10 ÜLKE			
ÇİN	17,5	10,6	28,2
JAPONYA	13,6	9,7	23,3
ABD	12,1	6,2	18,3
BİRLEŞİK KRALLIK	3,4	2,4	5,2
ALMANYA	36,3	1,9	38,2
FRANSA	4,7	0,9	5,7
AVUSTRALYA	3,2	0,9	4,1
GÜNEY KORE	1,5	0,9	2,4
GÜNEY AFRİKA	0,1	0,8	0,9
HİNDİSTAN	2,5	0,7	3,2
TOPLAM KAPASİTEDE İLK 10 ÜLKE			
ALMANYA	36,3	1,9	38,2
ÇİN	17,5	10,6	28,2
JAPONYA	13,6	9,7	23,3
İTALYA	18,1	0,4	18,5
ABD	12,1	6,2	18,3
FRANSA	4,7	0,9	5,7
İSPANYA	5,3	~0	5,4
BİRLEŞİK KRALLIK	2,8	2,4	5,2
AVUSTRALYA	3,2	0,9	4,1
HİNDİSTAN	2,5	0,7	3,2
DÜNYA TOPLAM	138	40	177

Tablo 1.3. Yeni Kapasite Artışı ve Toplam Kapasite Sıralamasında İlk 10 Ülke [17]



Şekil 1.20. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminden Dünya'daki İlk 10 Ülke [17]

Dünya'nın geri kalanına bakılacak olursa Latin Amerika, ülkeden ülkeye değişen büyümeye sahip olmasına rağmen hızlı büyüme gösteren bölgesel bir markettir. Şili mevcut olan 12 MW üzerine 395 MW daha eklemiştir. Şili'nin büyümesinin büyük çoğunluğu maden endüstrisini destekleyen büyük ölçekli projelerden ve ürettiği elektriği piyasada satan işletmelerden oluşmaktadır. Meksika 64 MW'lık bir artış sağlarken, Brezilya 31 güneş enerji santralinden oluşan toplamda 1 GW kurulu güce sahip olacak büyük çaplı projeler için ilk adımı atmıştır. İlerleyen yıllarda bölgenin çözüm gerektiren öncelikli sorunları projelerin finansmanı ve yeni kapasite artışlarının sisteme entegrasyonu olacaktır [17].

Büyüyen ve gelişen ekonomilerde projelere finansman sağlayabilmek ortak bir problem olarak gösterilebilir. Büyük bankalar belirli projeleri destekleme kararı alırken öncelikli olarak düşük riskli yatırımlara yönelmektedir. Böyle olmasına rağmen dünyada bazı yeni pazarlarda dikkate değer kurulumlar yapılmaya başlanmıştır. Örneğin, Güney Afrika 0.8 GW'lık artış ile 2014 yılı yeni kapasite artışı sıralamasında dünyada 9. sırayı almıştır. Kenya izole alanlarda şebekeden bağımsız MW ölçeğinde sistemler kurmak üzerine yoğunlaşmıştır. Ruanda 2014 yılında 8.5 MW'lık bir sistem devreye almıştır ve bu sistem ülkenin elektrik kurulu gücünün % 7'sini temsil etmektedir. Yine Mısır 2014 yılında

açıkladığı ileriye dönük planlarında 2.3 GW kapasitede güneş enerjisi sistemi kuracağını belirtmiştir [17].

Birçok Orta Doğu Ülkesinde de güneş enerjisi üzerine hedefler koyulmuştur. İsrail bölgede başı çeken ülkelerden olup 2014 yılındaki 0.7 GW'lık kurulum ile bölgedeki yaklaşık % 50'lik kısmı temsil etmektedir. Ürdün ise bölgenin ilk üretim programını gerçekleştiren ülkesi unvanını almıştır. Birleşik Arap Emirlikleri de bölgede diğer ülkeler gibi önemli bir aktör olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek güneşlenme miktarı, hızlı artan enerji ihtiyacı gibi çeşitli sebepler bölgedeki ilgiyi artırmaktadır [17].

2015 yılı başında dünyada 50 MW üzeri kurulu güce sahip 70 adet güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Bunların içindeki en büyük 10 santral Çin, ABD ve Hindistan'dadır. Dünyanın en büyük 50 güneş enerjisi santralinin toplam kurulu gücü 7.1 GW'tır ve bu dünya kurulu gücünün % 4'ünü temsil etmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi bazı ülkelerde önemli rol oynamaya başlamıştır. Örneğin 2014 yılı sonu itibari ile yıllık elektrik ihtiyacının İtalya'da % 7.9'unu, Yunanistan'da % 7.6'sını, Almanya'da % 7'sini karşılamıştır. 2014 yılı sonunda Avrupa, yıllık elektrik ihtiyacının % 3.5'ünü karşılayacak güneş enerjisi kurulu gücüne sahiptir. Bu durum 2008 yılında sadece % 0.3 idi. Günümüzdeki, dünyanın mevcut güneş enerjisi kurulu gücü yıllık 200 TWh elektrik üretecek kapasitededir. Hızla artmaya da devam etmektedir [17].

1.2.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye dünyadaki konumunun verdiği avantaj ile birçok ülkeye kıyasla daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin bölgelere, illere göre tespiti için yıllar öncesinden çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri'nin kaydettiği veriler kullanılarak EİE (yeni ismi ile YEGM) tarafından yapılan çalışma ile Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresi günlük toplam 7.2 saat ve ışıyım şiddeti günlük toplam 3.6 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yine EİE'nin çalışması ile Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat ve yıllık yatay güneş ışıyım şiddetinin 1311 kWh/m² olduğu görülmüştür.

Türkiye genelinde ve her bir bölgede güneşlenmenin en fazla olduğu ay Temmuz en az olduğu ay ise Aralık ayı olarak tespit edilmiştir.

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311,16	2640,0
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

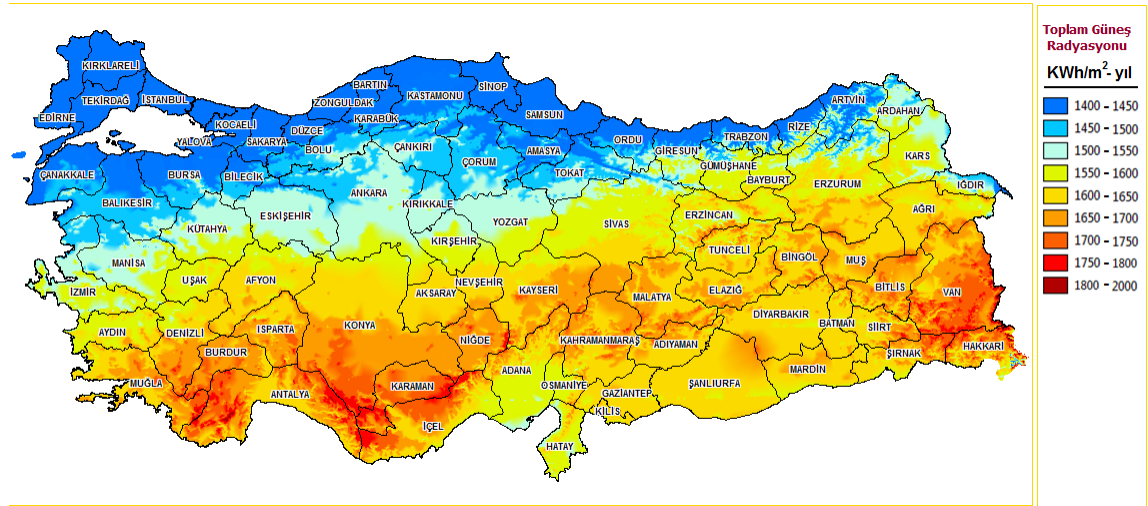
Tablo 1.4. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli [16]

Bölgelere göre yapılan çalışmada Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesinin 1460 kWh/m² ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi, ardından 1390 kWh/m² ile Akdeniz Bölgesi ve 1365 kWh/m² ile Doğu Anadolu bölgesi, en az güneş alan bölgesinin ise 1120 kWh/m² ile Karadeniz Bölgesi olduğu görülmüştür.

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ(Saat/yıl)
G.DOĞUANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Tablo 1.5. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı [16]

Günümüzde EİE tarafından hazırlanmış GEPA ismi verilen Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası güneş enerjisi üzerine yatırım yapmak isteyenlere önemli bilgiler sunmaktadır.



Şekil 1.21. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [Kaynak: EİE]

Atlasın oluşturulması esnasında kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonunun yapılması için EİE ve MGM istasyonlarında 1985 – 2006 yılları arasında kaydedilmiş 22 yıllık saatlik güneş değerleri kullanılmıştır.

Güneşin ısı enerjisi sıcak su elde etmede ülkemizde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Elektrik üretmede kullanılan sistemler, özellikle güneş pilleri yasal mevzuatların da oluşması ile yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bugüne kadar güneş pilleri, Türkiye’de çoğunluğu Orman Bakanlığı Orman Gözetleme Kuleleri, Türk Telekom, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve bazı üniversitelerde küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılmıştır. Bu nedenle kayda değer güneş pili kurulu gücü bulunmamaktadır [16].

Türkiye’de güneş enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olarak dikkate alınması 1960’lı yıllara dayanmaktadır. Güneş enerjisi uzun süre ilgiden yoksun kalmıştır. Türkiye’de ilk Güneş Enerjisi Enstitüsü 1978 yılında Ege Üniversitesi’nde kurulmuştur. İlerleyen yıllarda daha çok ısı amaçlı kullanılan güneş enerjisi, 1980’li yılların ortalarından itibaren elektrik enerjisi üretmek amaçlı pilot çalışmalarda da kullanılmaya başlanmıştır. EİE’nin bünyesinde kurulan Enerji Kaynakları Etüt İdaresi güneş pilleri üzerine

çalışmalara başlamıştır. 1988 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde fotovoltaik güç sistemi destekli su pompalama sistemi kurulmuştur. Bu uygulama Türkiye'de ilk olma özelliğini taşımaktadır. 1998 yılında Türkiye'deki şebeke bağlantılı ilk sistem EİE tarafından 4.8 kWp gücünde Didim'de kurulmuştur. 1990'lı yılların sonunda Telekomünikasyon sistemleri, gözetleme kuleleri, karayolları aydınlatması gibi amaçlarla kurulan sistemler 50 kWp gücüne ulaşmıştır. 2002 yılına gelindiğinde, o tarihe kadarki şebekeye bağlı en büyük sistem olan 10.4 kWp gücündeki sistem Muğla Üniversitesi tarafından kurulmuştur. Muğla Üniversitesi kurulu gücünü 2004 yılında 54 kWp'ye çıkarmıştır. 2005 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü İzmir'de şebekeye bağlı 22.4 kWp gücünde bir santral kurmuştur. Aynı yıl TÜBİTAK tarafından üniversitelerde güneş enerjisi üzerinde ilgiyi oluşturmak ve artırmak amacıyla üniversitelerarası güneş arabasıyla çalışan araba yarışması başlatılmıştır ve desteklenmiştir. 2006 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, Türkiye'deki üniversitelerde bu alanda bir ilk olan ve birim hücrelerden güneş panelleri üretimine olanak sağlayan Fotovoltaik Modül Üretim Laboratuvarı'nı kurmuştur [16].

Özellikle 2005 yılı sonrası çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve Lisanssız Elektrik Üretimi için çıkarılan yönetmeliğin de etkisi ile özel sektör güneş enerjisi üzerine daha fazla ilgi göstermiş, düşük kapasitelerde de olsa güneş enerjisi sistemleri kurulmaya başlanmıştır. Türk Telekom telekomünikasyon sistemleri için 250 kWp gücünde bir fotovoltaik sistem kurmaya karar vermiştir. GSM telekomünikasyon sistemleri için bazı küçük fotovoltaik sistemlerin kurulumu gerçekleştirilmiştir [16].

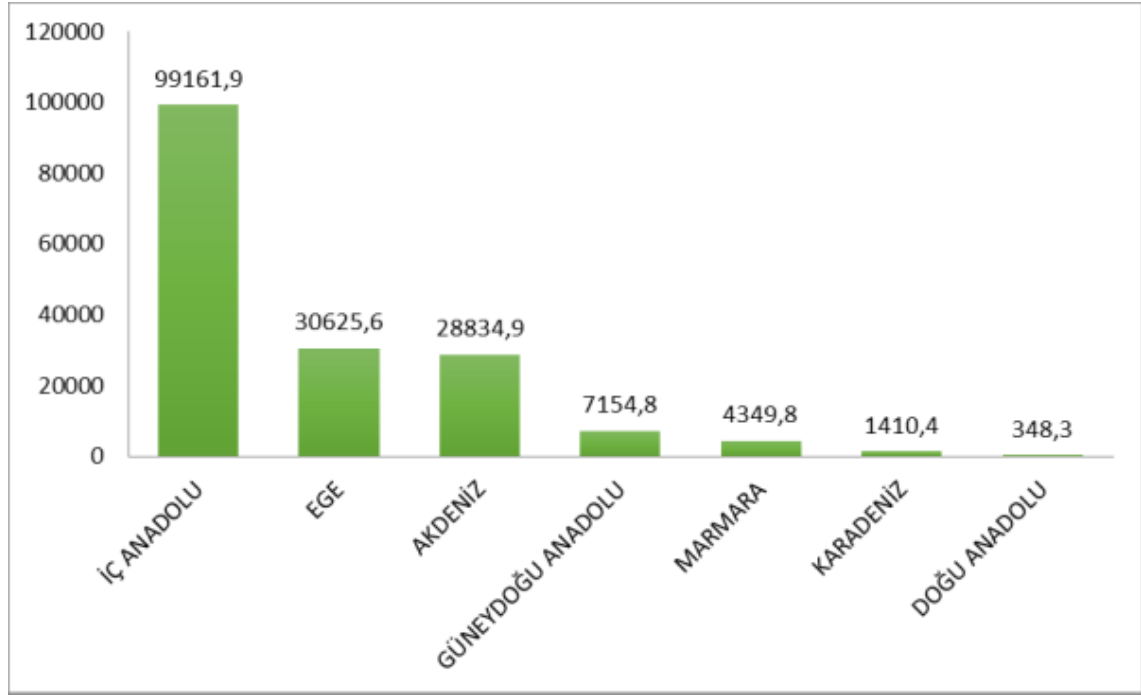
Güneş enerjisi alanındaki yatırımlar daha çok lisanssız elektrik üretim üzerine olmuştur. 21 Temmuz 2011 ve 26 Haziran 2012 tarihlerinde çıkarılan yönetmelik ve anlaşmalarla Lisanssız Elektrik Üretim serbest hale getirilmiş ve 500 kW üst sınır koyulmuştur. 14 Mart 2013'te kabul edilen Elektrik Piyasası Kanunu'nda sınır 1 MW olarak düzenlenmiştir. 16 Eylül 2015 tarihinde TEDAŞ'ın yayınladığı geçici kabulü yapılmış lisanssız elektrik santralleri listesinde 41 ilimizde güneş enerjisinden elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir. Geçici kabulü yapılan 287 adet Lisanssız Güneş Enerji Santralinin toplam kurulu gücü 179.86 MW'a ulaşmıştır. 56 santral ile toplamda 51.489 MW kurulu güç ile Kayseri ili ilk sırada gelmektedir. Onu Denizli, Ankara, Konya ve Niğde izlemektedir.

İl	Güç(kW)	Sayı
Adana	3170,8	7
Adıyaman	1570,4	4
Afyonkarahisar	1499,8	3
Ağrı	0	0
Amasya	0	0
Ankara	15444,3	25
Antalya	4922,5	16
Artvin	0	0
Aydın	1650	3
Balıkesir	1207	5
Bilecik	84	1
Bingöl	0	0
Bitlis	898	3
Bolu	0	0
Burdur	5920	7
Bursa	989	5
Çanakkale	0	0
Çankırı	0	0
Çorum	0	0
Denizli	16243	22
Diyarbakır	701,6	2
Edirne	493,4	1
Elazığ	999	1
Erzincan	0	0
Erzurum	0	0
Eskişehir	2767,8	4
Gaziantep	4142,8	7
Giresun	0	0
Gümüşhane	0	0
Hakkari	0	0
Hatay	516	3
Isparta	3318,6	6
Mersin	3814	4
İstanbul	351,4	2
İzmir	8263,8	28
Kars	0	0
Kastamonu	0	0
Kayseri	51489	56
Kırklareli	0	0
Kırşehir	0	0
Kocaeli	1225	4

İl	Güç(kW)	Sayı
Konya	13434,4	19
Kütahya	0	0
Malatya	5285,6	2
Manisa	1897	4
Kahramanmaraş	6273	10
Mardin	0	0
Muğla	1072	3
Muş	0	0
Nevşehir	1972	2
Niğde	9680	10
Ordu	0	0
Rize	0	0
Sakarya	0	0
Samsun	489,2	1
Siirt	0	0
Sinop	0	0
Sivas	1551,8	4
Tekirdağ	0	0
Tokat	0	0
Trabzon	0	0
Tunceli	18	2
Şanlıurfa	500	1
Uşak	0	0
Van	348,3	1
Yozgat	0	0
Zonguldak	0	0
Aksaray	0	0
Bayburt	0	0
Karaman	2822,6	5
Kırıkkale	0	0
Batman	0	0
Şırnak	0	0
Bartın	250	1
Ardahan	0	0
Iğdır	0	0
Yalova	0	0
Karabük	671,2	1
Kilis	240	1
Osmaniye	900	1
Düzce	0	0
TOPLAM	179086,3	287

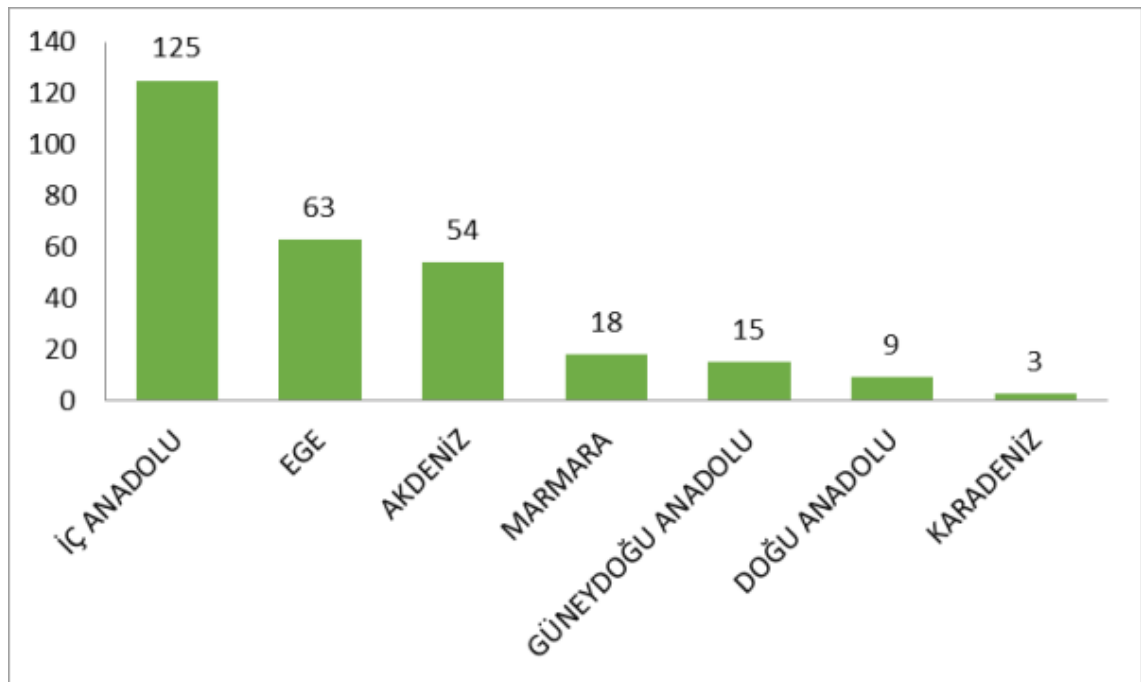
Tablo 1.6. Geçici Kabulü Yapılmış Lisanssız Güneş Enerjisi Santralleri [18]

Bu santrallerin bölgelere göre dağılımına bakıldığında, İç Anadolu Bölgesi'nin toplam kurulu gücün % 55'ini oluşturduğu görülmektedir. Daha sonra Akdeniz ve Ege Bölgeleri gelmektedir.



Şekil 1.22. Lisanssız GES'lerin Kurulu Güç Bakımında Bölgelere Göre Dağılımı (kW)

[18]



Şekil 1.23. Lisanssız GES'lerin Sayı Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı [18]

Güneş enerjisinden elektrik üreterek kendi ihtiyacını karşılama fikri yavaş yavaş sanayicilerin akıllarında yer edinmeye başlamıştır. Bunun en belirgin örneği Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde görülmektedir. Kayseri OSB 11,342.8 kW kurulu güce sahiptir ve onu yine Kayseri'deki İncesu OSB 6,000 kW ile takip etmektedir.

OSB	Güç(kW)	Sayı
ADİYAMAN OSB	380	1
ANKARA OSB	27	1
GEBKİM OSB	465	1
İZMİR K.PAŞA OSB	467	1
KAYSERİ İNCESU OSB	6000	6
KAYSERİ OSB	11342,8	11
KONYA OSB	850	1
MANİSA OSB	432	1
SAMSUN OSB	489,2	1
TOPLAM	20453	24

Tablo 1.7. Güneş Enerjisinden Elektrik Üreten Organize Sanayi Bölgeleri [18]

Günümüzde Lisanslı Güneş Enerji Santralleri için çalışmalar devam etmektedir. TEİAŞ tarafından daha önce 6 paket halinde yapılan yarışmalar ile toplamda 585.82 MW kurulu güç firmalar arasında paylaşılmıştır. İlk etabı 600 MW olarak planlanan lisanslı güneş enerjisi santral kapasitesi ilerleyen yıllarda hızla artmaya devam edecektir.

1.3. Hibrit Enerji Sistemleri

Hibrit enerji sistemleri farklı türden enerji kaynaklarının iki veya daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan sistemlerdir. Hidroelektrik, rüzgar, güneş, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra benzin veya dizel yakıtla çalışan jeneratörler de hibrit sistem parçası olabilir. Hibrit sistem oluşturmaktaki ana amaç gereksinim duyulan enerjinin sürekli ve kararlı bir şekilde temin edilmesini sağlamaktır.

Hibrit enerji sistemleri bazı durumlarda tekil enerji kaynaklarına göre maliyet açısından daha avantajlı hale gelebilmektedir. Bu durumun tespitinde bölgenin enerji potansiyeli en önemli etkenlerden bir tanesidir. Seçilen enerji kaynağı ile potansiyeli yeterli olmayan bir bölgede istenilen gücü üretmek daha fazla maliyete neden olmaktadır [27].

Yapılan çalışmalarda genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmektedir. Bu kaynaklardan yapılan enerji dönüşümünde, ihtiyaç duyulan bir yakıt olmaması bu kaynakları daha cazip hale getirmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi günümüzde yapılan hibrit sistem çalışmalarında sıklıkla kullanılmasının yanında ticari olarak da yaygınlaşmaktadır.

Şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilir. Şebeke bağlantılı adından da anlaşıldığı üzere her an şebeke ile bağlantıda olan, hibrit sistemin enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalması durumunda eksik miktarı şebekeden tamamlayacak şekilde tasarlanmış sistemdir. Şebeke bağlantısız sistem ise elektrik dağıtım hattına uzak noktalarda duyulan elektrik ihtiyacının giderilmesi için kullanılmaktadır. Genellikle kırsal bölgelerde, konar göçer hayat tarzı sürülen veya kısıtlı süre yaşam alanı olarak kullanılan yerlerde tercih edilmektedir.

Şebekeden uzak alanlarda hibrit enerji sistemleri kolay çözüm sunar hale gelmiştir. Bu sayede sistem üzerindeki yükün az da olsa azalacağı ve nakilden kaynaklı kayıpların bertaraf edileceği düşünülmektedir. Sistemin basitliği sebebiyle bakım masrafları azdır ve bakımı kolaydır. Bertaraf edilmesi gereken atık olmaması da yine maliyetleri azaltan önemli bir durumdur.

1.4. Literatür Taraması

Gökçöl, Sunan ve Dursun [19] bir evin enerji gereksinimini başka bir enerji kaynağı kullanmadan sadece rüzgâr enerjisi kullanarak karşılamak için bir çalışmada bulunmuşlardır. 2007-2008 yılına ait rüzgâr hız verileri bilinen Gebze’de bir ev için altı farklı rüzgâr türbini konfigürasyonunu incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda bir evin elektrik ihtiyacının sadece rüzgârdan karşılanmasının rüzgârın süreksizliğinden dolayı mümkün olmaması sebebiyle bataryalar ile destekli bir sistem olması gerektiğine kanaat getirmişlerdir. Evin günlük enerji kullanımını belirleyerek, enerjinin sürekliliğini bataryalar ile sağlayacak şekilde modelleyip, MATLAB’da bir program geliştirmişlerdir. Her bir rüzgâr türbini için gerekli olan batarya sayısını hesaplayıp maliyet analizi gerçekleştirmişlerdir. Fakat ele alınan bölgenin rüzgâr potansiyeli düşük olduğundan bu sistemin ekonomik olmadığı ortaya çıkmıştır. Öyle ki, 2.5 kW’lık Proven 2.5 rüzgar türbini evin ihtiyacı olan enerjiyi en düşük fiyat olan 0.57 \$/kWh’de üretirken elektriğin şebekeden geliş fiyatının maksimum değerinin 0.32 \$/kWh’ın yaklaşık iki katı kadar olduğu görülmüştür.

Keleş [20] Mechanical Desktop isimli bilgisayar programını kullanarak bir rüzgâr türbini tasarımı yapmış ve bunu geliştirmeye çalışmıştır. Tasarım sonrası imalat detayları çıkarmış ve tasarladığı türbini imal ederek montajını yapmıştır. Tasarım sırasında bir evin aylık elektrik ihtiyacı olarak 244 kWh, ortalama rüzgar hızı olarak 5 m/s ve 3.2 m çapında 3 kanatlı türbin verilerini referans almıştır. Türbin kanat profili olarak Naca 4415’i kullanmıştır ve kanadı türbinin en önemli parçası olarak tanımlamıştır.

Kekezoğlu [21] şebekeden bağımsız çalışan, rüzgâr türbini + güneş panelleri + dizel jeneratörden oluşan bir hibrit enerji sistemi üzerinde, rüzgâr ve güneş sistemlerinin sürekliliğini incelemiş ve sistem için risk değerlendirmesi yapmıştır. Dizel jeneratör, rüzgar ve güneş enerjisi kombinasyonlarından oluşan 250 kW gücünde bir sistem üzerinde çalışmış ve olası arıza durumları ile ilgili süreleri, bu süredeki üretilmeyen enerji miktarını ve bunun karşılanması için dizel jeneratörde kullanılacak mazot maliyetini, optimum şartlardaki maliyetleri hesaplamıştır. Çalışması sırasında senaryoların gerçekleştirilmesi için HOMER adlı programı, rüzgâr değerleri için IEEE test verilerini, güneş değerleri içinse ABD Arizona Eyaleti Wichita Falls Bölgesine ait güneş ışıınımı verilerini kullanmıştır.

Kara [22] Konya ilinde kullanılmak üzere güneş panellerini ve rüzgâr türbinini içeren ve bir evin ihtiyacını karşılamak üzere bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ilk etapta 6 adet 130 watt gücünde güneş paneli kullanmıştır. Çalışmasının güneşlenme süresinin az olduğu kış aylarına denk gelmesi sebebiyle bir evin ihtiyacını karşılayacak seviyede olmadığını ve sistemin üniversitede sadece bir odayı beslediğini söylemiştir. İlerleyen aylarda sisteme 300 watt gücünde bir rüzgâr türbini ilave ederek daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Sistemin günlük 5 saatlik tam kapasite çalışması üzerinden hesaplarını yapan Kara, 5.4 kW'lık üretim ile bir evin ortalama ihtiyacını karşıladığını fakat bu sistemin maliyet boyutu incelendiğinde ekonomik olmadığını belirtmiştir. Sistemin oluşturulması için 25,450 TL harcanması gerektiğini ve sistemin üreteceği elektriğin şebekeden alınması durumunda vergiler ile birlikte ödenmesi gereken yıllık tutarın 660 TL olduğunu hesaplamıştır. Maliyetlerin bu denli yüksek olmasını sistemi oluşturan parçaların birçoğunun yurt dışından gelmesine bağlamıştır.

Özdemir [23] yapmış olduğu çalışmada gün geçtikçe üretim maliyetleri azalan ve verimi artan temiz enerji kaynakları olan rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretim tekniklerinin kırsal alanda uygulanabilirliğinin araştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaçla kırsal bir evde kullanılan elektrik tüketen cihazların tüketim miktarlarını farklı firmaların teknik verilerini kullanarak belirlemiştir. Yaptığı analizlerde 17736 Wh (A), 12528 Wh (B) ve 8472 Wh (C) değerinde üç farklı tüketim senaryosu kullanmıştır. Farklı ortalama rüzgâr hızı ve güneşlenme miktarına sahip bölgelerde, tek tip güneş ve rüzgâr enerjisi üretiminin uygulanabilir olmadığını tespit etmiştir. Çalışmasının sonunda, Türkiye'de farklı bölgeler için en uygun güneş ve rüzgâr kombinasyonlarını belirlemiştir. Analizler esnasında 2000 Watt kurulu gücünde güneş paneli ve rüzgâr türbininden oluşan sistem kullanmıştır. Aylık ortalamalar dikkate alındığında Türkiye'nin büyük çoğunluğunda B ve C grubu tüketim değerlerinin 9 ay boyunca sistem tarafından karşılandığı, A grubu tüketim değerinin ise 7 ay boyunca karşıladığını tespit etmiştir. Yalnızca Doğu Karadeniz Bölgesi'nin bu sistemden 5 ay tam verim ile faydalanabileceği hesaplanmıştır. Kış aylarındaki enerji açığını kapatmak için ise sisteme 8000 VA gücünde ev tipi jeneratör eklenebileceğini belirtmiştir.

Bektaş [24] referans olarak Muğla ili Yatağan ilçesinin Yeşilbağcılar beldesindeki TOKİ Tarımköy projesinin konut örneğini seçerek ihtiyaç duyduğu enerjinin rüzgâr enerjisi tarafından karşılanabilmesi olanağını irdelemiştir. Rüzgâr hızı şehrin dokusu içinde dış

engeller tarafından azaldığından, kentsel alanda kurulan rüzgâr türbini kırsal alanda kurulan kadar verimli olmadığı görüşüne ulaşmıştır. Ayrıca kentsel alan içinde kurulan türbinin bakımı, onarımı ve binalara kurulumunun da kırsal alana göre daha zor olduğunu belirterek bu nedenle yaptığı çalışmada, rüzgâr enerjisinin kentsel alandan çok kırsal alanda kullanılmaya teşvik edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Çalışma yaptığı bölgede az katlı konutlar olmasına dikkat etmiş, binaların birbirinin rüzgârını kesmeyecek durumda bulunduğu varsayımı ile konutların hâkim rüzgâra göre yönlendirildiğini öngörmüştür. Türkiye'nin farklı rüzgâr bölgelerinde olduğunu kabul ederek, konutun ısıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer enerji yüklerini, enerji benzetim programı aracılığı ile hesaplamıştır. Türbine ve araziye ait özelliklerin sabit tutulduğu uygulamada, rüzgârın en düşük hızda estiği bölge olarak kabul edilen 4. bölgede yer alan Gerede'de rüzgârdan üretilecek enerji yıllık 999 kWh saat iken, en yüksek rüzgâr hızına sahip 1. bölgeden seçilen Bandırma'da ise aynı türbinden yıllık 6501 kWh saatlik enerji üretileceği hesaplanmıştır. Sonuç olarak her bölgede ısıtma ve soğutma için ihtiyaç duyulan enerji miktarı ile o bölgede rüzgârdan üretilebilecek enerji miktarının farklılık göstermesi kurulacak sisteme karar vermeden önce bölgesel olarak analizlerinin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Oğuz [25] güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan güç sistemi ile iki adet laboratuvarın aydınlatılması için gerekli olan 1072 wattlık enerji ihtiyacını karşılamak üzere çalışma yapmıştır. Aynı zamanda laboratuvar aydınlatmasına harcanan elektrik enerjisinde tasarruf sağlamak amacıyla PIC 16F877 ile yük kontrol sistemi yaparak uygulamıştır. Güneş ve rüzgar enerjisinden oluşan güç üretim sistemi için; 190W 24V'luk 3 adet mono kristal güneş paneli ve 600W'lık 3 fazlı sabit mıknatıslı senkron jeneratörlü (PMSG) rüzgar güç üretim sisteminden oluşan 1170 W'lık hibrit bir güç üretim sistemi kurmuştur. Aynı zamanda tüketim fazlası olan elektrik enerjisinin depolanması için 100 Ah, 12 V'luk 6 adet jel deep cycle akü grubu kullanmıştır. Üzerinde çalıştığı iki adet laboratuvarın manuel sistem ile çalıştırılması halinde aydınlatma için yıllık harcanacak miktarı 254.016 Wh, PIC kontrollü sistemin kullanılması halindeki miktarı ise 201,936 Wh olarak hesaplamıştır. Yıllık bazda 52,26 Wh'lık bir farkın % 20,6'lık bir enerji tasarrufuna tekabül ettiğini göstermiştir.

Aksoy [26] tarım arazilerinin elektrik hattına yakın olmaması ve bu sebepten dolayı sulama için dizel jeneratör kullanımı ile ürün maliyetlerine eklenen mazot masraflarının çiftçilerin gelirleri üzerinde olumsuz etki yaptığı düşüncesiyle bir çalışma

gerçekleştirmiştir. Çalışmasında 1500 W kapasiteli rüzgâr türbini ve toplam 480 W kapasiteli 4 adet fotovoltaik panelden ürettiği elektrik enerjisini, şarj kontrol cihazlarında regüle ederek kapasiteleri 12V 200 Ah olan toplam 4 aküde depolamıştır. 24 Volt DC olarak tasarladığı sistemden ürettiği elektrik enerjisi ile 2,5 m yeraltında bulunan sulama deposuna kurduğu 300 W gücündeki DC sürücülü dalgıç pompayı tahrik etmiştir. Türbin direği ile aynı yükseklik olan 10,5 metrede anemometre ile rüzgâr hızını Temmuz ayında ortalama 4,66 m/s olarak ölçmüş, rüzgâr türbininden 3805 Wh elektrik enerjisi üretmiştir. Yatayla 12° açı ile ve 0° güneye yönlendirdiği piranometre ile günlük toplam ışıyım değerini Temmuz ayında $7737 \text{ W/m}^2\text{gün}$ olarak ölçmüş, güneş panellerinden 2841 Wh elektrik enerjisi elde etmiştir. Yaptığı analizlerde, hibrit sistemle yıl boyunca rüzgâr türbininden 635 kWh, güneş panellerinden ise 738 kWh elektrik üretilebileceğini hesaplamıştır. Ölçüm süresince rüzgâr türbini verimini ortalama %33,3, güneş panellerinin hücre verimini %10,07 olarak hesaplamıştır. Üretilen elektrik enerjisi ile ortalama günlük $44,1 \text{ m}^3$, ay boyunca toplam 1368 m^3 su 2,5 m derinlikten çekilerek pompalanabilmektedir. Hibrit sistem ile pompalanan su doğal sulamaya ek olarak damla sulama yöntemi ile 12,4 dekar şeker pancarı, 13,0 dekar patates, 13,6 dekar mısır, 31,4 dekar kavun tarlası için yetebilecek miktardadır.

Köse [27] 1 – 45 kW arasında farklı güçlerdeki hibrit sistemlerle çalışma yaparak şebeke bağlantılı ve bağlantısız toplamda 16 farklı durum için sonuç elde etmiştir. Çalıştığı alan için rüzgâr hızının en düşük olduğu ay 3,9 m/s ile Eylül ayı iken en yüksek olduğu ay 5,3 m/s ile Şubat ayı olmuştur. Güneş panellerinden maksimum enerji elde etmek için panelleri çeşitli β ve γ açılarındaki konumlandırmıştır. $1^\circ - 70^\circ$ arasında 70 adet β açı konumu ve her bir β açı konumu için de $0^\circ - 100^\circ$ ve $(-10^\circ) - (-90^\circ)$ arasında 20 adet γ açı konumu değerlendirmiştir. Böylece bir güneş paneli için 1400 adet konum denemiş olup, aylık ve yıllık ortalama en yüksek güneş ışıyımı alan panel konumunu belirlemiştir. Yıl içerisinde en yüksek aylık güneş ışıyımı Temmuz ayında $\beta = 2^\circ$ açı konumunda gerçekleşmiş ve panele gelen güneş ışıyımını $197,8 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplamıştır. Bu saptamalar ışığında tüm durumların maliyet analizlerini hesaplamıştır.

Yoldar [28] 1.63 MW kurulu güce sahip olan bir sistem ile Hacettepe Üniversitesi Beytepe Yerleşkesi'nin ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılamaya yönelik çalışma yapmıştır. Beytepe Yerleşkesi'ne ait aylık elektrik tüketim verilerini, kapalı alan verileri ve çeşitli meteorolojik verileri kullanılarak MetrixND yazılımı yardımıyla oluşturmuştur.

Çalışmasında 2009 yılındaki 12 GWh'lik elektrik tüketimini referans almış ve 2020 yılına gelindiğinde bu miktarın yaklaşık olarak % 40'lık artış ile 16.9 – 17.5 GWh arasında olacağını öngörmüştür. Tasarladığı sistemin üretiminin ise yıllık 2.39 GWh olmasını beklemektedir. Yatırımın maliyetinin 3.330.740 € olduğunu, bu miktarın yaklaşık % 65'ini güneş panellerinin oluşturduğunu hesaplamıştır. Üretilen tüm elektriğin doğrudan şebekeye satılması durumunda sistemin geri ödeme süresini 9 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sürenin sistemin işletim süresi olan 25 yıldan kısa olması nedeniyle bu tür bir yatırımın ekonomik olarak yapılabilceğini kanaatine ulaşmıştır.

Elma [29] bir evin günlük elektrik enerjisi ihtiyacını inceleyerek gün içerisinde farklı saatlerde farklı miktarda elektrik talebi olduğunu tespit etmiştir. Tasarladığı sistemin ise yine gün içerisinde sürekli değişkenlik gösteren rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinden oluşacağı için ihtiyacı kesintisiz sağlayabilmenin sadece akü sistemi ile mümkün olduğunu belirtmiştir. Hem yük değişimi hem de rüzgâr ve güneşten elde edilecek enerji miktarının değişimi stokastik olduğundan, analizlerde istatistiksel yöntemler kullanmıştır. Bileşen boyutlarını belirlerken Matlab/Simulink programında oluşturduğu hibrit sistem simulasyonunu kullanmıştır. Ayrıca saatlik ve dakikalık verileri ayrı ayrı analizlere tabi tutmuştur. Akü kapasitesi tespitinde, saatlik veri kullanılması durumunda dakikalık veri kullanımına göre % 15 daha büyük kapasite olması gerektiği ortaya çıkmıştır. İlk maliyetlerin düşürülmesi için saatlik veriler yerine dakikalık veriler kullanarak çözünürlüğü artırmanın önemine vurgu yapmıştır.

Can [30] 2.5 kW gücünde bir motor ile 40 metre derinlikten saatte 7.5 m³ su çekmek amacıyla hibrit sistem tasarımı gerçekleştirmiştir. Tasarımında 40 adet 125 wp gücünde güneş paneli ve 1 adet 1.5 kW gücünde rüzgar türbini kullanmıştır. Sistemdeki güneş panelinden günlük 14 kW, rüzgar türbininden günlük 7.5 kW enerji almayı hesap ederek bu enerji ile motoru 8.5 saat çalıştırmaktadır. Bu süre içerisinde kuyudan 63.75 m³ su çekileceğini ve bu su ile 1 hektar tarım arazisinin sulanabileceğini belirtmiştir. Sistemin ekonomik boyutunu hesaplayarak, tüm ekipmanlar ile birlikte tasarladığı sistemin yaklaşık 90,000 TL'ye mal olduğunu belirtmiştir.

Ayhan [31] çalışmasında Türkiye'de pilot bir bölge seçip o bölgedeki güneş ve rüzgâr enerji potansiyelini incelemiş ve bu potansiyelin bina elektrik talebini karşılamada şebekeye bağımlı ya da şebekeden bağımsız hibrit elektrik sistemi olarak kullanılması durumunun teknik ve maliyet olarak analizini yapmıştır. Farklı meteorolojik senaryolar

oluşturarak karşılaştırma yapmıştır. Bina üzerine montajı yapılacak rüzgâr türbinleri için en uygun yeri belirlemede Hesaplama Akışkanlar Dinamiği programından yararlanmıştır. Sistem çalışmasının benzetimini yapmak ve yıllık benzetim bileşenlerinin sisteme etkisini daha iyi analiz etmek için HOMER yazılımını kullanmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda kentsel yerleşim alanlarında bina üzerinde rüzgâr yoğunluğunun daha fazla olduğunu ve bina yükseldikçe rüzgâr hızının da arttığını belirtmiştir. Bu nedenle montajı yapılacak rüzgâr türbini mümkün olduğunca yüksek binalara tesis edilmeli görüşüne varmıştır. 5 m/s ve üzeri ortalama rüzgâr hızları için çok daha iyi sonuçların elde edilebileceğini belirtmiştir.

Yalçın [4] İstanbul ilinde kurulması planlanan bir rüzgâr santrali üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada WASP paket programı ile yaptığı analizlerde, çalıştığı bölgede 52 m'den alınmış veriler ile çalışarak bölgenin rüzgâr hızı ortalamaları ve güç yoğunluklarını saptamıştır. Vestas firmasına ait 1.5 MW'lık V63 ve 2 MW'lık V80 modellerinin bölgeye uygunluğuna dair karşılaştırmasında V80 modelinin daha uygun olduğu kanaatine ulaşmıştır. Ayrıca türbinlerin sahaya konuşturulması çalışmasına önem arz eden hâkim rüzgâr yönünün tespiti için MATLAB programı yardımıyla 12 aylık veriyi incelemiş ve yön tespitinde bulunmuştur.

Demirtaş'ın [14] tasarladığı rüzgâr ve güneş enerjisini içeren hibrit sistem hem akü hem şebeke bağlantısı içermektedir. Bu sistem ilk etapta ihtiyacı karşılarlarken fazlasını aküye göndermekte, akünün de dolu olması durumunda şebekeye aktarılacak para kazanılmaktadır. Elde edilen çıkış gücünü devamlı olarak maksimum seviyede tutmak amacıyla "Maksimum Güç Noktası Takibi" (MPPT) yapacak şekilde konvertör tasarlamıştır. Konvertör bir mikro denetleyici üzerinden kontrol edilmekte ve sistemin akım ve gerilim bilgileri burada değerlendirilmektedir. Ayrıca güneş panellerinden elde edilecek enerjiyi en verimli şekilde üretebilmek amacıyla güneş takip mekanizması ve kontrol devreleri tasarlamıştır. Sistem parçaları arasındaki iletişimi sağlamak için haberleşme modülleri tasarlayarak sistemin sürekli olarak kayıt yapmasını sağlamıştır.

Ortaçtepe [32] güneş pili sistemleri üzerine yapmış olduğu çalışmada 30 adet konut içeren bir yazlık sitenin elektrik ihtiyacını karşılayan aküden bağımsız ve şebeke bağlantılı bir sistemin tasarımını gerçekleştirmiştir. Bir yıllık tahmini güneş ışınlama verilerini benzetim yöntemiyle üreterek modül başına günlük elektrik enerjisi üretim

değerlerini hesaplamaya çalışmıştır. Hazırladığı yazılım ile modül sayısı bazında farklı sistem önerileri türeterek bir karar destek sistemi oluşturmuştur.

	Tek Modül	Öneri 1	Öneri 2	Öneri 3
Modül Sayısı(Adet)	1	19	45	80
Kurulu Güç(kWp)	0,235	4,465	10,575	18,8
Toplam Üretim(kWh/yıl)	433,77	8241,64	19519,67	34701,64
Toplam Tüketim(kWh/yıl)	8128,4	8128,4	8128,4	8128,4
Toplam Maliyet(TL)	4195,56	46675,56	110920	196404,44
Toplam Kazanç(TL/yıl)	117,04	2225,17	5270,23	9369,67
Geri Dönüş(yıl)	36	21	21	21
Tüketimin Karşılanması(gün)	0	208	360	365

Tablo 1.8 Sistem Önerilerinin Karşılaştırılması [32]

Tasarladığı sistemlerde şebekeden alış ve şebekeye satış mümkün olacak şekildedir. İlk sistem önerisinde günlük ortalama elektrik tüketim değerini, ikinci öneride tüketimin üretime oranının en büyük olduğu aydaki üretim değerlerini baz almıştır. Üçüncü yöntemde ise kurulum alanına dönebilecek maksimum modül sayısı üzerinden analiz gerçekleştirmiştir.

Keçel [33] tasarladığı sistemin ekipmanlarının belirlenmesinde her ile ait güneş ışınım miktarlarını, aylık ortalama sıcaklık değerlerini, enlem derecelerini esas almıştır. Türkiye'nin değişik bölgelerinden seçtiği 58 ile ait değerlere göre, bu illerde bulunan kullanıcıların evsel elektrik ihtiyacının karşılanması için gerekli olan sistem ekipmanlarının teknik değerlerini bilgisayar programı ile web tabanlı olarak ortaya koymuştur.

Yıldırım ve Aydemir [34] yapmış oldukları çalışmada, küçük güçlü bir rüzgâr türbininde kullanmak üzere geliştirdikleri çekirdeksiz statorlu, sürekli mıknatıslı, çift rotorlu, eksenel akıllı bir jeneratörün sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmışlardır. Prototipini hazırladıkları rüzgâr jeneratörünün gerçek ölçülerinde bir modeli, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Ansoft Maxwell paket programında modelleyerek elektromanyetik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz ile model üzerinde manyetik akıların dağılımını ve rotor çiftinin açıl konumuna bağlı olarak çekirdeksiz statorda bulunan sargılar üzerinde indüklenen gerilimleri, farklı hız değerleri için, yüksüz ve omik

yüklü durumda hesaplamışlardır. Bu sonuçlar ile prototip makinede yapılan deney sonuçlarını karşılaştırarak gerçeğe yakın sonuç elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Toprak ve Akkaya [35] düşük güçlü rüzgâr enerjisi sistemi üzerine çalışmışlardır. Sistem, dahili şarj birimine sahip 400 W gücünde PM senkron jeneratörlü rüzgar türbini, akü birimi ve PWM inverterden oluşmaktadır. Rüzgâr türbininden elde ettikleri DC gücü AC'ye dönüştürmek için tek fazlı köprü tipi gerilim beslemeli bir inverter kullanmışlardır. İnverteri PIC 16F877 mikro denetleyici tarafından üretilen sinüzoidal PWM tekniği ile kontrol etmişlerdir. Sistemi MATLAB/SIMULINK ortamında da test etmiş, simülasyon ve deney sonuçlarının uyumlu olduğunu görmüşlerdir.

Hong ve arkadaşları [36] bir çiftlik binasının vantilatörü üzerinde çalışma yapmışlardır. 3 fazlı, sabit mıknatıslı senkron jeneratör, kule, konvertör ve ek donanımlar dizayn ederek sistem oluşturmuşlardır. Rüzgâr türbini için 3 farklı kanat profili oluşturmuşlardır. İlk 2 tipi ağaçtan, 1 m uzunluğunda 400 gr ve 800 gr'lık gruplar halinde üretmişlerdir. Diğer tipi ise epoksiden 0,77 m ve 660 gr ağırlığında üretmişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda 1. ve 2. tipin maksimum üretimleri 264 W ve 185 W, 3. tipin kullanılması halinde üretimin 350 W olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durum kanat tasarımının rüzgar türbini üzerindeki etkisini ispat etmektedir. Ayrıca çalışmalarında vantilatörün çalışması için verdikleri 1 kW'lık enerjinin, vantilatör çıkışındaki rüzgâr enerjisinin kullanılarak % 30'unun elektrik enerjisine geri dönüştüğünü görmüşlerdir.

Maouedj ve arkadaşları [37] Cezayir'de 600 W gücünde güneş paneli ve 1 kW gücündeki rüzgâr türbini ile çalışma gerçekleştirmiştir. Proje ile günlük ortalama 2640 Wh olan sokak aydınlatması için duyulan elektrik ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. İhtiyacın %84'ünü karşılayan güneş paneli birincil, %16'sını karşılayan rüzgâr türbini ikincil kaynak olarak görev yapmıştır. Sistemde 24V / 1600Ah özelliğinde bir akü kullanmışlardır. Yaptıkları ölçümlerde akünün saatlik bazda minimum %56, maksimum %74 şarjlı olduğunu tespit etmişlerdir.

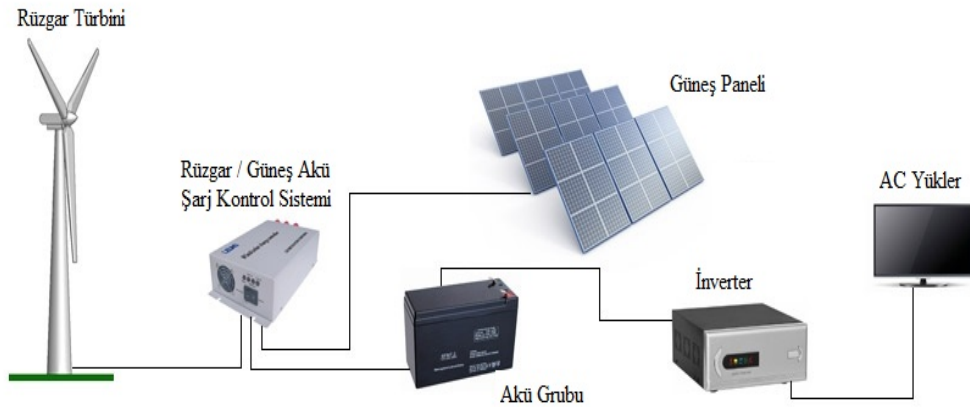
2. BÖLÜM

HİBRİT SİSTEM ELEMANLARI VE TASARIMI

2.1. Giriş

Günümüzde teknolojinin ve bilimin gelişmesi ile birlikte dileyenin evinde ihtiyaç duyduğu elektriği üretebileceği sistemler ortaya çıkmıştır. Hükümetlerin tüketicilere üretim konusunda kolaylıklar sağlaması ve teşvikler vermesi kendi elektriğini üretmek isteyenlerin artışında büyük oranda etkili olmuştur. Ayrıca kırsal bölgelerde nakil hattına oldukça uzak olma durumu nedeniyle bu sistemlerin daha ekonomik hale gelmesi diğer bir itici güç olmaktadır. Kurulan sistemler yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Çoğunun rüzgâr ve güneş enerjisini içeren sistemler olduğu söylenebilir. Hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle de diğer kaynaklar olarak gösterilebilir.

Rüzgâr ve güneş enerjisini içeren bir sistem ile üretilecek enerji, ihtiyacı karşılamada daha etkili olacaktır. Rüzgârın kararsızlığı ve güneşin gün içerisinde belirli sürede etkili olması ve bu sürenin aylara ve mevsimlere göre değişkenlik göstermesi, bahsedilen enerji türlerinin birbirini tamamlayıcı olarak kullanılabileceği fikrini doğurmaktadır. Bu fikir ile 2 enerji türünden oluşan bir hibrit sistem Şekil 2.1’de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Şekil 2.1. Rüzgar ve Güneş Enerjisini İçeren Bir Sistem

2.2. Hibrit Sistem ve Parçaları

Bir evin elektrik ihtiyacının tamamını veya bir kısmını karşılayabilmek amacıyla rüzgâr türbini ve güneş panelini içeren bir hibrit sistem düşünülmüştür. Bu sistemin ürettiği güç doğrudan kullanılabilir. İhtiyaç fazlası olması durumunda aküde depo edilerek üretimin ihtiyaçtan düşük olduğu zamanlarda kullanılacaktır. Sistemde akünün şarj edilmesi ile ilgili olarak akü şarj kontrol devresi, AC yükler için gerekli dönüşümü yapmak üzere inverter kullanılacaktır.

2.2.1. Rüzgâr Türbini

Rüzgârın enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü makinalara rüzgâr türbini denilmektedir. Rüzgârın kinetik enerjisi kanatlar vasıtasıyla önce mekanik enerjiye dönüştürülür. Daha sonra jeneratörde mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilir. Atmosferde daha üst seviyelere çıktığında daha pürüzsüz rüzgâr olması, üretimi olumlu yönde etkilemektedir. Aynı şekilde kanat çapının büyümesi alınan rüzgâr miktarını artıracığından elektrik üretimi üzerinde olumlu etki yapmaktadır.

Bir rüzgâr türbini; türbin temeli, kule, kanat, nasel, gövde (hub), kontrol sistemi ve modele göre dışarıda veya içeride bulunan yükseltici trafodan oluşmaktadır.

2.2.1.1 Türbin Temeli

Rüzgâr türbininin tamamının ağırlığını taşıyan kısım türbin temelidir. Türbinin ağırlıkları, salınımı gibi temeli etkileyecek tüm faktörler dikkate alınarak temelin olması gereken genişliği ve yüksekliği, demir ve beton miktarları tespit edilir.



Şekil 2.2. Türbin Temeli İçin Açılan Çukur



Şekil 2.3. Temel İçin Yüzeyin Hazırlanması



Şekil 2.4. Türbinin Üzerine Oturacağı Ankraj ve Temel



Şekil 2.5. Temelin Kafes Şeklinde Örülmesi



Şekil 2.6. Beton Dökümü Yapılmış ve Rüzgar Türbini Dikilmeye Hazır Temel

2.2.1.2. Kule

Kule, rüzgâr türbininin nasele ve kanatlarının ağırlığını taşıyan kısımdır. Rüzgâr türbininin kurulu gücü arttıkça kulenin de uzunluğu artmaktadır. Kule yüksekliği saha koşullarına göre de değişebilmektedir. Bazen nakliye, ülkelerin mevzuatları ile verdiği maksimum yükseklik izni gibi hususlar da kule yüksekliğini etkileyebilmektedir. Fakat son yıllarda limitler artırılmış, 150 m ve üzeri sistemler kurulabilmektedir [1].

Kuleler çoğunlukla tubular şekilde üretilmektedir. Tubular kulede temel tarafında çap daha büyük ve yukarıya çıktıkça daralan şekilde olmaktadır. Rüzgâr türbininin kurulu gücü arttıkça kule boyu ile birlikte kulenin çapı da artmaktadır. Çapın büyümesi özellikle nakliyede bazı sıkıntıları beraberinde getirmektedir. Dünya üzerindeki birçok üst geçit veya tünel yüksekliğinin 5m civarında olması kulenin çapının buna uygun olarak üretilmesi zorunluğunu getirmektedir [1].

Kuleler nakliye esnasında taşıma kolaylığı sağlamak amacı ile 20 – 30 m arasında değişen boyutlarda üretilmektedir. İçerisine tırmanmak için merdiven döşenmektedir. Ayrıca naselden aşağıya inen güç kabloları kulenin iç yüzeyine tutturulmaktadır [1].

Kule genelde çelik veya betondan üretilir. Birçok standart benzer olduğundan genellikle, yakıt tankı, basınç tankı veya endüstriyel kazan üreten fabrikalar kule üretimi de yapabilmektedir. Kule parçaları flanş yolu ile cıvatalarla tutturularak montajı yapılmaktadır. Flanş her iki kule parçasının birleşme yerlerine kaynaklanarak cıvata ve somunlar ile tutturulmaktadır [1].



Şekil 2.7. Kulenin Nakliyesi



Şekil 2.8. Kulenin Montajı

2.2.1.3. Kanatlar

Rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren kısım kanatlardır. Kanat tasarımının yapılması oldukça karmaşık bir süreci kapsamaktadır. Bu sürece kanadın şekli, yapısı, materyaller etki etmektedir. Tasarımda özellikle aerodinamik yapının en verimli şekilde kullanılmasına dikkat edilmektedir. Çünkü rüzgâr elde edilecek enerjiyi kanat aerodinamiği belirlemektedir [1].

Kanat imalatında cam fiber ve reçine kullanılmaktadır. Cam fiber sağlam ve çok amaçlı kullanılabilen bir maddedir. Cam fiber ve polyester kanadın teknolojisi üzerinde önem taşımaktadır. Reçine ise yüksek viskoziteye sahip hızlı bir şekilde sertleşen ve fiber ile iyi bir şekilde yapışan bir maddedir. Kanadın imalatından sonra dinamik ve statik testlere tabi tutulmaktadır. Ayrıca rüzgâr türbini için büyük tehlike arz eden yıldırımdan korunma konusunda kanat aktif görev almaktadır. Üzerinde bulundurduğu yıldırım koruma tertibatı ile yıldırım toprağa verilmektedir [1].



Şekil 2.9. Rüzgar Türbini Kanadının Montajı

2.2.1.4. Nasel

Nasel, kanat tarafından sağlanan mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği kısımdır. İçerisinde veya üzerinde jeneratör, dişli kutusu, ana yatak, hidrolik sistemi, yaw sürücüsü, pitch sürücüsü, soğutma sistemi, havanın sıcaklığını, nemini, rüzgârın hızını ve yönünü ölçen sensörler ve modele göre yükseltici trafo bulunmaktadır [1].

Rüzgar türbinlerinde genel olarak asenkron jeneratör, senkron jeneratör ve doğru akım jeneratörleri kullanılmasına karşın günümüzde yoğun olarak asenkron jeneratör tercih edilmektedir. Bu jeneratör sabit stator ve dönen rotor olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Asenkron jeneratörler şebeke frekansından biraz yüksek frekansta çalışırlar. Senkron hızdan çok az farklı bir hız ile uyum gözetmeksizin şebekeye bağlanabilirler. Asenkron jeneratörlerin dezavantajı ise ikaz akımını şebekeden çekerek reaktif güç tüketmesidir. Bu sorun sisteme kapasitör bağlanarak çözülebilmektedir [1].

Jeneratörün dönüş hızını arttırmak amacıyla dişli kutusu kullanılır. Dişli kutusu kanat tarafından verilen mekanik enerjinin jeneratöre aktarılan kısmında yer alır. Böylece hız 1500 RPM seviyelerine yükseltilebilir [1].

Naselde jeneratör çıkışında üretilen AC gerilimi önce DC gerilime dönüştüren sistem ve sonrasında istenen frekans ve gerilim değerinde çıkış veren inverter teknolojisi kullanılır [1].



Şekil 2.10. Vestas V100 Modeline Ait Nasel



Şekil 2.11. Nasel Montajı

2.2.1.5. Gövde (Hub)

Kanatların bağlı olduğu kısma gövde (hub) ismi verilmektedir. Demir alaşımlı malzemeden yapılmaktadır ve içerisine 2 kişi rahatlıkla sığabilir [1].



şekil 2.12. Vestas V100 Modeline Ait Gövde

2.2.1.6. Kontrol Sistemi

Elektronik kontrol sistemi, rüzgar türbini ile ilgili bazı istatistik verileri anlık olarak kaydın yapıldığı server sistemine iletmektedir. Ayrıca hidrolik pompalar, valfler, motorlar, sensörler gibi nasel içerisindeki sistemlerden aldığı sinyalleri işleyerek gerekli yerleri komuta etmekte ve server sistemine de iletmektedir. Bu iletim fiber optik kablolar vasıtası ile gerçekleşmektedir. Scada sisteminin de kullandığı bu veriler ile uzaktan izleme ve müdahale etme imkânı bulunmaktadır. Ayrıca server sisteminin modem ile internete bağlanması ile trbınler dünyanın her yerinden ulaşılabilir hale gelmektedir [1].

Kontrol sistemi kullanılmasının yöneticilere en büyük avantajı rüzgâr türbininde meydana gelen herhangi bir arızayı anında ve yerini bildirerek arızanın kısa sürede giderilmesini sağlamasıdır. Bu durum üretim kayıplarının önüne geçilmesini sağlar.

Server sisteminin geçmişe ait verilere ulaşma imkânı sağlaması, sistem arızaları, havanın sıcaklığı, rüzgârın hızı, yn, üretim gibi bilgi akışı sağlanan durumlar ile ilgili her bir türbine ait veya genel olarak istatistik çıkararak fikir edinme ve gerekli önlemlerin alınmasında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.13. Vestas V100 Modeline Ait Kontrol Sistemi

2.2.1.7. Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri eksenlerine göre sınıflandırmada yatay ve düşey eksenli olmak üzere 2 çeşit üretilmektedir.

Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde kanatlar düşey safta bağlanmıştır. Rüzgâr doğrultusundan etkilenmedikleri için yönlendiriciye ihtiyaçları yoktur. Bütün elektromekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları da daha azdır. Yatay eksenli türbinlere göre bu avantajlarının yanı sıra, dezavantajları daha çoktur. Türbin kanatlarının dizaynı dolayısıyla verimleri düşüktür, kanatların yere yakınlığı sonucu daha düşük rüzgâr hızında çalışmak durumundadırlar ve bu enerji üretimini azaltır. Ayrıca bu türbinlerin, yere bağlanmaları için çelik halatlara gereksinim duyulur. Verimin düşüklüğü dolayısıyla düşey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamıştır [20].



Şekil 2.14. Düşey Eksenli Rüzgar Türbini

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde dönme eksenini rüzgâr yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgâr yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir [20].

Günümüzde 50 W'tan 5 MW ve üzeri değerlere kadar üretilmektedir. Küçük güçteki rüzgâr türbinleri çok sayıda kanat içeren şekilde de tasarlanırken, büyük güçlere ulaşıldıkça üç kanatlı rüzgâr türbinleri tercih edilmektedir.



Şekil 2.15. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini

2.2.1.8 Gücüne Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri gücüne göre küçük, orta ve büyük olmak üzere 3 sınıfa ayrılırlar. Güç ile kanat çapı doğru orantılı bir şekilde artış gösterir. Orta ve büyük ölçekte olan rüzgâr türbinleri daha çok ticari işletme amaçlı kullanılırken küçük ölçekteki rüzgâr türbinleri genel olarak ev tipi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ev tipi uygulamaların çoğunluğu elektrik şebekelerine uzak kırsal bölgelerde yer almaktadır.

Ölçek	Kanat Çapı	Gücü
Küçük	< 12 m	< 40 kW
Orta	12 – 45 m	40 – 999 kW
Büyük	> 45	> 1 MW

Tablo 2.1. Rüzgar Türbinlerinin Gücüne Göre Sınıflandırılması

Küçük ölçekteki sistemler şebeke ile paralel çalışan ve şebekeden bağımsız çalışan şekilde tasarlanabilir. Şebekeden bağımsız çalışan sistemlere ada sistem denmektedir. Bu sistemlerde akü bulunur ve ihtiyaç fazlası aküde depolanır veya üretimin az olması durumunda aküden karşılanır. Bu sistemler genel olarak yatlarda, elektrikli çitlerde, uzak bölge aydınlatmasında, küçük güçlü iletişim sistemlerinde, tarımda sulamada, alarm sistemlerinde kullanılır.

Küçük ölçekli rüzgâr türbinleri genellikle dişli kutusu içermektedir. Bu dişli kutusu sayesinde jeneratördeki dönüş hızı arttırılmaktadır. Bunun yanında sürekli mıknatıslı sistemlerde dişli kutusu olmayıp düşük rüzgâr hızlarında ve düşük devirlerde daha yüksek enerji üretimi sağlanabilmektedir.

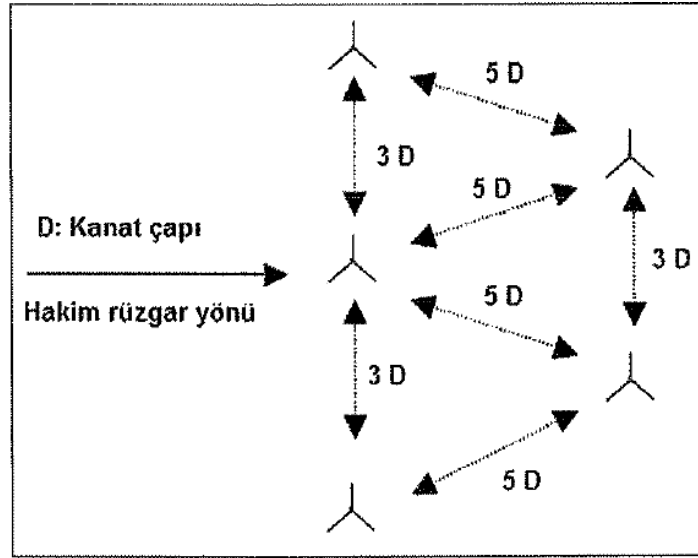


Şekil 2.16. Küçük Ölçekli Rüzgâr Türbini

2.2.1.9. Türbin Yerleşimi

Rüzgâr santrali kurulacak saha içinde rüzgâr türbinlerinin en fazla üretim yapabilecek şekilde yerleştirilmesi işlemine mikro konuşlandırma denilmektedir. Bu işlem gerçekleştirilirken harita incelemelerinin yanı sıra sahada etüt yaparak rüzgâr türbininin yerleştirileceği alan dikkatle seçilmelidir. Rüzgâr türbinleri bazı projelerde bir hat boyunca yerleştirilirken bazen de sıralı bir şekilde ardıl olarak yerleştirilmektedir [1].

Proje sahasının 1:25000 ölçekli haritası bilgisayar ortamına aktarılır. Rüzgâr ölçüm direğinin koordinatları referans nokta olarak belirlenir. Ölçüm direğinden alınan veriler de değerlendirilerek türbin yerleşimi için uygun yer tespiti yapılır [1].



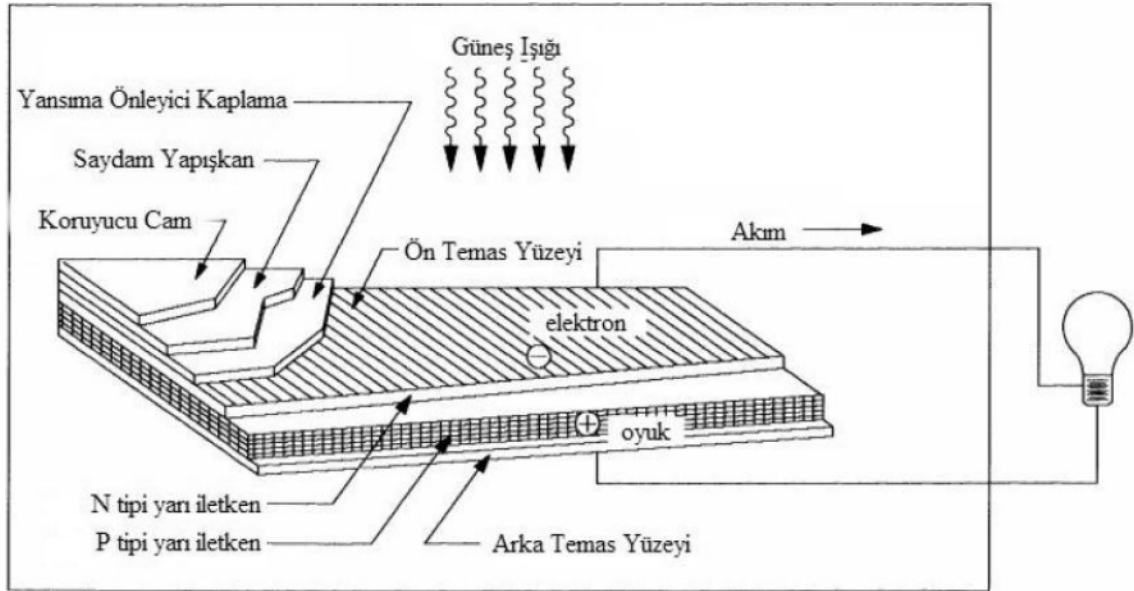
Şekil 2.17. Mikro Konuşlandırma

2.2.2. Güneş Paneli

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerden bir tanesi güneş panelleri (güneş pilleri veya fotovoltaik piller) ile oluşturulan sistemlerdir. Fotovoltaik piller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Fazla elektron bulunan n-tipi yarıiletken ile fazla boşluk bulunan p-tipi yarıiletken yan yana gelerek tek bir kristal meydana getirmesi durumunda fazla elektronların boşluklara atlamasıyla doğru akım meydana gelir. Güneş pillerinin verimleri tasarım, madde yapısı ve imalat şartlarına bağlı olarak % 6 – 35 arasında değişir. Güneş pillerinin 35 yıllık gelişiminde, özel ve kamu destekli araştırma ve geliştirme çalışmaları esas olmuştur. Güneş pili fiyatlarındaki düşüş ve elektrik üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı kullanımında artış görülmektedir. Güneş pilleri pahalı olmasına karşın, hiç bir hareketli parça olmaması ve sorunsuz olarak en az bakımla 25–30 yıl kullanılabilmesinin yanı sıra çalışma süreleri boyunca doğaya hiç bir kirlenici atık bırakmamaları üstünlükleridir [16].

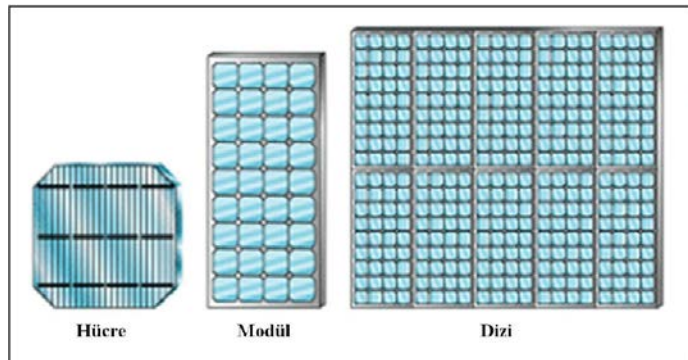
Güneş pillerini oluşturan hücreler ışığı emen, elektronları uyaran ve böylece akım taşımak için boşluklar oluşturan iki veya daha fazla özel hazırlanmış yarıiletken madde katmanı içerir. İki ayrı özelliğe sahip yarıiletken maddenin temas yüzeyi, elektronların bir devrede dolaşmasının sağlayacak gerilimi oluşturur. Bu gerilimi kullanmanın bir yolu cihazda iki veya daha fazla ince yarıiletken madde katmanı kullanmaktır. Bu hücrelerin alanı bir kaç cm^2 den 3–4 m^2 ye kadar değişmekte ve silikon, galyum arsenit, şekilsiz silikon, bakır

indiyum diselenit, kadmiyum tellürit ve birçok farklı yarıiletken maddeden yapılmaktadır. Birçok hücreyi bir modüle bağlamak daha yüksek bir güç çıkışı sağlar ve hücreler için koruyucu kaplama oluşturur [16].



Şekil 2.18. Güneş Hücresinin İç Yapısı [22]

Fotovoltaik piller, modüller halinde olduğundan ihtiyaca göre boyutlandırılabilir. Yeni sistemlerin tasarımı, kuruluşu ve çalıştırılması veya var olan sistemlere ek yapılması için geçen süre diğer konvansiyonel güç üretim tekniklerinde gereken sürenin küçük bir kısmıdır. Ayrıca bu sistemlerin basitliği düşük çalışma ve bakım maliyeti sağlar. Fotovoltaik piller ile jeneratörler karşılaştırıldığında, pillerde hiç bir hareketli parça olmaması dolayısıyla bakım, tamir ve yedek parça maliyetleri daha düşüktür. Çalışma maliyeti sıfır olup yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini düşürmektedir. Tipik bir sistemin kullanım süresi yaklaşık 20 yıldır [16].



Şekil 2.19. Güneş Hücrelerinin Birleşmesi İle Oluşan Modül ve Dizi [22]

Fotovoltaik pillerin uygulama alanları, kırsal bölgelerin elektrik ihtiyacının karşılanması, zirai uygulamalar, haberleşme cihazları, uyarı ve sinyalizasyon sistemleri, meteoroloji aletleri, park ve otoyolların aydınlatması, su pompalanması ve küçük tip el aletleri olmak üzere sıralanabilir. Fotovoltaik pillerin günümüzde yaygınlaştığı görülen uygulama alanına ise güneş santralleri ile çatı ve dış yüzey uygulamaları gösterilebilir [16].

2.2.2.1. Güneş Hücresinin Yarıiletken Yapısı

Yarıiletken devre elemanlarının yapımında en çok kullanılan malzemeler silisyum (Si) ve germanyumdur (Ge). Bu elementlerin atomlarının dış kabuklarında dörder valans elektronu bulunur. Bu tipten bir malzeme, içindeki yabancı atomlardan arıtıldıktan sonra gerektiği şekilde kristalleştirilirse, düzgün bir kristal yapı meydana getirir. Bu kristal yapıda, bir Si atomunda (veya Ge), her valans elektronunun kullanılmasının sonucu olarak, komşu atomlar arasında bağlayıcı kuvvetler oluşur. Isıl uyarı ile bu elektronlar yerlerinden koparak “serbest elektron” haline geçebilir. Isıl uyarı ile yerinden kopan bir elektronun bulunduğu yerden ayrılması ile meydana gelen elektron noksanlığı, o yerde bir pozitif yükün bulunması şeklinde yorumlanarak bazı olayların açıklanması kolaylaştırılmıştır. Bu pozitif yüke “delik” denir. Delikler de komşu atomlardan çalınan elektronlarla dolarak kristal yapı içinde rastgele hareket ederler. Bir elektriksel alan uygulandığında delikler de alanın belirlediği yönde yani pozitif uçtan negatif uca doğru sürüklenerek bir akım akmasına neden olur. Deliklerle elektronların, alanın etkisi altında hareket yönleri zıt olduğu halde taşıdıkları yükler de zıt işaretli olduğundan, akıttıkları akım aynı yönde ve pozitiften negatife doğrudur [16].

2.2.2.2. N Tipi ve P Tipi Yarıiletken

Düzgün kristal yapıya sahip bir yarıiletkene dış yörüngelerinde beşer valans elektronu bulunan yabancı atomlar {P (fosfor), As (arsenik) vb.} katılırsa, bu “katkı atomları” kristal yapıya, sanki birer yarıiletken atomu gibi, dört dış yörünge elektronları ile komşu atomlara bağlanarak yerleşirler. Açıkta kalan beşinci elektronlar kolaylıkla ait oldukları atomun çevresinden ayrılarak yapı içinde rastgele dolaşabilen “serbest elektron” haline geçerler. Bu yolla ortaya çıkan serbest elektronların sayısı, yapıya katılan 5 valans elektronuna sahip atomların sayısı kadardır. Birer elektronlarını serbest bırakarak kristal yapıya yerleşmiş olan bu atomlar yerleri belirli ve sabit olan +1 pozitif yüklü iyonlar olarak yapı içinde kalırlar. Kristal yapı içinde bu serbest elektronlarla, hareketsiz pozitif

iyonlardan başka, yarıiletken atomlarından ısı ısıtma sonucu kopan elektronlar ile bunların kopması sonucu ortaya çıkan delikler vardır. Bu durumda, 5 valans elektronuna sahip yabancı atomlar katılmış bir yarıiletkende akım taşıyıcısı olarak çok sayıda elektron ve az sayıda da delik bulunacaktır. Çoğunlukta bulunan taşıyıcılar negatif yüklü olduğu için bu tip yarıiletkene “n tipi yarıiletken” denir [16].

Yarıiletkene dış yörüngesinde üçer valans elektronu bulunan yabancı atomlar {Al (Alüminyum), B (Bor), vb.} katılırsa, bu atomların kristal yapıya yerleşebilmeleri için yakınlarındaki yarıiletken atomlarından birer elektron almaları gerekir. Böylece, kendileri yapı içinde yerleri belirli, sabit olan birer negatif iyon haline geçerlerken aldıkları elektronlardan kalan delikler pozitif yükler olarak kristal yapı içinde rastgele dolaşmaya başlar. Bu durumda ortaya çıkan pozitif akım taşıyıcıları ısı ısıtma ile doğmuş olan serbest elektron ve deliklere eklenirler ve bu defa pozitif taşıyıcılar çoğunlukta olduğu için bu tip yarıiletkenler “p tipi yarıiletken” olarak adlandırılır [16].

2.2.2.3. P – N Jonksiyonu

Bir yarıiletken parçanın bir bölgesi p tipi, bir bölgesi n tipi olacak şekilde katkılanır ise p tipi bölgede çok sayıda bulunan delikler n tipi bölgeye doğru ve n tipi bölgede çok sayıda bulunan elektronlar p tipi bölgeye doğru yayılmaya başlar. Hareket edebilen taneciklerin yüksek yoğunlukta bulundukları yerden alçak yoğunlukta bulundukları yerlere doğru bir şekilde yayılmaları olayına difüzyon denir. Difüzyon başladıktan sonra p bölgesinin n bölgesi ile birleştiği bölgede negatif yük fazlalığı, n bölgesinin p bölgesine yakın olan kısımlarında ise pozitif yük fazlalığı oluşur. Bunun sonucu, bölgelerin temas kısmına yakın yerlerde bir elektrik alanı meydana gelir. Alan difüzyon ile doğru orantılı olarak artar. Bir süre sonra alan tarafından elektron ve delik difüzyonu engellenir. Denge kurulduktan sonra, p-n jonksiyonunun yapısı tamamlanmış olur.

2.2.2.4. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri kristal yapılarına, kalınlıklarına, üretildikleri malzemeye göre sınıflandırılırlar.

2.2.2.4.1. Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Yakın bir zamana kadar güneş pillerinin çoğu saf tek kristalli silikonlardan yapılmıştır. Tek bir silikonla birbirini takip eden kristal kafes şeklindeki bu yapılar hemen hemen kusursuz denecek saflıktadır. Silisyumun elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde elde edilen ilerlemeler bu malzemenin öne çıkmasını sağlamıştır. Saf tek kristal üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. Oksijenden sonra yeryüzündeki en çok bulunan element olan silisyumun en çok bulunan biçimi kum ve kuartzdır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir. Ancak, kuartzın % 90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek % 99 silika elde edilir. Ardından, silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir. Bunu izleyen aşamada ise, silisyum saflaştırılarak yarı-iletken niteliğinde çok kristalli silisyum elde edilir. Polisilisyum elde edilmesine kadar olan aşamaların her birisi yoğun enerji gerektiren ve maliyeti yükselten işlemlerdir [31].

2.2.2.4.2. Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Çok kristalli silikonlar, tek kristal silikonların küçük taneciklerinden oluşmaktadır. Tek kristalli silikonların üretimine benzeyen bu piller eriyen çok kristalli silikonların kontrollü şekilde küp şeklindeki kalıplara dökülüp soğumasından sonra kare şeklinde kesilmesi ile oluşur. Çok kristalli güneş pillerinin üretimi tek kristallilere göre daha kolay ve daha ucuzdur. Fakat çok kristalli silikonların verimi daha düşüktür. Çok kristalli pillerin verimlilikleri laboratuvar üretimlerinde % 18, seri üretimlerde ise % 13 – 14 oranındadır. Her iki hücre pili için de yarı iletken tabakanın kalınlığının artırılması ile verimliliğin artacağı savunulmaktadır [31].

2.2.2.4.3. İnce Film Güneş Pilleri

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

malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; amorf-silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen bileşiklerdir. Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzemede milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısı ile ince film fotovoltaiik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Ayrıca ince-film malzeme istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum piller büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaiik modül yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur [31].

2.2.2.4.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silikon olarak bilinen güneş pilleri silikonların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silikon atomları yukarıda belirtilen kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmiştir. Amorf silikon hücrelerini üretmek diğer kristal silikonlara göre oldukça ucuzdur. Ayrıca bir Amorf Silisyum ışığı daha kolay içine çekmektedir. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silikonlar için gerekenden daha düşük sıcaklıklardadır. Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Amorf Silisyum ilk olarak 1981 yılında ticari anlamda ürün olarak satışa sunulmuştur. Bu yıllardaki verimi % 10 civarında olan amorf silisyum PV hücrelerin verimi, 1987 yılına gelindiğinde % 12,7'lere ulaşmıştır. Amorf-Silisyum malzemesini kristalli-silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içindeki yapı taşlarının gelişigüzel dizilişi amorf silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, yarı iletken içerisine % 5-10 oranında hidrojen katılarak fotovoltaiik çevrime uygun düzeyde tutulabilirler [31].

2.2.2.4.5. Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan Kadmiyum elementi ile altıncı grubunda bulunan Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan CdTe'nin, oda sıcaklığında değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Kadmiyum Tellür modülleri basit ve ucuz galvanize işlemlerine yakın bir şekilde üretilmektedir. Amorf-Silikonunda meydana gelen başlangıç performans düşüklükleri olmadan Kadmiyum Tellürün modül verimliliğinin % 10'u aşması

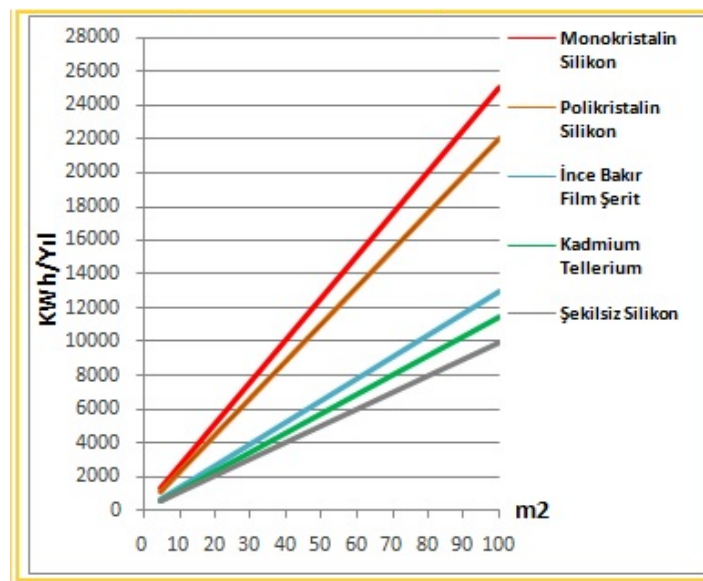
istenmektedir. Bu modüller Kadmiyum ve yüksek zehirli madde içerdiklerinden üretimleri boyunca sıkı güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. Bu yüzden bazı ülkelerde Kadmiyum Tellür üretimleri durmuştur. Bazı firmaların zehirli etkiyi ortadan kaldırmaya yönelik çalışmaları sürmektedir [31].

2.2.2.4.6. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grupta yer alan elementlerin üç ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşikte, yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyusacak biçimde ayarlanabilir. Bakır İndiyum ve Selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarıiletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. Laboratuvaradaki küçük alan pillerinin verimliliği % 18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alanına sahip modüllerin verimlilikleri % 15 dolayındadır [31].

2.2.2.4.7. Güneş Pillerinin Seçimi

Güneş pilleri yatırımı yapılırken uygun seçim yapmak için başta enerji maliyeti olmak üzere karşılaştırma yapılır. Güneş pili sistemlerinin enerji maliyetini üç önemli etken olan pil verimi, pilin maliyeti ve ömrü belirler. Verim daha önce bahsedildiği üzere pilin üretildiği malzeme ile doğrudan ilgilidir.



Şekil 2.20. Farklı Tipteki Güneş Pillerinin Türkiye'deki Ortalama Üretim Değerleri

[Kaynak: EİE]

Sistemin kurulacağı yerin iklimsel şartlarına bağlı olan güneşlenme miktarı pil seçiminde önem teşkil etmektedir. Genelde güneş ışıınımı verilerinin tam değerini saptamak için, sistemin kurulacağı yerin aylık güneş ısısı verileri kullanılır. Çünkü güneş ısısı aydan aya daha çok değiştiği için güneş ısısının düşük olduğu aylarda yükü beslemek için yeterli güç üretilmeyebilir. Bu yüzden elimizdeki verilerin %10 değişeceği düşünülmelidir [16].

Sistem tasarlanırken, sistemin kurulacağı yerin yerel sıcaklık değişimi bilinmelidir. Çünkü tipik güneş pillerinde, sıcaklık artışıyla verimin düştüğü gözlemlenmiştir [16].

Diğer dikkate alınması gereken husus kayıplardır. Güneş pilinin kirlenmesi sonucu oluşan kayıplar, hat ve iletim kayıpları, akümülatör veya depolama ünitesi kayıpları ile kontrol sistemi ve korozyon kayıpları güneş pili seçiminde dikkate alınmalıdır. Ayrıca sistemde, çevirici ve kıyıcıdan ek olarak meydana gelen kayıplar da mevcuttur. DC/AC çevirici için tüm bu kayıplar yaklaşık olarak yükün % 23'ü seviyesindedir. DC/DC çevirici için ise, bu kayıplar yükün yaklaşık % 29'u civarındadır [16].

2.2.3. Rüzgâr Türbini / Güneş Paneli Akü Şarj Sistemi

Sistemde kullanılan rüzgâr türbininin çıkışı AC ise bu alternatif akım köprü diyotlar vasıtası ile doğru akıma dönüştürülür. Güneş panellerinin çıkışı ise doğru akım olacak şekilde üretilmektedir. Elde edilen doğru akım akülerde depo edilir. Depo edilme esnasında akünün düzgün bir şekilde şarj edilmesini sağlayan kontrol sistemine akü şarj sistemi denir. Bu sistemler farklı özelliklere sahip olarak üretilmektedirler. Aküyü sürekli bir şekilde kontrol altında tutarak doğru zamanda şarjın başlamasını ve kesilmesini sağlarlar. Bu şekilde akünün de uzun ömürlü olması sağlanır.

Akü şarj kontrol sistemlerinin başlıca fonksiyonları; sıcaklık ayarları ve uygunluğu, yıldırım kontrolü, farklı koruma/sigorta sistemleri, merkeze farklı alarmların yollanması, rüzgâr türbinleri ve güneş panellerinden gelen tüm verileri kaydetmesi veya modem aracılığı ile istenilen yere yollayarak takibinin yapılması olarak özetlenebilir [26].

Küçük sistemlerde en çok kullanılan akü şarj kontrol sistemi modelleri 12–24–48V DC ve 6–10–20–30A değerlerinde üretilmektedir. Günümüzde büyük sistemler için 200–400V ve 100–200A gibi yüksek değerli sistemler üretilmekte ve kullanılmaktadır. En uygun olan sistem, güneş enerjisi sisteminin voltaj ve güneş paneli toplam maksimum

akım miktarına göre seçilir. Şarj sistemleri hiçbir zaman akünün tamamen deşarj olmasına izin vermez. Güneş enerjisi sisteminin çalışması sırasında akü voltajı; şarj sistemleri, üretilirken mikroişlemcilerine konmuş yazılımda belirlenen düşük akü voltajı değerine geldiğinde otomatik olarak yük çıkışını keserler. Akü güneş enerjisi sisteminden aldığı enerji ile yeniden şarj olup, yine yazılımda belirlenen yüke yeniden bağlanma voltajına ulaşıldığında ise yük çıkışı otomatik olarak yeniden aktif edilir [27].



Şekil 2.21. Rüzgâr Türbini ve Güneş Paneli Bağlanabilen Akü Şarj Kontrol Cihazı

2.2.4. Akü

Aküler elektrik enerjisini kimyasal olarak depo eden elemanlardır. Hibrit sistemin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamada yetersiz kaldığı anlarda depo ettiği enerjiden kullanılarak sürekli enerji akışı sağlanmasını sağlar. Aynı şekilde sistemin üretimi ihtiyaçtan fazla olması durumunda fazla olan enerjiyi üzerinde depolayarak ileride kullanma imkânı tanır.

Piller ve aküler verecekleri çıkış gerilimine göre ve taşıyacakları akım kapasitesine göre bir veya birden çok hücreden oluşabilirler. Genellikle bir hücrelik akünün uç gerilimi 1.2 ile 2 volt arasında değişir. Taşıyacakları akım kapasitesine göre birkaç mili amper saatten (mAh) iki bin, üç bin amper saate (Ah) kadar depolama yapabilirler [27].

Günümüzde dünya üzerinde kullanılan akü tiplerinin yaklaşık % 50'si kurşun-asit, % 30.2 lik kısmı tek kullanımlık aküler ve geri kalan kısmı ise şarj edilebilir akülerden oluşmaktadır. Şarj edilebilir enerji depolama aygıtları olarak kullanılan kurşun-asit ve

nikel-kadmiyum aküler uzun zamandır kırsal alanlarda, telefon sistemlerinde ve demiryollarında noktasal enerji depolama aygıtları olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yardımcı güç kaynağı olarak acil yardım sistemleri ve kara, hava, deniz taşımacılığı alanlarında kullanılmaktadır [27].

Farklı kullanım ihtiyaçlarına göre birçok akü çeşidi vardır. Güneş ve rüzgâr enerji sistemlerinde en avantaj sağlayan aküler özel elektrolitler kullanılan tam bakımsız kuru tip akülerdir. Bu aküler uzun deşarjlarda mükemmel performans verir. Yüksek sıcaklık uygulamalarına toleranslıdır. Pozitif plakaları koruyan, dolayısıyla çevrimsel ömrü uzatan bir tasarımı vardır. Paslanmayı önleyen daha kalın plakalara sahip olması da uzun ömür sağlayan bir özelliktir. Düşük iç dirençten dolayı yüksek performans sağlar. Akü tamamen şarj edilmemiş olsa bile akü tamamen deşarj edebilir [22].



Şekil 2.22. Bakım Gerektirmeyen Kuru Tip Akü

2.2.5. İnverter

İnverterler, DC/AC dönüşümünü yapan cihazlardır. Aküde depolanan enerjinin ev araç gereçlerinde kullanımı için görev yapmaktadır. Başka bir deyişle, 12, 24 veya 48V DC akü voltajını, 230V AC 50 Hz voltaja çevirirler. Böylece inverter vasıtasıyla evlerde kullandığımız televizyonlar, aydınlatma lambaları, bilgisayarlar veya elektrikli el aletleri araba, tekne, kamping gibi mobil ortamlarda çalıştırılabilirler [27].

Çıkış dalga özelliklerine göre inverterler; kare dalga (modifiye sinüs), düzeltilmiş sinüs dalga ve tam sinüs dalga olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kare dalga ve düzeltilmiş sinüs dalga inverterler daha ekonomik olmalarına rağmen lazer yazıcı ve floresan lambalarda verim kaybına, müzik aletlerinde hışırtıya sebep olmaktadır. Buna karşılık tam sinüs

inverterler şebeke ile aynı kalitede hatta çoğu zaman daha yüksek kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli aletin çalışmasında sorun çıkarmamaktadır. Tam sinüs dalga, evlerdeki gibi şebekeden alınan çıkıştır. Çok temiz, düzgün ve en iyisidir. Bu yüzden tüm uygulamalarda sorunsuz olarak kullanılabilir, cihazlar daha az ısınır. Yük olarak motor, klima, buzdolabı çalıştırılacak ya da endüstriyel cihaz ve uygulamalarda kullanılacaksa kesinlikle tam sinüs inverter tavsiye edilir [27].



Şekil 2.23. 500W Gücünde 12V DC / 220V AC İnverter

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Bir Meskenin Elektrik İhtiyacının Tahmini Hesaplanması

Tasarlanan sistemin ihtiyaç duyulan enerji miktarının ne kadarlık kısmını karşılayacağını bilmesi veya sistemin toplam ihtiyaca göre tasarlanabilmesi yönünden bir meskenin elektrik enerjisi ihtiyacının hesaplanması önem arz etmektedir. Hesaplanan tahmini değer ile mevcut elektrik gideri, sistemin tasarım ve gerçekleştirme maliyeti karşılaştırılabilir. Böylece kurulacak sistemin ekonomik olup olmadığı, gerçekleştirildiği takdirde maliyetinin geri dönüşüm süresi hesaplanarak projenin yapılabilirliğine karar verilir. Bu sebeplerden dolayı bir meskenin bulundurabileceği elektrikli cihazlar liste halinde çıkarılarak ortalama bir hesap yapılmaya çalışılmıştır.

Cihaz Türü	Gücü (Watt)	Haftalık Çalışma Süresi	Haftalık Harcanan Güç	Günlük Harcanan Güç
Çamaşır Makinası	1200 Wh	4 Saat	4800 W	685 W
Bulaşık Makinası	1200 Wh	4 Saat	4800 W	685 W
Buzdolabı	1250 W/gün	7 Gün	14000 W	1250 W
Televizyon	100 Wh	28 Saat	2800 W	400 W
Aydınlatma	3x11 Wh	42 Saat	1386 W	198 W
Bilgisayar	300 Wh	14 Saat	4200 W	600 W
Elektrikli Süpürge	1600 Wh	2 Saat	3200 W	457 W
Şarjlı Süpürge	25 Wh	2 Saat	50 W	7 W
Elektrikli Fırın	1000 Wh	1 Saat	1000 W	143 W
Mikrodalga Fırın	1150 Wh	1 Saat	1150 W	164 W

Tost Makinası	750 Wh	2 Saat	1500 W	214 W
Su Isıtıcı	1500 Wh	1 Saat	1500 W	215 W
Saç Kurutma Mak.	1000 Wh	1 Saat	1000 W	143 W
Tıraş Makinası	7 Wh	1 Saat	7 W	1 W
TOPLAM			36143 W	5164 W

Tablo 3.1. Bir Meskenin Sahip Olduğu Cihazlar ve Tüketim Değerleri

Meskenlerde yaygın kullanılan cihazlar dikkate alınarak yapılan hesaplamada haftalık enerji ihtiyacı tahmini 36143 W, günlük enerji ihtiyacı ise tahmini 5164 W olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesabın gerçek kullanımla uyuşup uyuşmadığını teyit amaçlı 4 kişilik bir ailenin enerji tüketimini gösteren fatura Şekil 3.1. de gösterilmektedir.

T.C. K.N. VERGİ NO	VERGİ DAİRESİ	İLK OKUMA TARİHİ	05/11/2016	SON OKUMA TARİHİ	09/12/2016
SAYAÇ CİNSİ	SERİ NO	ÇARFAN	MARKASI	G.T.O.	A.T.O.
AKTİF SAYAÇ	70432630	1	ELFTRONIC		
END. SAYAÇ					
KAP. SAYAÇ					
AYRILAMA	İLK ENDEKS	SON ENDEKS	TÜKETİM	TRF. KAYBI	TOP. TÜKETİM
TEK ZAMANLI	11022	12003	181		181
GÜNDÜZ					
PUANT					
GECE					
END. REAKTİF					
KAP. REAKTİF					
AYRILAMA	TÜKETİM	BİRİM FİYAT	TOPLAM TUTAR		
TEK ZAMANLI	181	0,220994	40,00		
GÜNDÜZ					
PUANT					
GECE					
TOPLAM	181	0,220994	40,00		
AYRILAMA	TÜKETİM	BİRİM FİYAT	TUTAR		
DAĞITIM BEDELİ	181	0,110829	20,06		
ENDÜKTİF REAKTİF					
KAPASİTİF REAKTİF					
SÖZLEŞME GÜCÜ					
GÜN. ORT. TÜK.	E.E.F.	T.R.T.	B.T.V.	K.D.V. (%18)	
5,324	0,40	0,00	2,00	11,09	
TALİMATLI BANKA		0,00	KDV MATRAHI	63,26	
SAYAÇ SÖKME TAKIMA BEDELİ		0,00	ESKİ BORÇ	0,00	
SAYAÇ BAKIM AYAR BEDELİ		0,00	ALACAK	0,00	
KESME-BAĞLAMA BEDELİ			GEÇKME BEDELİ	74,65	
DÖNEM İÇİ TAHAKKUK			FATURA TUTARI	0,00	
SONRAKİ OKUMA DÖNEMİ	OCAK/2017		YUVARLAMA	74,65	
TEBLİĞ TARİHİ			ÖDENECEK TUTAR	19-12-2016	
SON BİR YILLIK TÜKETİM			SON ÖDEME TARİHİ		

Şekil 3.1. 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Kullanımını Gösteren Fatura

Şekil 3.1. de gösterilen faturada 34 günlük süreçte 181 kW tüketim yapıldığı görülmektedir ve ortalama günlük tüketim 5323 W değerindedir. Hesaplanan günlük ortalama değerler yorumlanırken bölgenin özellikleri, mevsimsel nedenlerle elektrik

tüketimindeki değişimler, tatil dönemleri nedeniyle evde bulunulmayan uzun tatiller dikkate alınmalıdır.

3.2. Rüzgâr Türbinin Gerçekleştirilmesi

Hibrit sistem içerisinde yer alan rüzgâr türbini, satın alma yöntemi ile elde etme yerine imkânlar dâhilinde el ile yapılarak gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Rüzgâr türbininin elektrik üretim mekanizmasının tespiti için farklı özelliklerdeki alternatörler incelenerek eksenel akıllı sabit mıknatıslı alternatör olması konusunda karar kılınmıştır. Bu alternatörün nüve içermemesi nedeniyle verimi yüksektir. İnşası sırasında ihtiyaç duyulan parçalar piyasadan kolaylıkla satın alınabilir. Ayrıca düşük devirlerde üretime geçmesi ve nüvesiz olması sebebiyle avantaj olarak gösterilebilecek kolayca ısınmama avantajı ile yüksek devirlerde çalışabilmesi tercih sebebi olarak gösterilebilir.

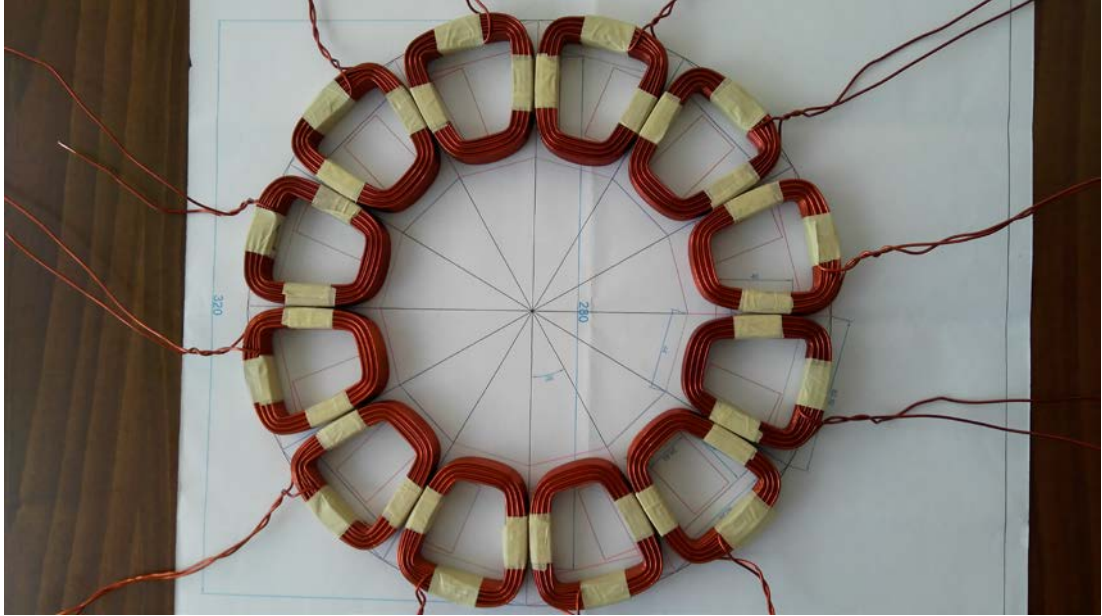
Alternatörün inşası sırasında ilk olarak elektrik üretimindeki ana parçalar olan stator ve rotorun yapımı gerçekleştirilmiştir.

Stator sabit kısım olup bobinlerden oluşmaktadır. Bobinler emaye izoleli bakır tel kullanılarak sarılmaktadır. Bobin teli kesitinin seçiminde, akım taşıma kapasitesi ve sarım sayısı arttıkça oluşabilecek boşluğun neden olabileceği kayıplar dikkate alınarak en uygun kesit tercih edilmeye çalışılmalıdır. Bobinlerin sarımı için 1,35 mm kesitinde bakır tel temin edilmiştir ve bu işlemin gerçekleştirilmesi için bobin sarma aparatı yapılmıştır.



Şekil 3.2. Bobin Sarımı İçin Yapılan Sarma Aparatı

Bobin sarma aparatı ile sarılan bobinler Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bobinler özellikle V şekline yakın bir formda sarılmaktadır.



Şekil 3.3. Bobinler

Yapılan stator Şekil 3.3’te gösterildiği şekilde 12 adet bobin içermektedir. Sistem 3 fazlı olacağından bu sayı 3’ün katları şeklinde olmalıdır. Daha büyük bir sistem yapılmak istenirse bobin sayısı doğru orantılı olarak artacaktır. Yeterli sayıda bobinin sarımı gerçekleştikten sonra bobinler sıkıca ve dairesel bir şekilde birbirine tutturulur. Bobinlerin yüksekliğine ve oluşturdukları dairenin çapına göre bir kalıp hazırlanır.



Şekil 3.4. Stator Kalıbına Yerleştirilmiş Bobinler



Şekil 3.5. Kuruyan Statorun Kalıptan Çıkarılmadan Önceki Görünümü

Stator kalıbı hazırlandıktan sonra Şekil 3.4'teki gibi bobinler yerleştirilir. Boş kalan yerler polyester ismi verilen sıvı malzeme ile doldurulur. Kuruması sonucu elde edilecek statorun mukavemetini arttırmak amacı ile Şekil 3.6'da gösterilen cam elyafı isimli malzeme de statora eklenir. Rotor disklerinin birbirine olan mesafesinin mümkün olduğunca kısa olması verim açısından önemlidir. Bu yüzden statorun şişkin olması yerine bobinleri içine alacak şekilde olduğundan emin olduktan sonra yani zarar görmeyecekleri ilk makul kalınlıkta olması önemlidir.



Şekil 3.6. Mukavemeti Artırmak Amaçlı Kullanılan Cam Elyaf

Kalıptan çıkan statorun gerekli temizliği yapılır. Montaj için ihtiyaç duyulan delikler açılır. Böylece stator kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 3.7. Kalıptan Çıkarılan Stator

Rotor hareketli kısma verilen isim olup birbiri ile örtüşen 2 diskten oluşur. Diskin üzerine mıknatısların yapıştırılması suretiyle meydana gelir. Rotor disklerinin yapımında toplamda 32 adet 40x25x10 mm N35 neodyum mıknatıs kullanılmıştır. Her bir diske 16 adet mıknatıs eşit mesafelerle yapıştırılmıştır. Disk üzerinde yerleşim yapılırken N ve S kutupları birbirini takip edecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.8. Rotor Yapımında Kullanılan Mıknatıslar



Şekil 3.9. Rotor Diskleri İçin Kullanılan Malzeme

Rotor diskleri için Şekil 3.9’da gösterilen 8 mm kalınlığında metal malzeme kullanılmıştır. Delikleri delinip mıknatıs kalıbı hazırlandıktan sonra üzerine mıknatıslar yapıştırılmıştır.



Şekil 3.10. Mıknatıs Yapıştırmaya Hazır Rotor Diski

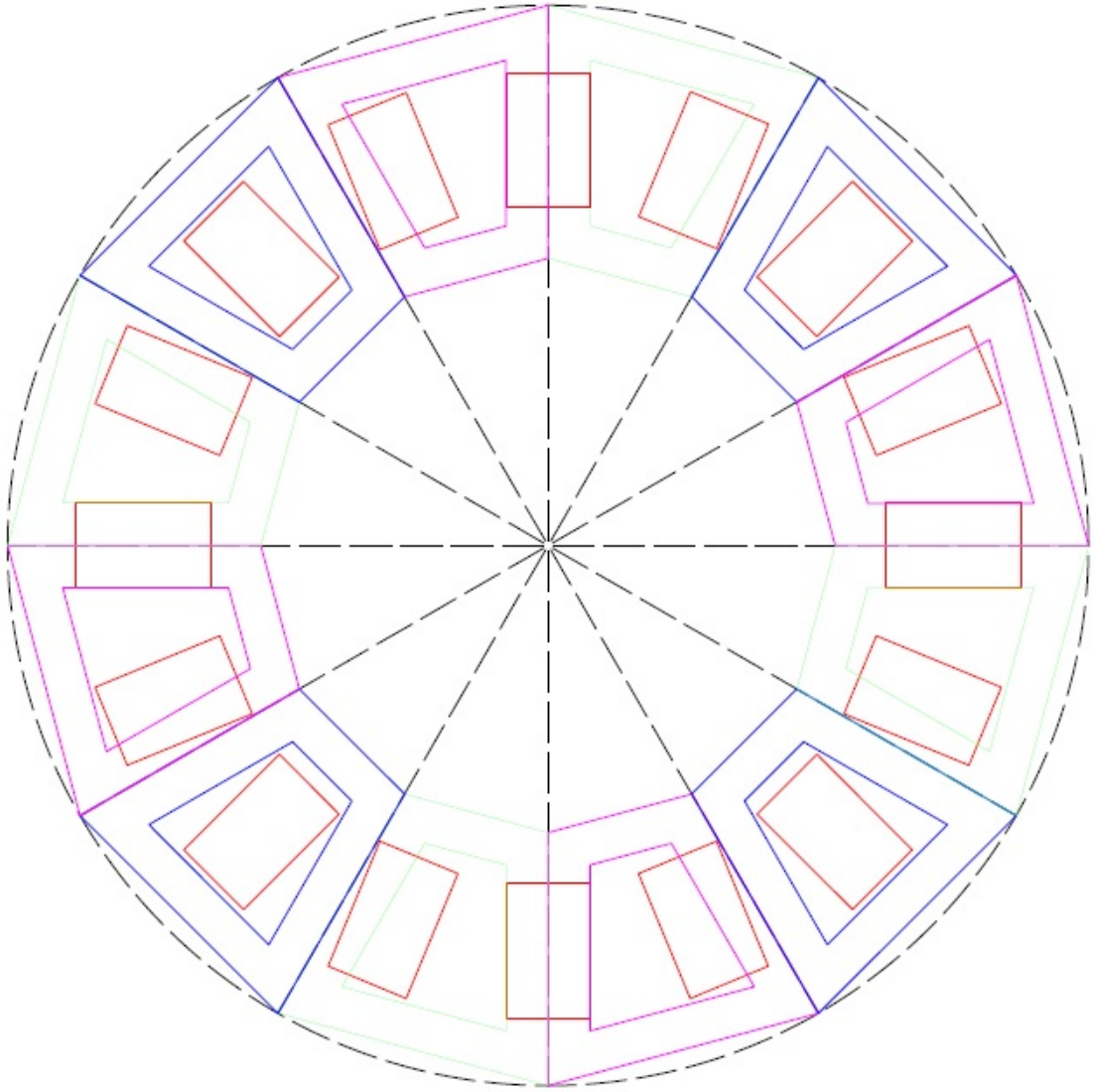


Şekil 3.11. Kullanıma Hazır Rotor Diski



Şekil 3.12. Sisteme Ait Rotor Diskleri

Stator ve rotorun hazır hale gelmesi sonrasında Şekil 3.12’de gösterilen rotor diskleri zıt kutuplar birbirinin karşısına denk gelecek şekilde ayarlanır ve bir araya getirilir. Böylece statorun bobinleri üzerinde manyetik alan oluşması sağlanır. Montaj sırasında dikkat edilmesi gereken diğer önemli husus ise mıknatısların, bobinlerin iç kısımlarında dairesel dönüş yapacak şekilde denk gelmesidir.



Şekil 3.13. Mıknatısların Bobinler Üzerindeki Hareketi

Statordaki her bobin bir fazı temsil ederken herhangi bir bobinin başlangıç noktası tayin edilmesi durumunda 1, 4, 7 ve 10 nolu bobinler R fazı, 2, 5, 8, 11 nolu bobinler S fazı ve 3, 6, 9 ve 12 nolu bobinler T fazını oluşturmaktadır. Stator ve rotor birbirine monte edildiğinde her bir fazın bobinlerinin üzerindeki mıknatısların konumları Şekil 3.13’de görüldüğü gibi birbirinin aynısı olmalıdır.



Şekil 3.14. Stator ve Rotorun Monte Edilmesi Esnasında



Şekil 3.15. Stator ve Rotorun Monte Edilmiş Hali



Şekil 3.16. Jeneratör Test Düzenegi

Küçük güçlü rüzgâr türbinleri büyük güçlü rüzgâr türbinleri gibi gelişmiş kontrol sistemlerine sahip olmadıkları için döner parçalar her an her yöne ve sınırsız dönecek şekilde tasarlanmalıdır. Örneğin büyük güçlü rüzgâr türbinleri sağa veya sola hareketi sırasında, sahip oldukları sayaç ile kabloların limitler dâhilinde sarılmasını kontrol altında tutar ve üst limite ulaştığında tekrar başa getirir. Küçük güçlü sistemlerde ise bu hareket sınırsızdır. Sahip olduğu kuyruk vasıtası ile her an dönüşe hazırdır. Sağa veya sola hareket kare yataklı rulmanlar ile sağlanmaktadır. Bu hareketin sınırsız fakat kablonun sınırlı olması akımın sisteme sürekli bir şekilde iletilmesini sağlayacak bir mekanizmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde rüzgâr yönünü tespit edip naselin o yöne yönelmesi için sinyal gönderen kontrol sistemi bulunmaktadır. Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde ise bu işlemi gerçekleştiren daha ilkel olarak isimlendirebileceğimiz kuyruk bulunmaktadır. Kuyruk kısmı yapmış olduğumuz türbinin ağırlığına uygun boyutlarda olacak şekilde yapılmalıdır. Genel olarak rotorun taradığı alanın % 5'i ile % 10'u arasında bir alana sahip

ve yükseklik boy oranı 1'e 2 şeklinde olan kuyrukların daha verimli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.17. Direğin Sabit ve Hareketli Kısımını Ayıran Rulmanlı Sistem



Şekil 3.18. Akımın Aktarım Mekanizması

Akım aktarım mekanizması fazların birbirine kısa devre yapmamasına dikkat etmek suretiyle bakır levhadan bilezik şeklinde yapılmıştır. Bilezikler sabit kısmın üzerine bağlı olup yük tarafına devam eden kablolar ile temas halindedir. Üretilen enerjinin jeneratörden bileziğe aktarımını yapan ise çubuk şeklinde bakır levhalardır ve bileziklere sürekli temas halindedir.



Şekil 3.19. Sistemde Kullanılan Kanatlar

Rüzgâr türbini için önem arz eden parçalardan biri de kanattır. Kanat enerji üretiminin başladığı yer olarak isimlendirilebilir. Rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjinin hangi oranda mekanik enerjiye dönüştürüleceği kanadın verimi ile ilgilidir. Verim; alternatör ne kadar iyi olursa olsun üretim üzerinde önemli bir etki bırakmaktadır. Ayrıca üretilecek enerji kanadın taradığı alan ile doğrudan ilişkilidir. Kanat uzadıkça daha fazla üretim yapılabilir. Fakat tasarlanan alternatör dikkate alınarak en uygun kanat uzunluğu tespit edilmeye çalışılmalıdır. Kanadın yapımında kullanıldığı malzeme de sağlamlık ve ağırlık açısından önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada 10mm kalınlığında boru, kanat malzemesi olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.20. Dikime Hazır Hale Getirilmiş Direk



Şekil 3.21. Dikimi Tamamlanmış Direk

Kanatların dönmesi esnasında oluşacak vibrasyonun üretim üzerinde etkisi olmaktadır. Bu yüzden rüzgâr türbini taşıyacak olan yapının sağlam olması önem arz etmektedir.



Şekil 3.22. Rüzgar Türbininin Tamamlanmış Hali



Şekil 3.23. Rüzgar Türbini ile Enerji Üretimi - 1



Şekil 3.24. Rüzgar Türbini ile Enerji Üretimi - 2

Rüzgâr türbininin enerji üretirken maruz kaldığı rüzgârın sahip olduğu bir kinetik enerji vardır. Üretilecek olan elektrik enerjisi, rüzgârın sahip olduğu bu kinetik enerji ile maksimum verimlilik katsayısı ve rüzgâr türbininin teknik özelliklerinin müsaade ettiği sınırlar içerisinde olacaktır. Rüzgârın kinetik enerjisi;

$$KE_{\text{Rüzgâr}} = \frac{1}{2} m V_{\text{Rüzgâr}}^2 \quad (3.1)$$

denklemi ile ifade edilir. Denklemden “m” kütleyi, “ $V_{\text{Rüzgâr}}$ ” rüzgârın hızını ifade etmektedir.

$$P_{\text{Rüzgâr}} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m V_{\text{Rüzgâr}}^2 \right) \quad (3.2)$$

Kinetik enerji denkleminin zamana göre türevi Denklem (3.2)’de gösterildiği gibi rüzgârın güç denklemini verecektir.

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \quad (3.3)$$

$$P_{\text{Rüzgâr}} = \frac{1}{2} \dot{m} V_{\text{Rüzgâr}}^2 \quad (3.4)$$

$$\dot{m} = \rho A V_{\text{Rüzgâr}} \quad (3.5)$$

Denklem (3.3)’te gösterilen kütleli debi Denklem (3.2)’de yerine koyulduğunda Denklem (3.4) elde edilmektedir. Yine buradaki kütleli debinin diğer bir ifadesi Denklem (3.5)’te gösterilmektedir. Buradaki “ ρ ” havanın yoğunluğunu, “A” rüzgâr türbini kanadının taradığı alanı ifade etmektedir.

$$P_{\text{Rüzgâr}} = \frac{1}{2} \rho A V_{\text{Rüzgâr}}^3 \quad (\text{Watt}) \quad (3.6)$$

Son olarak elde edilen Denklem (3.6) rüzgârın gücünü ifade etmektedir. Görüldüğü üzere havanın yoğunluğu rüzgârın gücü ile doğru orantılıdır. Hava, nitrojeni oksijen, argon ve diğer bazı gazlardan oluşan bir karışımdır. Nitrojen ve oksijen kuru havanın % 99’unu oluşturmaktadır. Yeryüzünden 80 km yüksekliğe kadar hava bu gazların karışımından oluştuğundan sıcaklık ve basınç değişiminin hava yoğunluğu üzerindeki etkisini anlayabilmek için Denklem (3.7)’de verilen standart gaz eşitliği kullanılabilir [1].

$$PV = nRT \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'deki "P" basıncı, "V" gazın hacmini, "n" gazın moleküllerinin sayısını, "R" evrensel gaz sabitini, "T" ise Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir. Standart koşullarda 0 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta 1 kg mol gaz 22.414 m³ ve R: 8314 J (kmol K) olarak alındığında 1 atm basınç 0 °C'de 101.324 kPa = 105 N/m² olarak bulunur [1].

$$\rho = \frac{mP}{nRT} \quad (3.8)$$

Denklem (3.8) kullanılarak 1 kg mol kütle kuru havanın ağırlığı 28.97 kg olarak hesaplanır [1].

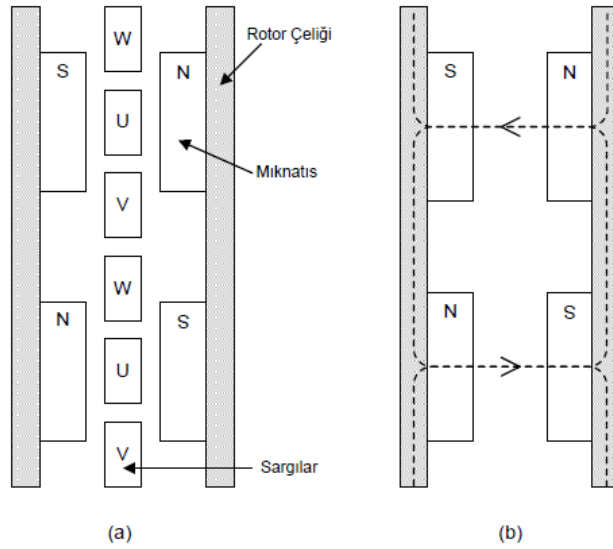
$$\rho = \frac{mP}{RT} = \frac{28.97P}{8.314T} = 3.484 \frac{P}{T} \text{ kg/m}^3 \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'da verilen ifade ile istenilen sıcaklık ve basınçtaki hava yoğunluğu tespit edilebilir. Bu denklem vasıtası ile standart koşullarda kuru havanın yoğunluğu 1.2929 kg/m³ olarak hesaplanır [1].

Rüzgârın sahip olduğu enerjinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemez. Maksimum verimlik katsayısı veya güç katsayısı ismi verilen değer bize bu enerjinin ne kadarından faydalanabileceğimizi gösterir. Teorideki maksimum verimlilik katsayısı değeri 0.593'tür. Bu değere sahip ideal rüzgâr türbini, Rayleigh-Betz adı verilen türbindir. Pratikteki katsayı değeri 0.25 ile 0.45 değerleri arasındadır. Genellikle daha büyük türbinlerin, katsayı değerleri de daha büyüktür. Rüzgâr değişimleri göz önüne alarak kullanılacak olan değişken açılı rotorlar, bu katsayı değerini optimum noktaya getirebilirler [3].

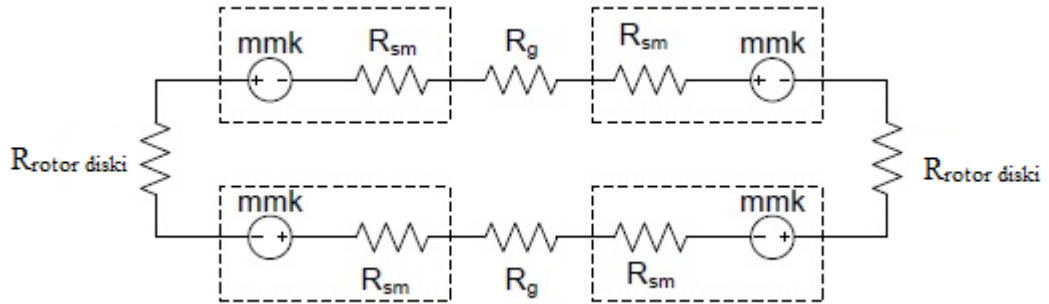
Dikkate alınması gereken diğer bir değer ise dönüştürme oranıdır. Bu oranı türbinin mekanik ve elektriksel kısımları belirlemektedir. Mekanik kısım dişli kutusu, mil yatağı vb. elemanlardan oluşurken, elektriksel kısım ise jeneratörden oluşmaktadır.

Rüzgârın sahip olduğu enerjinin yanı sıra türbini imal ederken kullanılan malzemenin karakteristik özelliği de üretim değerleri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Buradaki önemli iki eleman kullanılan mıknatıs ve bobin telidir. Mıknatıs yapıldığı malzemenin özelliğine göre belirli bir manyetik akı yoğunluğuna sahiptir. Bobin için ise kesitine göre akım taşıma kapasitesinden bahsedilebilir.



Şekil 3.25. (a) Rüzgâr Türbininin İki Boyutlu Kesit Modeli (b) Manyetik Akı Yolu [38]

Şekil 3.25’de gösterilen rüzgâr türbininin rotor ve statorunun yerleşim biçimi kullanılarak eşdeğer devre modeline geçiş yapılmıştır. Bu model vasıtası ile iki rotor arasındaki hava aralığında manyetik akı yoğunluğunun en yüksek değeri hesaplanabilir.



Şekil 3.26. Rüzgâr Türbini Eşdeğer Devre Modeli [38]

$$B_{g_max} = B_r \left(\frac{4R_{sm}}{4R_{sm} + 2R_g + 2R_{rotor\ diski}} \right) \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)’da verilen B_r mıknatısının artık mıknatıslanma akı yoğunluğu, R_{sm} mıknatısın manyetik direnci, R_g hava aralığının manyetik direnci ve $R_{rotor\ diski}$ rotor diskinin manyetik direncidir. Rotor diskinin manyetik direnci hava aralığının manyetik direncinin yanında çok küçük olması sebebiyle ihmal edilmiştir [38].

$$R_{sm} = \frac{l_{sm}}{\mu_0 \mu_r A_{sm}} \quad (3.11)$$

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \quad (3.12)$$

Mıknatısın ve hava aralığının manyetik direnci (3.11) ve (3.12)'de verilen denklemler ile hesaplanabilir. Bu denklemlerde l yükseklik ve A yüzey alanıdır.

Yukarıda verilen denklemler kullanılarak 40x25x10 mm boyutlarındaki N35 neodyum mıknatıs kullanılarak yapılan rüzgâr türbinin hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunu hesaplayabiliriz. Denklemden ihtiyaç duyulan değişkenler $B_r = 1.17$ T, $\mu_r = 1.045$, $\mu_0 = 1.25664 \times 10^{-6}$, karşılıklı mıknatıs yüzeyleri arasındaki hava boşluğu 24 mm'dir.

$$B_{g_max} = B_r \left(\frac{4 \frac{l_{sm}}{\mu_0 \mu_r A_{sm}}}{4 \frac{l_{sm}}{\mu_0 \mu_r A_{sm}} + 2 \frac{l_g}{\mu_0 A_g}} \right) = 1.17 \left(\frac{4 \frac{1}{1.045 \times 10}}{4 \frac{1}{1.045 \times 10} + 2 \frac{2.4}{10}} \right)$$

Buradan $B_{g_max} = 0.5191$ T olarak hesaplanır.

Üretim değerlerinin hesaplanabilmesi için bobin direnci ve faz direnci hesaplamaları yapılmalı ve üzerine uygulanan manyetik alan şiddeti sonucu bobinlerde indüklenen gerilim tespit edilmelidir.

$$R_{Bobin} = \rho \frac{l}{A} \quad (3.13)$$

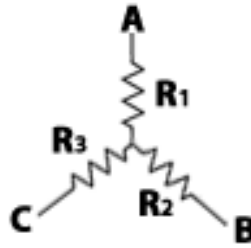
Denklem (3.13)'te bakır iletkenin öz direnci $\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega m$, l iletkenin boyu ve A kesit alanıdır. Türbinde yapımında kullanılan bakır iletken 1.35 mm kesitindedir ve 67 spir sarılarak bobinler elde edilmiştir.

$$R_{Bobin} = 1.72 \times 10^{-8} \frac{14.3}{\pi \left(\frac{1.35 \times 10^{-3}}{2} \right)^2} = 0.17 \Omega$$

Faz direnci ise bir fazdaki bobin sayısı ile bobin direncinin çarpımı ile bulunur.

$$R_{Faz} = 0.68 \Omega$$

Jeneratör sargılarının bağlantı şekli yıldız bağlantı olarak yapılmıştır. Buna göre direnç değeri ve gerilim değeri hesaplanabilir.



Şekil 3.27. Yıldız Bağlantı

Fazların yıldız bağlanması sonucu oluşan sistemde R_{AB} direnci bobinlerin eşdeğer olması sebebiyle $2R_{Faz}$ değerinde olacaktır. Böylece rüzgâr türbini bobinlerinin yıldız bağlantı şekline göre direnç değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$R_{Yıldız} = 1.373 \, \Omega$$

Manyetik alan şiddetine maruz kalan bobinlerin üzerinde indüklenen gerilimin hesaplanması için Denklem (3.14) kullanılır.

$$e = \pi \sqrt{2} B f A N 10^{-8} \quad (3.14)$$

Burada B manyetik akı yoğunluğu, f frekans, A yüzey alanı, N spir sayısıdır.

$$f = \frac{2p \times N}{120} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15) ise ihtiyaç duyulan frekans değerinin hesaplanmasında kullanılır. Burada $2p$ bir rotor diskindeki mıknatıs sayısı ve N devir sayısıdır.

Rüzgâr türbininin kanat devir hızına göre frekans değişiklik gösterecek ve bu değişiklik aynı oranda indüklenen gerilimi etkileyecektir. Yapılan çalışmada örnek olarak türbinin 300 devirde dönmesi durumunda bobinler üzerinde indüklenenecek gerilim Denklem (3.14) ve (3.15) kullanılarak hesaplanır.

$$f = \frac{16 \times 300}{120} = 40 \, \text{Hz}$$

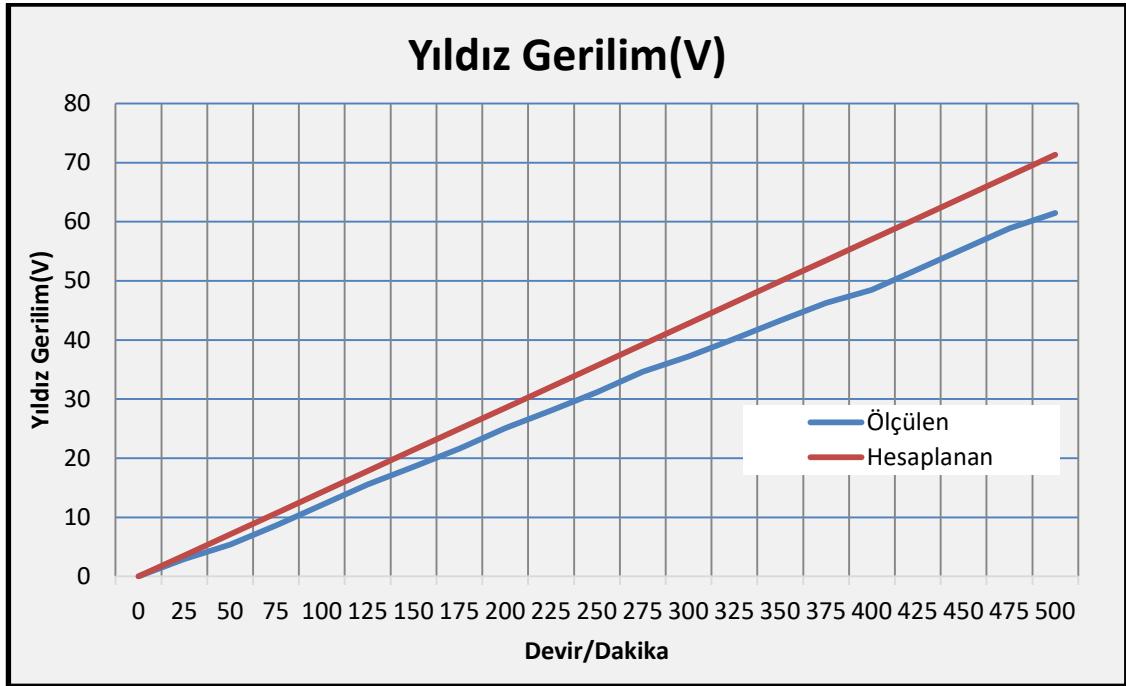
$$e = \pi \sqrt{2} \times 5191 \times 40 \times 10 \times 67 \times 10^{-8} = 6.176 \, \text{V}$$

Burada hesaplanan bir bobin üzerinde indüklenen gerilimdir. Bir fazdaki gerilimi hesap edebilmek için fazdaki bobin sayısı ile çarpmak gerekir. Yıldız bağlantılı sistemde, sistem voltajı Faz – Nötr voltajının $\sqrt{3}$ kat fazlası olacaktır.

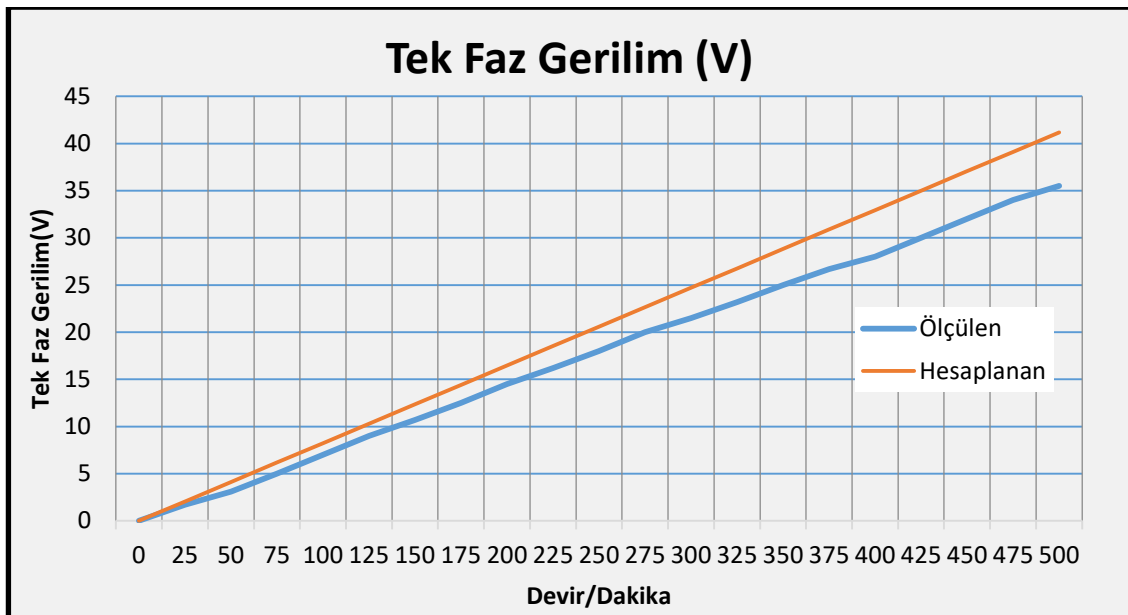
$$V_{Faz} = 24.707 \text{ V}$$

$$V_{Yıldız} = 42.793 \text{ V}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalarda rüzgâr türbininin 300 devirde dönmesi halinde elde edilecek gerilim değerleri hesaplanmıştır. Farklı devirlerdeki değerler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

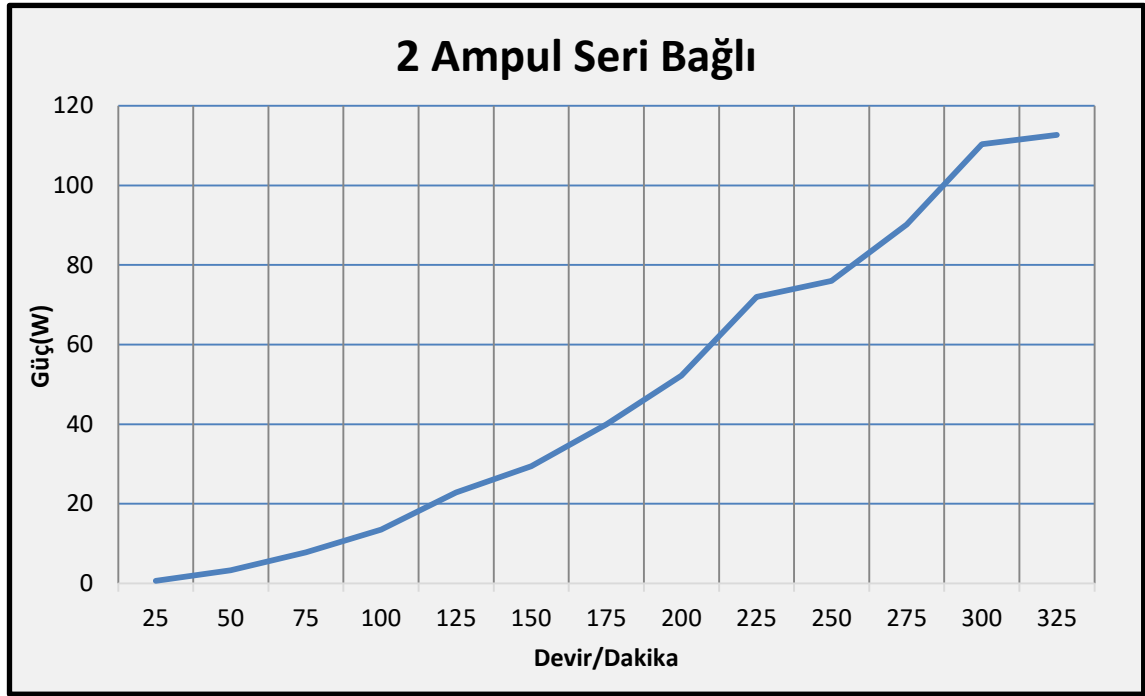


Şekil 3.28. Yıldız Bağlantılı Rüzgâr Türbinin Hesaplanan ve Ölçülen Gerilim Grafiği

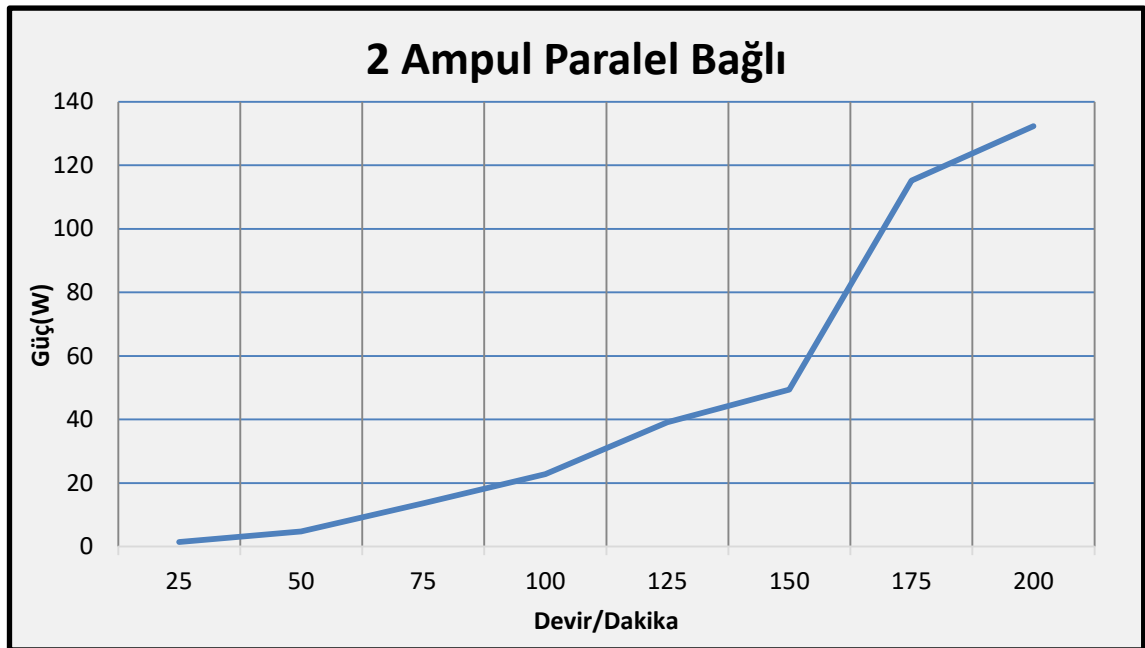


Şekil 3.29. Faz – Nötr Arası İçin Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

Şekil 3.29’da jeneratörün boşta çalışması esnasında ölçülen ve boşta çalışması durumu için hesaplanan değerler aynı grafik üzerinde görülmektedir. Değerlerin birbirine yakın olduğu fakat devir arttıkça aradaki farkın açıldığı tespit edilebilmektedir.

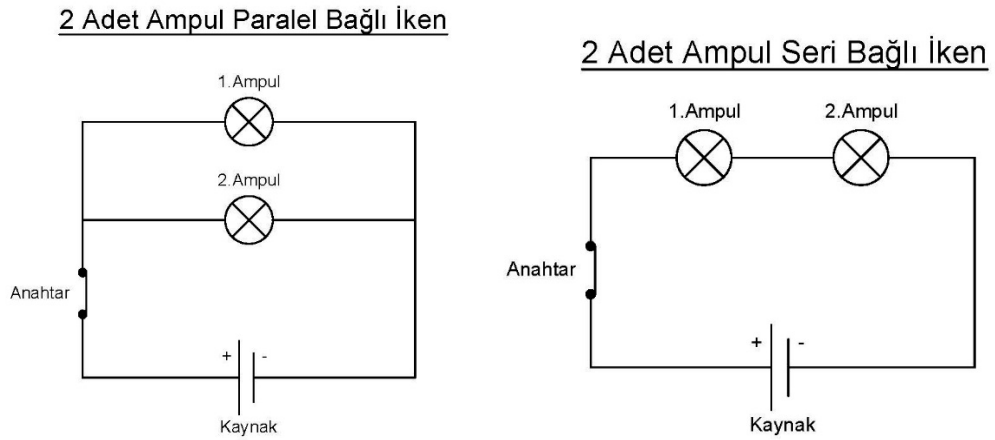


Şekil 3.30. 2 Ampul Seri Bağlı İken Jeneratör Güç Grafiği

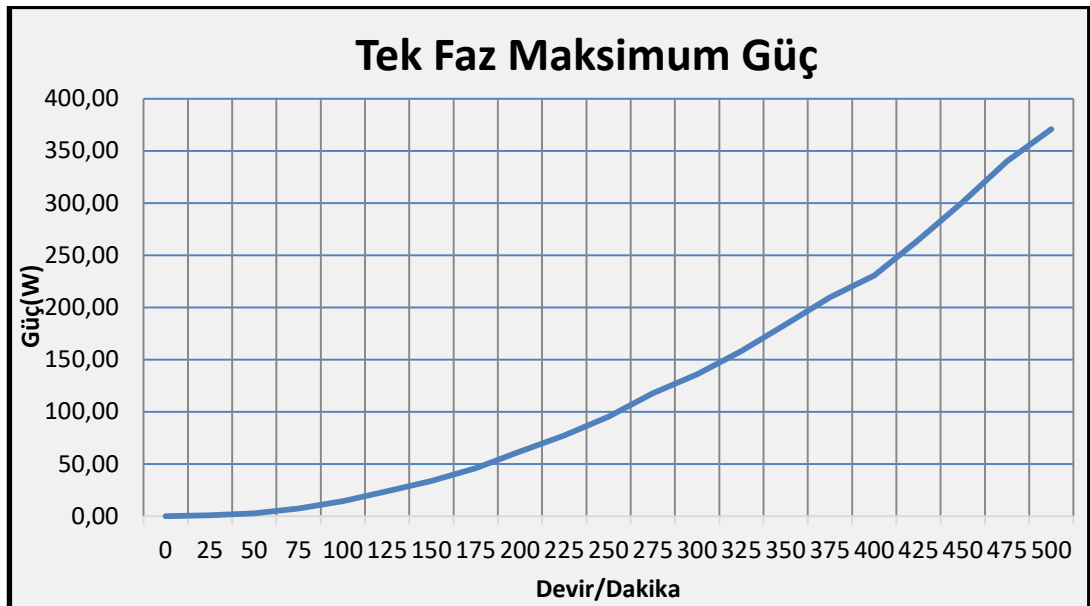


Şekil 3.31. 2 Ampul Paralel Bağlı İken Jeneratör Güç Grafiği

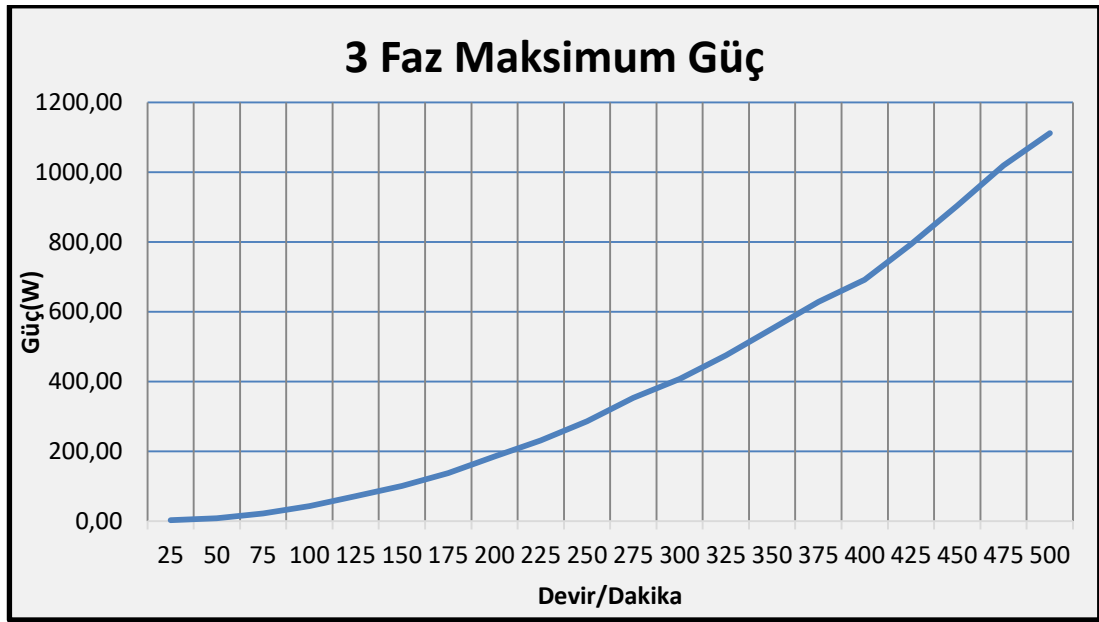
Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'deki grafiklerde, Şekil 3.32'de gösterildiği gibi 2 ampul seri ve paralel bağlı iken jeneratörün ölçülen üretim değerleri görülmektedir. Ölçümlerin alınması esnasında 24V 70W gücünde 2 adet halojen ampul kullanılmıştır. Her durumda da bağlanan yük 140W olmasına karşın grafiklerde farklı devir hızlarında farklı değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum bağlanan yükün gerilim seviyesi ile ilişkilidir. Burada dikkate alınması gereken diğer bir husus farklı devir hızlarında farklı görünen üretim değerleri gerçekte aynı kuvvet uygulanarak elde edilmektedir.



Şekil 3.32. Deney Düzenğinde Ampullerin Bağlanması



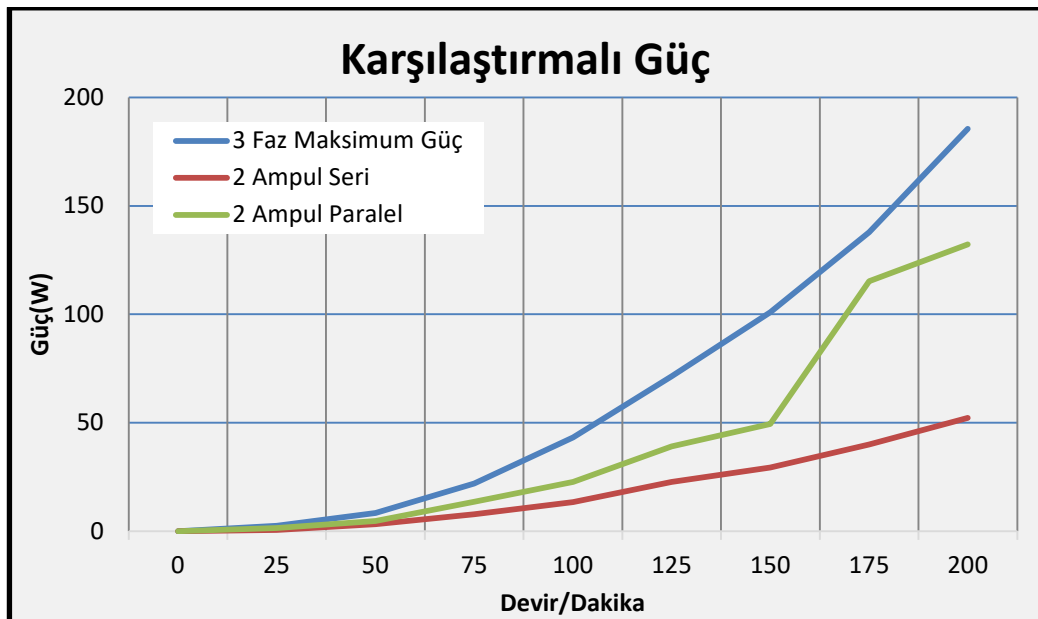
Şekil 3.33. Tek Fazdan Çekilebilecek Maksimum Güç



Şekil 3.34. Üç Fazdan Çekilebilecek Maksimum Güç

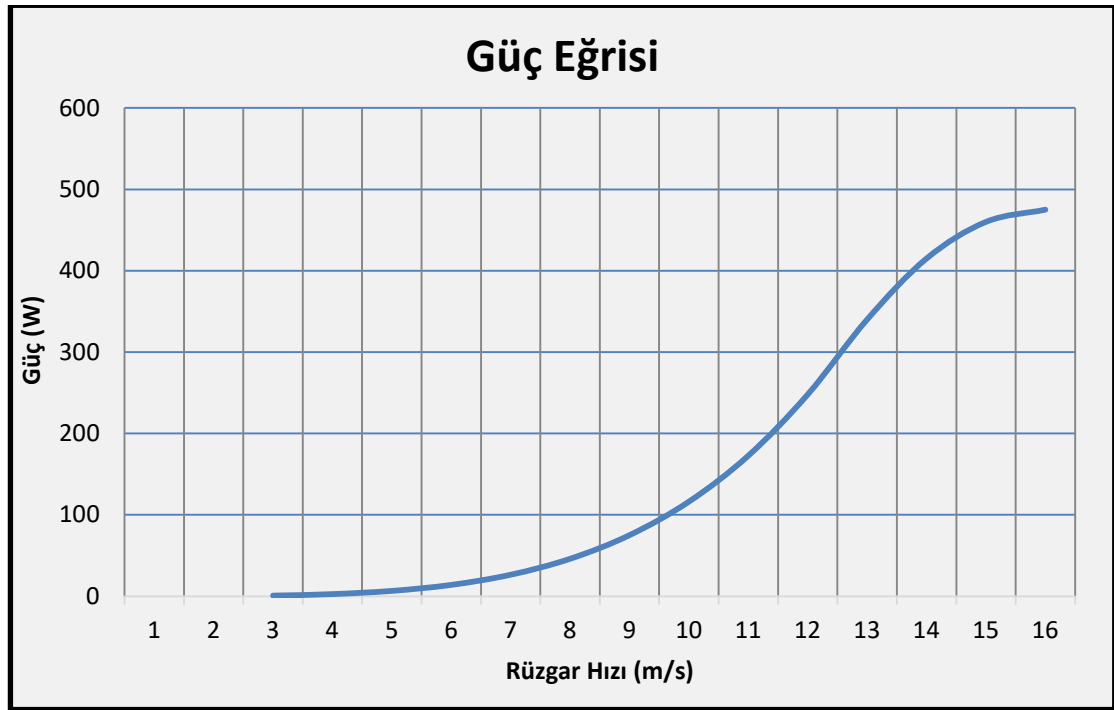
Bir kaynaktan çekilebilecek maksimum güç Thevenin eşdeğer devresi kullanılarak tespit edilir. Bu devre ile ortaya çıkan teoreme “Maksimum Güç Teoremi” denir. Teoreme göre kaynağın iç direncine eş değerde bir yük bağlanması durumunda kaynaktan çekilen güç mümkün olan en üst seviyede olacaktır. Şekil 3.33 ile Şekil 3.34 de yapılan türbine ait maksimum güç grafikleri görülmektedir. Denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$P_{\max} = \frac{V_{\text{Faz}}^2}{4R_{\text{Faz}}} \quad (3.16)$$



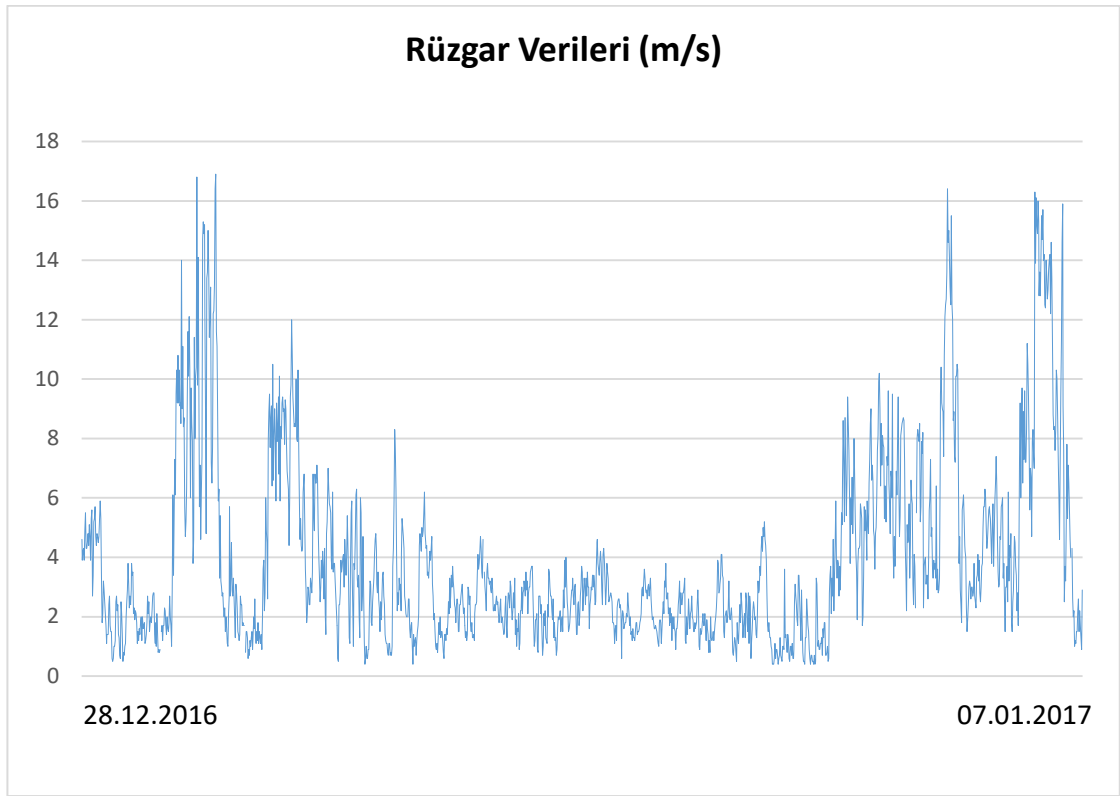
Şekil 3.35. Maksimum Güç ve Farklı Bağlantı Şekillerinin Karşılaştırması

Şekil 3.35’de herhangi bir devirde jeneratörden elde edilebilecek maksimum güç ile 24V ve 48V yük grubunun güç eğrileri görülmektedir. Şekilde 175 devirde paralel bağlı ampuller çekilebilecek maksimum güce ulaşmak üzere iken seri bağlı ampullerin bunun çok uzağında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi seri bağlı sistemin 48V olması ve jeneratörün 48V gerilim değerine daha yüksek değerlerde ulaşmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus her iki bağlantı türünde de yükün 140W olduğudur. Paralel bağlı yük 24V’a doğru 175 devir civarında tam güce yaklaşırken seri bağlı yük 48V’a doğru 325 devir civarında tam güce yaklaşmaktadır. Rüzgârın uygulayacağı kuvvet, üretilen gücün yaklaşık olarak aynı olacağını dikkate aldığımızda her iki durumda da aynı olacaktır. Fakat jeneratörün farklı devirlerde dönmesi ile sonuçlanacaktır.



Şekil 3.36. Gücün Rüzgâr Hızına Bağlı Olarak Değişimi

Atölye çalışmaları esnasında alınan ölçümlerin Şekil 3.36’daki rüzgar altında, açık alanda alınan ölçüm değerlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kanadın ataleti, kayıplar sebebiyle üretimin atölye ölçümlerine göre daha geç başladığı anlaşılmıştır. Rüzgar türbininin devreye girdiği rüzgar hızı 3 m/s olarak ölçülmüştür. 14 m/s rüzgar hızına kadar güç eğrisinin hızlı şekilde arttığı, daha sonrasında artışın yavaşlayarak devam ettiği görülmüştür.



Şekil 3.37. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Alınan Rüzgar Verileri

Güç eğrisinin çizilebilmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Şekil 3.37’de görülen 28.12.2016 – 07.01.2017 tarihleri arasına ait rüzgar hızı verileri temin edilmiştir. Temin edilen veriler ile alınan ölçüm değerleri örtüştürülerek güç eğrisi çizilmiştir.

3.3 Güneş Paneli

Sistemde kullanılacak güneş panelinin seçimi yapılırken dikkate alınması gereken bazı hususlar vardır. Güneş panelinin kurulacağı bölgenin güneşlenme ile ilgili verileri, farklı malzemelerden üretilmiş panellerin maliyet verim karşılaştırması, kurulacak bölgenin alanı dikkate alınması gereken hususların başında gelmektedir.

Güneş panellerine maliyet verim açısından bakıldığında günümüzde ticari amaçla üretilen panellerin neredeyse tamamına yakını kristal silikon yapıdaki panellerden oluşmaktadır. Bunlar da monokristal (tek kristalli) ve polikristal (çok kristalli) olmak üzere 2 çeşittir. Saflık oranının biraz daha fazla olması sebebi ile monokristal yapıdaki güneş paneli polikristal yapıdaki panele göre daha yüksek verime sahiptir. Monokristal güneş paneli düşük ışınım miktarında polikristal panele göre daha fazla üretim yapmaktadır. Hava sıcaklığı güneş panellerinin verimini etkileyen diğer bir faktördür. Monokristal paneller polikristal panellere göre yüksek sıcaklıklarda daha etkin bir çalışma sergilemektedir. Polikristal güneş paneli monokristal panele kıyasla daha uygun maliyetle elde edilebilmektedir. Kristal yapıdaki panellerin üreticileri ortalama 25 yıllık garanti vermektedir. Fakat 25 yıldan sonra da daha uzun süreler çalışmaya devam ettiği bilinmektedir.

Teknoloji	İnce Film				Kristal Levha Bazlı	
	Amorf Silikon (a-si)	Kadmiyum Tellurit(CdTe)	Cl(G)S	a-Si/m-Si	Tek Kristalli	Çok Kristalli
Pil Verimi(STK)	%5-7	%8-11	%7-11	8%	%16-19	%14-25
Modül Verimi					%13-15	%12-14
Her kW için gerekli alan (modüller için)	15 m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	≈7m ²	≈8m ²

Tablo 3.2. Farklı Teknoloji ve Malzeme ile Üretilmiş Panellerin Karşılaştırması [13]

Kurulumun yapılacağı alanın büyüklüğü panel seçiminde önem arz etmektedir. Tablo 3.2’de ince film teknolojisi ile üretilen panellerin kristal levha bazlı panellere göre her bir kW için daha fazla m² ihtiyacı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla alanın dar olduğu çatı benzeri uygulamalarda ince film panel kullanımı dezavantajlı konumdadır. Fakat alanın geniş olduğu yerlerde uygun maliyeti sebebiyle fazla alan kaplamasına rağmen ince film teknolojisi ile üretilen paneller de tercih edilebilir.

Kurulum yapılacak şehrin dünya üzerindeki konumu güneş ışınlarını belirli bir geliş açısı ile almasına neden olmaktadır. Bu durum da panelin üretimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Eğer güneş paneli sabit bir şekilde yerleştirilecek ise güneş ışınlarını en iyi alacak açı hesaplanarak yerleştirilmelidir. İmkânlar dâhilinde ise maliyet analizleri de yapıldıktan sonra hareketli sistemler de düşünülebilir.

Kurulumun yapılacağı Kayseri iline ait Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Kayseri'deki istasyonundan alınan 2000-2007 yılları arasındaki verilerle yapılan çalışmaya bakıldığında en fazla güneş ışığı alınan ay Temmuz ve en düşük güneş ışığı alınan ay ise Aralık ayıdır. Temmuz ayında $40,57 \text{ cal/cm}^2$ değeri elde edilirken, Aralık ayında $15,77 \text{ cal/cm}^2$ değeri görülmüştür. Şekil 3.38 görüldüğü üzere en fazla güneş alan aylar yaz ayları (haziran-temmuz-ağustos), en az güneş alan aylar ise kış aylarıdır (aralık-ocak) [39].



Şekil 3.38. Kayseri İline Ait Güneş Potansiyeli [39]

3.3.1. Güneş Panelinin Enerji Üretimi

Güneş panelinin üreteceği enerjinin hesaplanabilmesi için panel yüzeyine gelen ışınlam değerinin bilinmesi gerekmektedir. Işınlam değeri panel kurulumunun yapılacağı şehrin dünya üzerindeki konumu (enlem değeri), yılın hangi günü ve o gün içerisinde hangi saati gibi değerlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Dünyanın şekli, yörüngede gerçekleştirdiği hareket ve güneş ile olan ilişkisinden kaynaklı bazı açılar oluşmuştur. Hesaplamalar sırasında da kullanılacak olan bu açılardan bazıları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Enlem Açısı: Konumlandırılan bölgenin, Ekvator'un kuzeyinde veya güneyinde olmasına göre farklılık gösterir. Kuzey yarımküre için pozitif alınır. $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

Sapma Açısı: Güneşin, Ekvator düzlemine göre açısal pozisyonunu verir. Kuzey yarımkürede pozitif alınır. $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

Eğim Açısı: Panelin yüzey düzlemi ile yatay düzlem arasındaki açıdır. $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

Yüzey Azimut Açısı: Dikmenin yatay yüzeydeki izdüşümünün lokal meridyene göre sapma açısıdır. Güneyde sıfır, doğuda negatif, batıda ise pozitifdir. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$

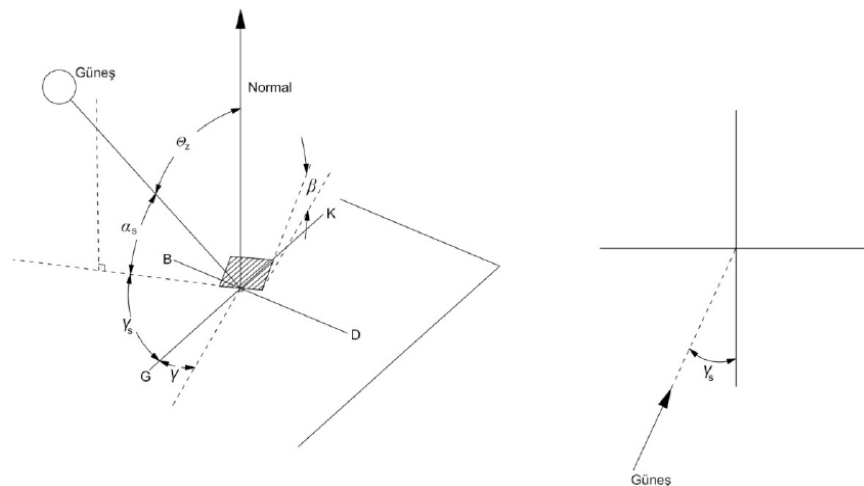
Saatlik Açı (w): Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle, doğu veya batıya saatte 15° açı farkı olarak meydana gelen açı burulmasıdır. Sabah saatlerinde negatif, öğleden sonra ise pozitifdir.

Gelme Açısı (θ): Yüzeye gelen ışın ile yüzeyin dikmesi (normal) arasında kalan açıdır.

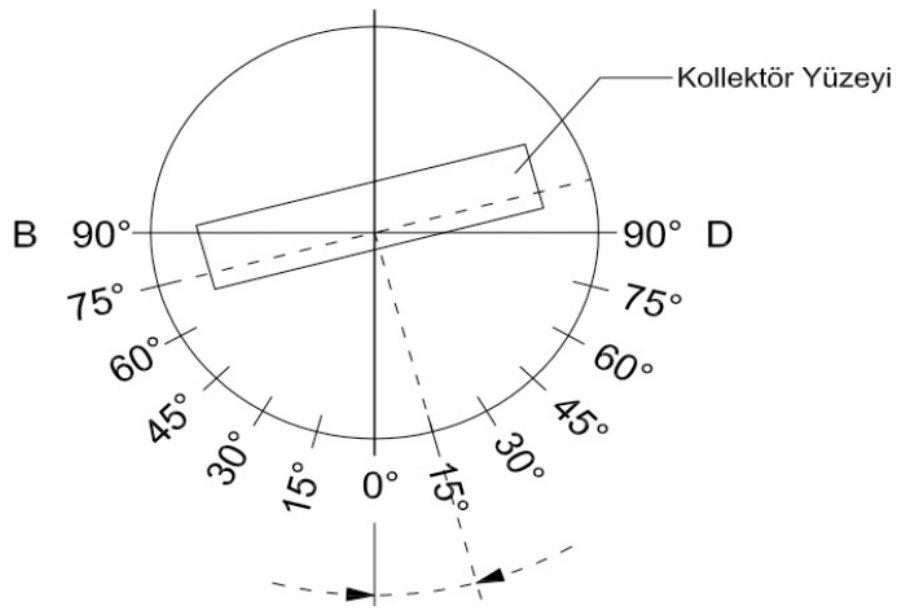
Zenit Açısı (θ_z): Güneş çizgisi ile dikme arasında kalan açıdır.

Solar Yükseklik Açısı (α_s): Yatay düzlem ile güneş çizgisi arasında kalan açıdır. Zenit açısının tamamlayıcısıdır.

Solar Azimut Açısı (γ_s): Güneş ışınının yatay yüzeye olan izdüşümünün güneyden yaptığı burulmadır [13].



Şekil 3.39. Güneş ile İlgili Açılar [13]



Şekil 3.40. Azimut Açısı [13]

Gerekli açı değerleri tespit edildikten sonra panele ulaşan toplam radyasyon miktarı Denklem 3.17 ile hesaplanabilir.

$$I_T = K_T H_0 \left[\left(r_t - \frac{H_d}{H} r_d \right) R_b + \frac{H_d}{H} r_d \left(1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) + \rho_g r_t \left(1 - \frac{\cos \beta}{2} \right) \right] \quad (3.17)$$

Burada;

I_T : Eğimli yüzeye gelen saatlik ışıınım değeri,

H_0 : Uzaydan gelen günlük radyasyon

H_d : Günlük difüz radyasyon,

H : Günlük ışıınım

ρ_g : Yerin yansıtma katsayısı,

β : Eğim açısı

K_T : Hava için günlük açıklık indeksi

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (3.18)$$

r_t : Saatlik toplam radyasyonun günlük toplam radyasyona oranı

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos w) \left(\frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi w_s}{180} \cos w_s} \right) \quad (3.19)$$

r_d : Saatlik difüz radyasyonun günlük difüz radyasyona oranı

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi w_s}{180} \cos w_s} \right) \quad (3.20)$$

Denklem 3.19’de geçen a ve b katsayıları aşağıda verilen 3.21 ve 3.22 numaralı denklemler ile hesaplanır.

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(w_s - 60) \quad (3.21)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(w_s - 60) \quad (3.22)$$

R_b : Eğimli yüzeye gelen radyasyonun yatay yüzeye gelene oranı

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos w + \sin \phi \sin \delta} \quad (3.23)$$

Denklem 3.17’de yer alan $\frac{H_d}{H}$ değeri w_s ve K_T ’nin büyüklüğüne göre aşağıdaki denklemler vasıtası ile hesaplanır.

$$|w_s| \leq 81.4^\circ \text{ ve } 0.3 \leq K_T \leq 0.8 \text{ ise;}$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560K_T + 4.189K_T^2 - 2.137K_T^3 \quad (3.24)$$

$$|w_s| > 81.4^\circ \text{ ve } 0.3 \leq K_T \leq 0.8 \text{ ise;}$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022K_T + 3.427K_T^2 - 1.821K_T^3 \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan w_s ise Denklem 3.26’de verilen şekilde hesaplanır.

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (3.26)$$

w_s : Güneşin doğusunda (-), batışında (+) değer alan saatlik açı değeri

Uzaydan gelen günlük radyasyonun (H_0) hesaplanması için Denklem 3.27 ve Tablo 3.3 kullanılır.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
90	0.0	0.0	1.2	19.3	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.6	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.8	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.8	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.0	38.8	30.9	20.5	10.8	4.5	2.3
55	6.2	11.3	19.8	29.6	37.6	41.3	39.4	32.6	23.1	13.8	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	41.5	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.4	16.4	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.7	25.0	19.3	16.8
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8

-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.0	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.0	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.6	11.1	24.0	37.4	44.9
-75	41.9	27.6	12.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.0	21.9	38.1	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.6	38.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	39.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	39.4	47.8

Tablo 3.3. Günlük Ortalama Radyasyon Miktarı (MJ/m²) [40]

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (3.27)$$

Yukarıda verilen denklemler vasıtası ile gerekli tüm veriler hesaplandıktan sonra Denklem 3.28 ile panelin saatlik üretimi hesaplanabilir.

$$P_i = A_c I_T \eta_i \quad (3.28)$$

A_c : Güneş panelinin alanı (m²)

η_i : Güneş paneli verimi

3.3.1.1 Örnek Üretim Hesaplaması

Hibrit sistemde kullanmak üzere güneş paneli seçiminde çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yaygın kullanılan paneller arasından Kyocera markanın polikristal yapıda olan KD145GH-4YU modeli seçilmiştir. Panelin gücü 145 Wp, maksimum çıkış gerilimi 17.9 V ve maksimum akımı 8.11 A'dır.

Seçilen panelin Kayseri ilinde 20 Haziran günü saat 11:00 – 12:00 saatleri arasında yapacağı üretim hesabı adım adım yapılmıştır. Bu hesap daha sonra yılın tüm günleri ve saatlerine yayılarak istenilen dönemler için üretim hesabı yapılabilir.

Hesaba başlamadan önce hesap sırasında ihtiyaç duyulacak panel ve Kayseri ilinin konumu ile ilgili değerleri saptamak kolaylık sağlayacaktır.

Kayseri Enlem Değeri (ϕ): 38.5'

Panel Eğimi (β): 30°

Yerin Yansıtma Katsayısı (ρ_g): 0.2

Solar Sabit (G_{sc}): 1367

n: 20 Haziran yılın 171. Günü

Panelin Alanı: 1.002 m²

Panelin Verimi ($\eta_{mp,ref}$): % 14.4

Denklem 3.28 vasıtası ile 20 Haziran gününe ait sapma açısı hesaplanır.

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + 171}{365} \right)$$

$$\delta = 23.445^\circ$$

Kayseri ilinin enlem değerine bağlı olarak saatlik açı değeri w_s Denklem 3.26 ile tayin edilir.

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan 38.5 \tan 23.445)$$

$$w_s = 110.1757^\circ$$

Kayseri ili için günlük ışınım değeri Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı veriler ışığında haziran ayı için ortalama:

$$H = 6.65 \times 3600 \frac{\text{kWs}}{\text{m}^2} = 23.94 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Eğimli yüzeye gelen saatlik ışıınım değeri olan I_T 'nin hesaplanması için Denklem 3.17 kullanılır. Bu denklemde yer alan değişkenlerden K_T Denklem 3.18, r_t Denklem 3.19, r_d Denklem 3.20, r_t 'nin hesaplanmasında kullanılan a katsayısı Denklem 3.21, b katsayısı Denklem 3.22, R_b Denklem 3.23, $\frac{H_d}{H}$ koşulların kontrolü ile Denklem 3.24 veya 3.25 ve H_0 Denklem 3.27 ile hesaplanır.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} 1367 \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \times 171}{365} \right) \right) \left(\cos 38.5 \cos 23.445 \sin 110.1757 + \frac{\pi 110.1757}{180} \sin 38.5 \sin 23.445 \right)$$

$$H_0 = 41.84 \text{ MJ/m}^2$$

$$K_T = \frac{23.94}{41.84}$$

$$K_T = 0.572$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(110.1757 - 60)$$

$$a = 0.794$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(110.1757 - 60)$$

$$b = 0.294$$

Saatlik açı (w) değeri öğlen 12:00 da 0° değer alır. Her saat 15° denk gelecek şekilde 12:00 öncesinde negatif sonrasında pozitif olarak değişim gösterir [40]. Burada 11:00 – 12:00 arası olduğundan $w = -7.5^\circ$ dir.

$$r_t = \frac{\pi}{24} (0.794 + 0.294 \cos(-7.5)) \left(\frac{\cos(-7.5) - \cos 110.1757}{\sin 110.1757 - \frac{\pi 110.1757}{180} \cos 110.1757} \right)$$

$$r_t = 0.1184$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos(-7.5) - \cos 110.1757}{\sin 110.1757 - \frac{\pi 110.1757}{180} \cos 110.1757} \right)$$

$$r_d = 0.1092$$

$$R_b = \frac{\cos(38.5-30) \cos 23.445 \cos(-7.5) + \sin(38.5-30) \sin 23.445}{\cos 38.5 \cos 23.445 \cos(-7.5) + \sin 38.5 \sin 23.445}$$

$$R_b = 0.9988$$

$K_T = 0.572$ ve $w_s = 110.1757^\circ$ olduğundan Denklem 3.25 uygulanır.

$$\frac{H_d}{H} = 1.311 - 3.022x(0.572) + 3.427x(0.572)^2 - 1.821x(0.572)^3$$

$$\frac{H_d}{H} = 0.362$$

Tüm değişkenler hesaplandıktan sonra Denklem 3.17'de yerine konulur.

$$I_T = 0.572 \times 41.84 \left[(0.1184 - (0.362 \times 0.1092)) 0.9988 + (0.362 \times 0.1092) \left(1 + \frac{\cos 30}{2} \right) + 0.2 \times 0.1184 \left(1 - \frac{\cos 30}{2} \right) \right]$$

$$I_T = 3.59 \text{ MJ}$$

$$\eta_i = 0.144$$

Son olarak Denklem 3.28 kullanılarak güneş panelinin üretimi hesaplanır.

$$P_i = \frac{1.002 \times 3.59 \times 10^6 \times 0.144}{3600}$$

$$P_i = 143.88 \text{ Wh}$$

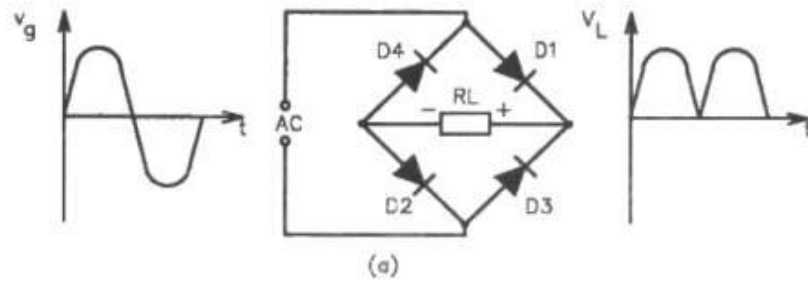
3.4. Rüzgâr Türbini / Güneş Paneli Akü Şarj Sistemi

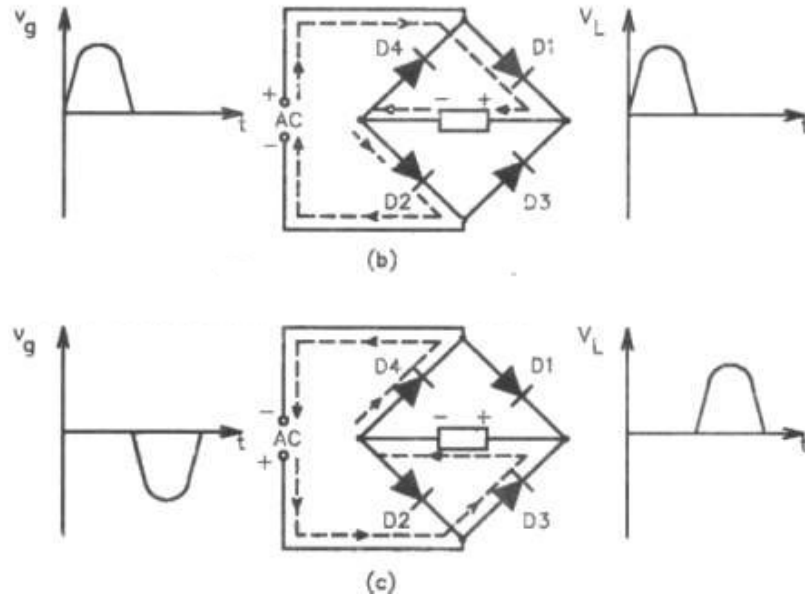
Rüzgâr türbini çıkışındaki gerilim AC olduğu için aküye doğrudan bağlanması mümkün değildir. Bu yüzden öncelikle köprü diyotlar kullanılarak gerilim doğrultulur ve akü şarj kontrol devresi vasıtası ile akünün kontrollü bir şekilde şarj olması sağlanır.



Şekil 3.41. Köprü Diyot

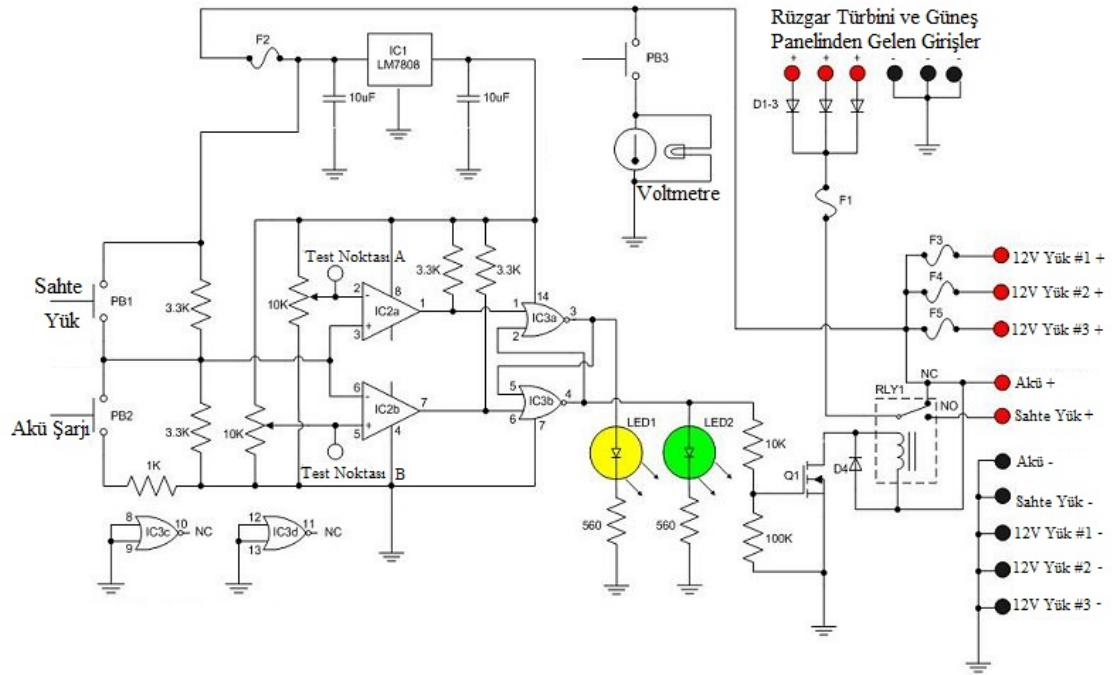
Köprü şeklinde kurulmuş dört diyottan oluşan köprü diyot vasıtası ile tam dalga doğrultma işlemi gerçekleştirilir. Devre, bir alternansta, D_1 , R_L ve D_2 üzerinden, diğer alternansta ise, D_3 , R_L , D_4 üzerinden tamamlanmaktadır. Böylece R_L yük direncinden sürekli bir şekilde + 'dan - 'ye doğru akım akmaktadır. Farklı gerilim ve akım değerlerine dayanıklı köprü diyotlar üretilmektedir. Maliyet düşüklüğü, az yer kaplaması, ısınma probleminin diğer diyotlara göre düşük olması ve kolay bağlantı yapılabilmesi açısından avantajlıdır. Çalışma şekli Şekil 3.42’de gösterildiği gibidir.





Şekil 3.42. Köprü Diyodun Çalışması

Köprü diyotlar vasıtası ile doğrultulan gerilim akü şarj devresinin kontrolü ile aküye yönlendirilir. Güneş panellerinin çıkışında elde edilen gerilimin DC olması sebebiyle köprü diyoda ihtiyaç duymazlar.



Şekil 3.43 Gerçekleştirilen Akü Şarj Kontrol Devresi

Şekil 3.43'deki devrede yer alan elemanların açıklaması aşağıda verilmiştir.

“IC1” LM7808 +8V voltaj regülatörü, “IC2” TL062 opamp, “IC3” CD4001 NOR kapılı entegre, “Q1” IRF540 mosfet, “D1-3” çalışma akımına uygun köprü diyot, “D4” 1N4004 diyot, “LED1” sarı led, “LED2” yeşil led, “F1” toplam üretilmesi tahmin edilen maksimum akım değerinde sigorta, “F2-4” 12V yük için sigorta, “F5” elektronik devre için 1A sigorta, “RLY1” toplam akıma uygun SPDT röle, “PB1-3” buton.

Uygulanan akü şarj kontrol devresi 12/24 V akü grubuna bağlanacak şekilde hazırlanmıştır. Üretim sonucu ortaya çıkan akım kontrol devresinin kontrolünü sağladığı RLY1 rölesi üzerinden yüke ve aküye doğru akar. Kontrol devresi üzerindeki test noktaları akünün şarj ve deşarj başlama noktalarının belirlenmesinde görev almaktadır. Akü voltajı belirlenen alt limit değerlerine ulaştığında kontrol devresi üretimi aküye yönlendirerek şarj edilmesini sağlar. Üst limit değerine ulaştığında ise akü şarjını keserek üretimin sahte yük üzerinde harcanmasını sağlar. Alt ve üst değer arasındaki değerlerde devre üzerindeki butonlar sayesinde aküye veya sahte yüke geçiş yapılabilir. Kontrol devresi sayesinde akünün uzun ömürlü olması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.44 Uygulama Amaçlı Yapılan Akü Şarj Kontrol Devresi

3.5. Akü

Rüzgar türbini ve güneş paneli ile üretilen enerji rüzgar hızı ve güneş ışınımının anlık olarak farklı değerlerde olmasından dolayı değişkenlik göstermektedir. Bazı anlarda ihtiyacın fazlası bazı anlarda ise ihtiyacı karşılayamayacak miktarda olabilmektedir. İhtiyaç duyulan enerjinin kesintisiz ve düzenli sağlanabilmesi amacıyla hibrit sistemde akü kullanılmaktadır. Sistemde testler sırasında 2 adet Ttec marka 12V 7Ah akü kullanılmıştır. Düzenli kullanım için yeteri kadar 12V ve 120 Ah özelliğinde bakım gerektirmeyen akü kullanılması ihtiyaçları karşılama noktasında daha mantıklı olacaktır.



Şekil 3.45. Hibrit Sistemde Kullanılan Akü

4. BÖLÜM

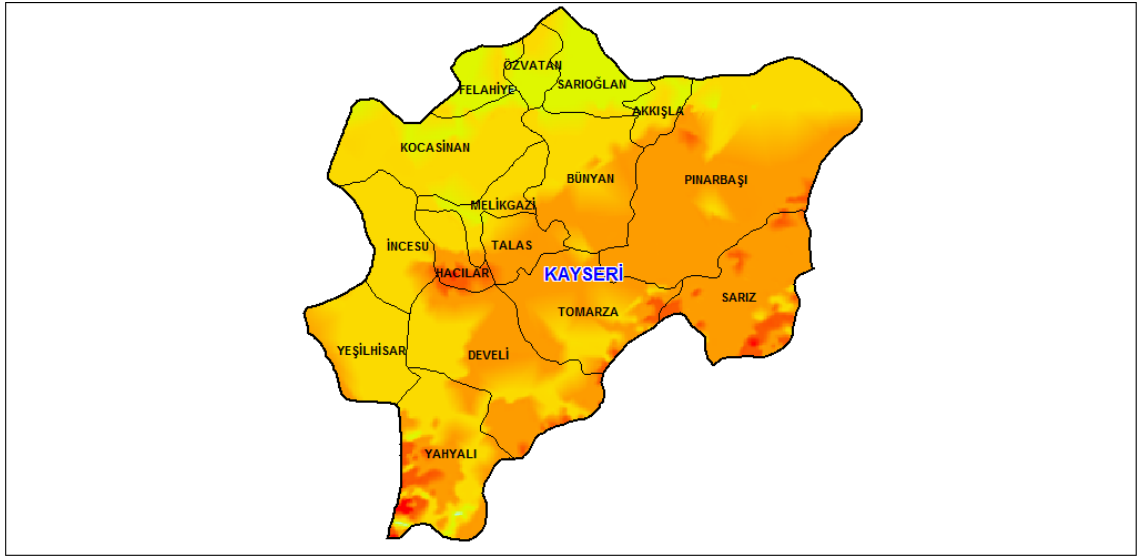
BULGULAR

4.1. Hibrit Sistem Değerlendirmesi

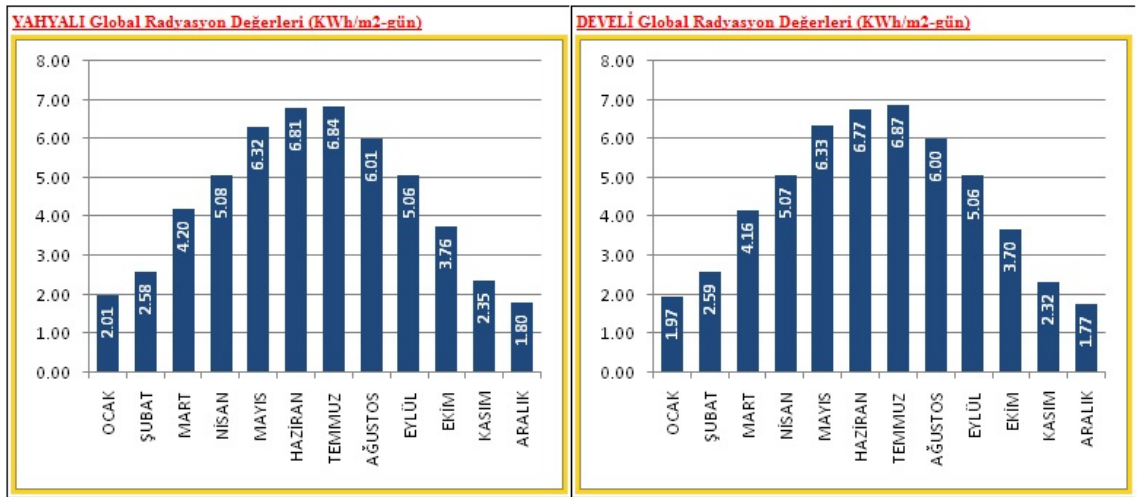
Meskenlerde kullanılan elektrik enerjisinin tamamının veya bir kısmının karşılanabilmesi amacı ile yapılan bu çalışmada, rüzgar türbini ve güneş panelinden oluşan bir hibrit enerji sistemi ele alınmıştır.

Rüzgar türbini olarak eksenel akılı sabit mıknatıslı ve çift rotorlu bir jeneratör gerçekleştirilmiştir. Bu tip jeneratörün, sıkça kullanılan radyal akılı ve nüveli jeneratörlere göre bazı üstünlükleri mevcuttur. Seçilen jeneratörün nüvesiz olması, Lenz yasasında bahsedilen ve nüveli sistemlerde meydana gelen fuko akımlarının olmayacağını göstermektedir. Lenz yasasına göre; bobin üzerinde mıknatısın oluşturduğu manyetik alanı yok etmeye yönelik zıt elektromotor kuvveti oluşur ve akım akar. Bu akıma Fuko akımı denir ve verim kaybına sebebiyet verir. Eksenel akılı jeneratörde sargıların kolayca soğuması için dizayn daha uygundur. Ayrıca rotor yapısı daha fazla kutup kullanabilme imkanı tanıdığı için daha düşük devirlerde üretime geçme imkanı tanımaktadır. Piyasada satılan aynı güçteki jeneratörlere göre daha az yer kapladığı ve hafif olduğu görülmüştür. Dizaynda görülen dezavantajlı bir durum ise; yüksek güçlere çıkılmak istendiğinde belirli bir boyuttan sonra gücün istendiği kadar artmamasıdır. Bu noktadan sonra nüveli sistem kullanmak daha avantajlı hale gelebilmektedir.

Güneş paneli olarak polikristal tipte bir panel seçilmiştir. Sistemin küçüklüğü dikkate alındığında alan kısıtlamasının olmaması, maliyet – üretim değerlendirme yapıldığında avantajlı konumda olması ve Kayseri bölgesi için yapılan çalışmada[41] polikristal tipte panelin en avantajlı olduğunun tespit edilmesi bu seçimin yapılmasında önemli rol oynamıştır.



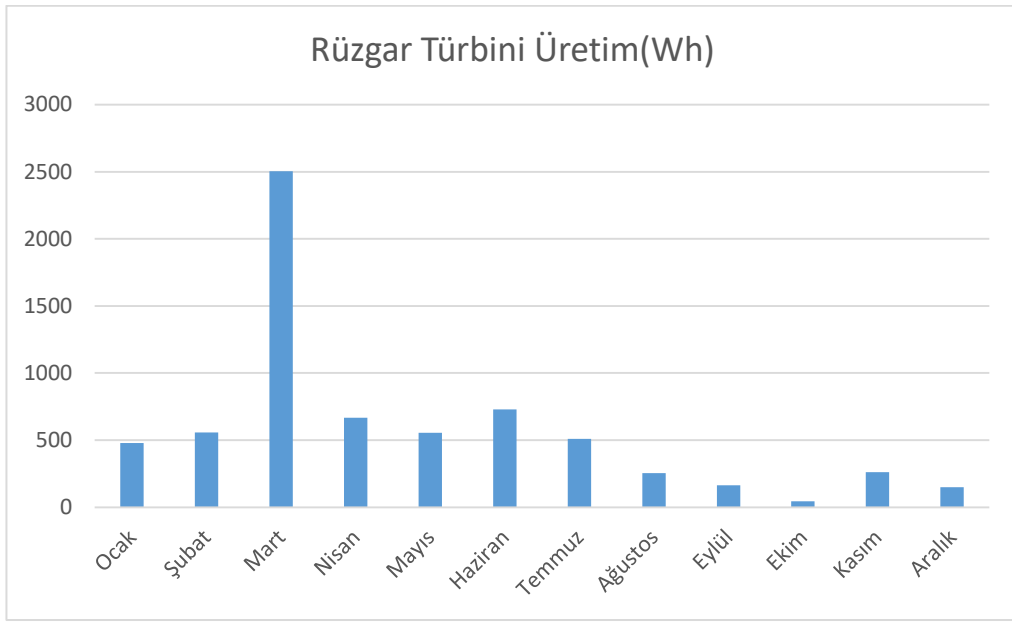
Şekil 4.1. Kayseri İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası [Kaynak: EİE]



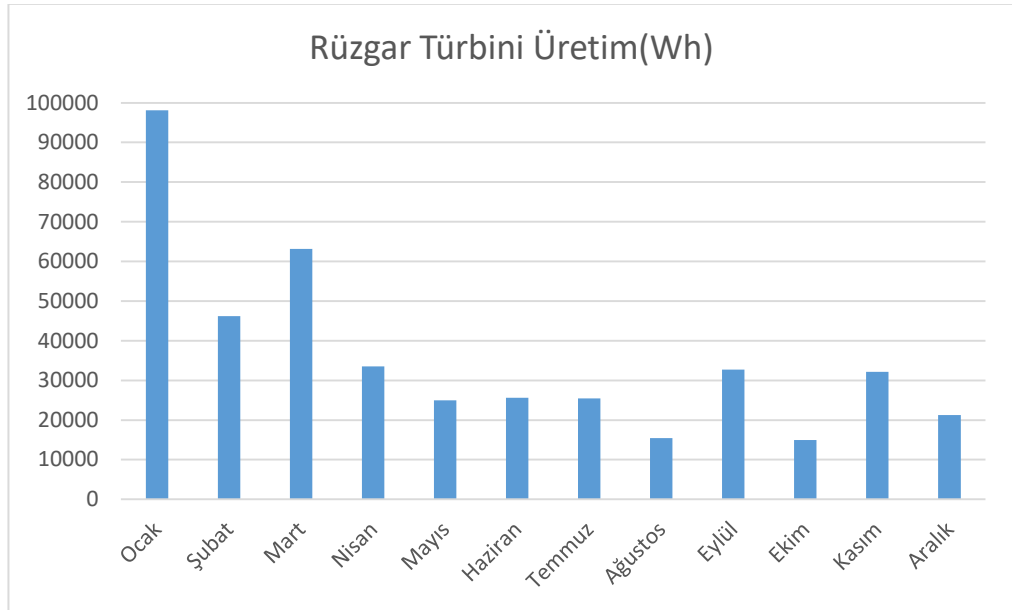
Şekil 4.2. Yahyalı ve Develi İlçeleri Radyasyon Değerleri [Kaynak: EİE]

Şekil 4.1’de Kayseri ili güneş enerjisi haritasındaki renkler ve Şekil 4.2’de verilen aylık radyasyon değerleri dikkate alındığında Yahyalı ve Develi ilçeleri için güneş enerjisi potansiyelinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

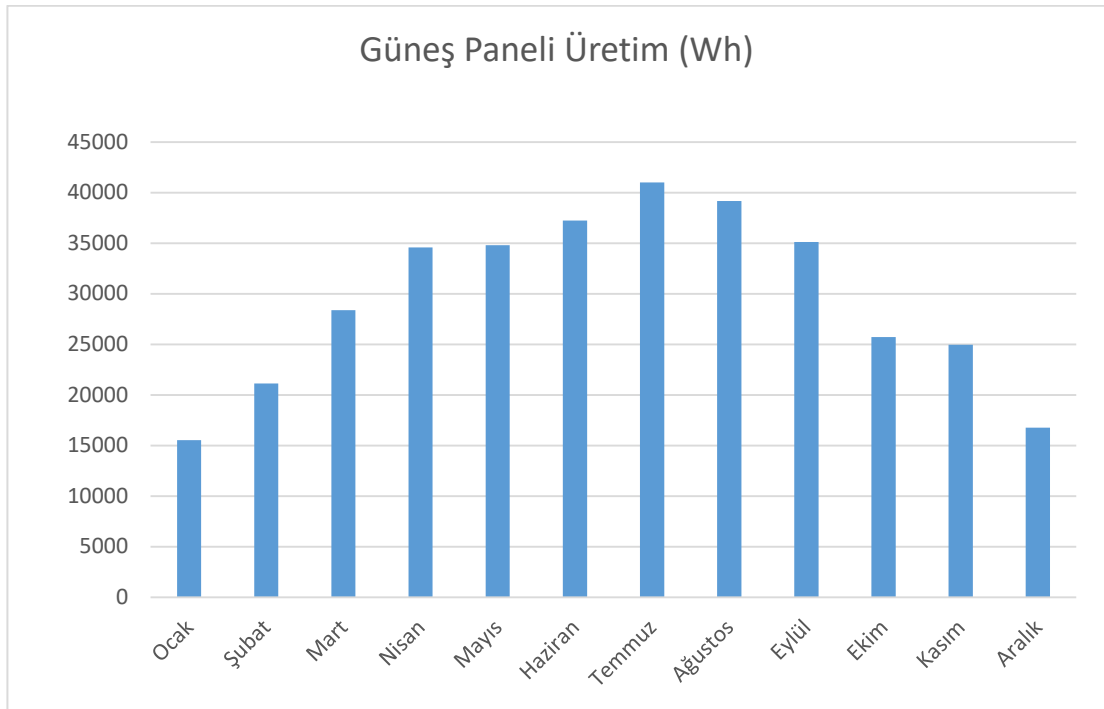
Kayseri sınırları içerisindeki Develi ve Yahyalı ilçeleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden bir senelik veri temin edilmiştir. Bu veriler ışığında, rüzgar türbini ve güneş panelinin üretim değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Rüzgar Türbini Develi Verilerine Göre Üretimi



Şekil 4.4. Rüzgar Türbini Yahyalı Verilerine Göre Üretimi



Şekil 4.5. Güneş Paneli Verilere Göre Üretimi

Develi ilçesine ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün gözlem istasyonundan alınmıştır. Bu istasyon konum itibarı ile şehir merkezine yakın konumdadır ve etrafında yapılar bulunmaktadır. Yahyalı ilçesinde ise Aksu Rüzgar Enerji Santralinin kaydettiği saha verileri alınmıştır. Bu istasyon ise yapay engellerin olmadığı açık bir kırsal alandadır. Güneş verileri ise radyasyon değerlerinin yakınlığı sebebiyle iki bölge için de ortak kullanılmıştır. Oluşturulan hibrit sistemin, bu iki bölgeye kurulması durumunda, bir sene zarfında yapacağı üretim değerleri aylık olarak Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görülmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere Yahyalı'daki alan, rüzgar hızı ortalamasının yüksek olması ve engebesiz alan olması sebebiyle Develi'ye göre daha avantajlıdır. Ayrıca kırsal alanda en yakın dağıtım hattından elektrik temin edilmesi için katlanması gereken bir maliyet olduğu da dikkate alınmalıdır. Bu durumda şehir merkezindeki düşük rüzgar potansiyeli ve kolay elektrik temini ile kırsal alanda daha yüksek rüzgar potansiyeli ve ekstra maliyetler karşılaştırıldığında bu sistemin kırsal alanda kurulmasının daha avantajlı olduğu görülmektedir. Güneş ve rüzgar değerlerinin de döneme göre değişken olması bu iki enerji türünün birbirini tamamlayarak elektrik gereksinimini karşılamada daha faydalı olduğu tespit edilebilmektedir.

Hibrit sistemin iki farklı bölgede, her ay için hesaplanan üretim değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de görülmektedir. Ayrıca sistemin, aylık bazda ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama yüzdesi görülmektedir.

Aylar	Rüzgar Türbini Üretimi (Wh)	Güneş Paneli Üretim (Wh)	Toplam Üretim (Wh)	İhtiyaç Duyulan Enerji (Wh)	Karşılama Yüzdesi (%)
Ocak	478,7027	31057,32	31536,03	165013	19,11
Şubat	557,55	42282,02	42839,57	149044	28,74
Mart	2505,303	56762,22	59267,52	165013	35,92
Nisan	668,0688	69138,34	69806,41	159690	43,71
Mayıs	555,883	69631,29	70187,17	165013	42,53
Haziran	728,0246	74506,85	75234,88	159690	47,11
Temmuz	508,5993	82036,81	82545,41	165013	50,02
Ağustos	253,795	78353,1	78606,9	165013	47,64
Eylül	162,7265	70255,02	70417,74	159690	44,10
Ekim	45,3197	51470,24	51515,56	165013	31,22
Kasım	261,6155	49936,77	50198,38	159690	31,43
Aralık	148,6749	33530,42	33679,1	165013	20,41

Tablo 4.1. Develi İlçesine Göre Hibrit Sistemin Üretim Değerleri

Aylar	Rüzgar Türbini Üretimi (Wh)	Güneş Paneli Üretim (Wh)	Toplam Üretim (Wh)	İhtiyaç Duyulan Enerji (Wh)	Karşılama Yüzdesi (%)
Ocak	98105,9	31057,32	129163,2	165013	78,27
Şubat	46204,86	42282,02	88486,88	149044	59,37
Mart	63117,7	56762,22	119879,9	165013	72,65
Nisan	33492,42	69138,34	102630,8	159690	64,27
Mayıs	24948,87	69631,29	94580,16	165013	57,32
Haziran	25652,04	74506,85	100158,9	159690	62,72
Temmuz	25457,6	82036,81	107494,4	165013	65,14
Ağustos	15432,5	78353,1	93785,6	165013	56,84
Eylül	32698,89	70255,02	102953,9	159690	64,47
Ekim	14926,75	51470,24	66396,99	165013	40,24
Kasım	32149,65	49936,77	82086,41	159690	51,40
Aralık	21279,41	33530,42	54809,84	165013	33,22

Tablo 4.2. Yahyalı İlçesine Göre Hibrit Sistemin Üretim Değerleri

Develi ilçesinde rüzgar enerjisi potansiyelinin düşük olması sebebiyle enerji büyük oranda güneş paneli tarafından sağlanmıştır. Genel olarak bakıldığında temmuz ayının en fazla üretim yapılan ay olduğu görülmektedir. Bununla birlikte üretilen enerjinin ihtiyaç duyulan enerjiyi %50 oranında karşılayabildiği Tablo 4.1'den anlaşılmaktadır. Sonuç itibari ile Develi ilçesinin tasarlanmış olunan hibrit sistemin verimliliği açısından çok uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Yahyalı ilçesi için ise üretim değerlerine aylık bazda bakıldığında ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranı genel olarak %50 ila %80 arasında olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, en yüksek karşılama yüzdesine sahip ocak ayına bakıldığında güneş paneli üretiminin sene içerisindeki en düşük değer ve rüzgar türbini üretiminin en yüksek değer olduğu görülmektedir. Temmuz ayı için ise bu durumun neredeyse tersi olduğu anlaşılmaktadır. Rüzgar türbini ve güneş panelinin birlikte kullanılmasının enerji gereksiniminin karşılanmasında daha avantajlı olduğu neticesine varılmıştır.

Hibrit sistemi oluşturan elemanların yaklaşık maliyeti Tablo 4.3'te görülmektedir. Sistemde yer alan rüzgar türbini ve akü şarj kontrol cihazı imal edilmiştir ve maliyeti 1250 TL'dir. 2 adet Kyocera Solar KD145 GH-4YU güneş paneli 1000 TL, 12V 200Ah Ayetek marka bakımsız akü 1000 TL ve Linetech marka 1000W gücünde inverter 1000 TL olmak üzere tüm sistemin maliyeti 4250 TL'dir. 2016 yılı elektrik birim fiyatı 0.41 TL/kWh olduğu dikkate alınarak hesaplandığında Develi için senelik üretim miktarı 715835 Wh ve 293,492 TL iken Yahyalı için 1142427 Wh ve 468,395 TL'dir. Bu durumda geri ödeme süresi, Develi için yaklaşık 14,5 yıl iken Yahyalı için yaklaşık 9 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplar sırasında elektrik birim fiyatının değişmeyeceği ve hibrit sistemin yıllık üretim miktarının sabit kalacağı varsayılmıştır.

Cihaz	Güç/Kapasite	Marka	Maliyet (₺)
Rüzgar Türbini	500 W	El Yapımı	1200
Güneş Paneli	290 W	Kyocera Solar	500
Akü Şarj Kontrol Cihazı	1000 W	El Yapımı	50
Akü	200 Ah	Ayetek	1000
İnverter	1000 W	Linetech 1000W	1000
TOPLAM			3750

Tablo 4.3. Örnek Bir Sistemin Maliyeti

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada rüzgar türbini ve güneş panelinden oluşan bir hibrit sistem tasarımı yapılarak Kayseri iline ait Yahyalı ve Develi ilçelerinde bu hibrit sistemin verimi araştırılmıştır. Sistem; rüzgar türbini el ile yapılarak, güneş paneli ise piyasa koşullarında yaygın bulunan bir model seçilerek oluşturulmuştur.

Eksenel akıllı sabit mıknatıslı ve çift rotorlu bir jeneratör, rüzgar türbini olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Tasarım sırasında rüzgar türbinin yaklaşık 500Wh değerinde olması amaçlanmıştır. Yapılan testler sonucunda rüzgar türbinin yaklaşık olarak 500Wh değerine ulaşabileceği görülmüştür. Güneş paneli olarak ise 2 adet 145Wp değerinde polikristal tipte güneş paneli kullanılmıştır.

Kayseri sınırları içerisindeki Develi ve Yahyalı ilçeleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden bir senelik veri temin edilmiştir. Bu veriler ışığında, rüzgar türbini ve güneş panelinin iki farklı ilçe için bir senelik üretim değerleri tespit edilmiştir. Üretim değerleri Yahyalı'nın rüzgar hızı ortalamasının Develi'ye göre daha yüksek olduğu sonucunu göstermiştir.

Aylık olarak yapılan hesaplamalarda güneş enerjisi potansiyelinin genel olarak kış aylarında düşük olduğu ve Ocak ayında en düşük değerde olduğu görülmüştür. Rüzgar enerjisi potansiyelinin ise belirli bir davranışı olmamakla birlikte aydan aya iniş çıkışlara sahip olduğu görülmüştür. Bu veriler ışığında, bahsedilen iki enerji türünün birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Oluşturulan sistemin maliyeti 4250 TL olarak hesaplanmıştır. 2016 yılı elektrik birim fiyatı dikkate alınarak geri ödeme süresi Develi için yaklaşık 14,5 yıl iken Yahyalı için yaklaşık 9 yıl olarak hesaplanmıştır. Senelik üretim miktarı ise Develi için 715835 Wh iken Yahyalı için 1142427 Wh olmuştur.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmada sistemin kurulduğu bölgenin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin sistemin üreteceği elektrik enerjisi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. Kurulum yapılacak bölgenin seçiminde rüzgar hızı ve güneş ışıınım değerleri mümkün olduğu kadar uzun süre kayıt altına alınırsa daha iyi bir sonuç ortaya çıkacaktır. Ayrıca hibrit sistemin ihtiyaç duyulan enerjinin tamamını karşılayabilmesi için sistemde kullanılan panelden daha fazla adette temin edilebilir ve/veya daha büyük kapasiteli rüzgar türbini tasarımı yapılabilir.

Rüzgar türbini üretimini etkileyen önemli hususlardan birisi kanatlardır. Rüzgar enerjisinden daha fazla istifade edebilmek adına verimi yüksek kanatların kullanımı önerilir.

KAYNAKLAR

1. Durak, M., Özer, S., 2008. Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama, İmpress Baskı Tesisleri, Ankara, 540 s.
2. Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar Y., Balta, İ., Türkiye İklimi, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
3. Celayir, N., 2008. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Gelişimi ve Türkiye’deki Potansiyeli, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 94s.
4. Yalçın, Y., 2010. İstanbul Terkos Bölgesinde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 137 s.
5. Global Wind Statistics 2014, 2015. Global Wind Energy Council, Belgium
6. <http://www.gwec.net>, Genel Bilgiler (Erişim Tarihi: Kasım 2016)
7. Pineda, I., Wilkes J., 2015. Wind In Power 2014 European Statistics, The European Wind Energy Association, Belgium
8. <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası>, Türkiye Rüzgar Atlası (Erişim Tarihi: Eylül 2016)
9. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2005. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Ankara
10. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2015. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ankara
11. http://www.emo.org.tr/ekler/b3797686726ed4b_ek.pdf, Türkiye Elektrik Enerjisi İstatistikleri (Erişim Tarihi: Ekim 2016)
12. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş>, Güneş Hakkında Genel Bilgiler (Erişim Tarihi: Ekim 2016)
13. Çolak, Ş.Ç., 2010. Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 110 s.
14. Demirtaş, M., 2008. Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 191 s.

15. <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php>, Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi ve Türkiye’deki Yeri (Erişim Tarihi: Kasım 2016)
16. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, Ankara
17. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2015. Renewables 2015 Global Status Report, Paris
18. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2013. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, Ankara
19. Gökçöl, C., Sunan, E., Dursun, B., 2008. Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Gebze’de Bir Evin Elektrik İhtiyacının Karşıllanması, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli
20. Keleş, D., 2012. Bir Rüzgar Türbini Tasarımı ve Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 97 s.
21. Kekezoğlu, B., 2007. Şebekeden Bağımsız Çalışan Hibrid Enerji Sistemlerinde Risk Değerlendirmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 82 s.
22. Karaca, C., 2012. Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 106 s.
23. Özdemir, C., 2011. Kırsal Bir Evin Enerji İhtiyacını Karşılacak Yenilenebilir Üretim Yöntemlerinin Tasarımı ve Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 90 s.
24. Bektaş, A., 2013. Binalarda Rüzgar Enerjisi Kullanımının Farklı Bölgeler Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma: TOKİ Tarımköy Projesi Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 131 s.
25. Oğuz, H.H., 2012. Hibrit Rüzgar – Güneş Güç Üretim Ünitesinin Kurulumu ve Enerjinin Verimli Kullanılması İçin Genel Aydınlatma Sisteminin PIC 16F877 Kontrolör ile Denetimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 108 s.
26. Aksoy, M.H., 2011. Güneş ve Rüzgar Enerjisi ile Çalışan Su Pompalama Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 121 s.

27. Köse, G., 2010. Hibrit (Güneş + Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 136 s.
28. Yoldar, M.T., 2010. Beytepe Yerleşkesinin Uzun Dönem Elektrik İsteminin Güneş Elektrik Dönüşüm Sistemleri ile Karşılanması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 187 s.
29. Elma, O., 2011. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Beslenen Şebekeden Bağımsız Bir Ev İçin Talep ve Kaynak Dinamikleri Dikkate Alınarak Sistem Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 56 s.
30. Can, T.M., 2010. Rüzgar ve Güneş Enerjisi İle Bir Pompanın İhtiyacı Olan Elektrik Enerjisinin Sağlanması, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 65 s.
31. Ayhan, D., 2011. Bina Montajlı Güneş – Rüzgar Hibrit Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 139 s.
32. Ortaçtepe, Y.C., 2011. Güneş Pillerinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 85 s.
33. Keçel, S., 2007. Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 142 s.
34. Yıldırız, E., 2008. Fırçasız DA Jeneratörü Kullanan Düşük Güçlü Bir Rüzgar Türbininin Gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 61 s.
35. Toprak, A., Akkaya, R., 2011. Düşük Güçlü Bir Rüzgar Enerji Sistemi İçin İnverter Uygulaması, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik – Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu
36. Hong, S.W., Lee, I.B., Seo, I.H., Kwon, K.S., 2013. The design and testing of a small-scale wind turbine fitted to the ventilation fan for a livestock building, **Computers and Electronics in Agriculture**, Vol. 99, pp. 65–76.
37. Maouedj, R., Mammeri, A., Draou, M.D., Benyoucef, B., 2014. Performance evaluation of hybrid Photovoltaic-Wind power systems, **Energy Procedia**, Vol. 50, pp. 797-807.

38. Sezenoğlu, C., Balıkçı, A., Aydın, F., 2013. Küçük Rüzgar Türbinleri İçin Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Üreteç Uygulaması, V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri, Ankara
39. Genç, M.S. ve Seyitoğlu, S.S., 2011. Kayseri Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Maliyet Analizi, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak
40. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes 4th Edition, Wiley, 910 pp.
41. Tekin, S.A., Gürel, S., 2016. Types of PV Panels and A Proper PV Panel Selection For Kayseri Region, Solar TR2016 pp 406-412, Istanbul

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı-Soyadı : Abdullah Kürşat AKTAR
 Uyruğu : Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi : 28/10/1988
 Medeni Durumu : Evli
 E-posta : kaktar@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ FBE Enerji Sist. Müh. ABD	-
Lisans	Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Çalışma Ekonomisi Endüstri İlişkileri Bölümü	2014
Lisans	University of Southern Denmark, ODENSE Elektrik – Elektronik Mühendisliği	2010
Lise	75. Yıl Karabük Anadolu Lisesi, KARABÜK	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015/Halen	Ayen Enerji A.Ş. Yamula Barajı ve HES	Elektrik-Elektronik Müh.
2011/2015	Ayen Enerji A.Ş. Aksu RES	İnşaat ve İşletmeden Sorumlu Müh.
2010/2011	Ayen Enerji A.Ş. Yamula Barajı ve HES	Elektrik-Elektronik Müh.

YABANCI DİL

İngilizce